

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

КЛАВДИЙ ПТОЛЕМЕЙ

АЛЬМАГЕСТ

ИЛИ

Математическое сочинение
в тринадцати книгах

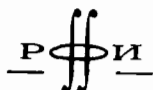
*

Перевод с древнегреческого
И.Н.Веселовского



МОСКВА
НАУКА • ФИЗМАТЛИТ
1998

УДК 521
ББК 22.6
П 87



Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 97-01-14124

ОТВЕТСТВЕННЫЕ РЕДАКТОРЫ:

В.А.АМБАРЦУМЯН, А.Т.ГРИГОРЬЯН, Г.П.МАТВИЕВСКАЯ

ПТОЛЕМЕЙ К. Альмагест: Математическое сочинение в тринадцати книгах:
Пер. с древнегреч. И.Н.Веселовского /Ин-т истории естествознания и техники РАН;
Науч. ред. Г.Е.Куртик. — М.: Наука. Физматлит, 1998. — 672 с. — ISBN 5-02-015167-X.

Первый русский перевод классического труда великого ученого древности Клавдия Птолемея. Сочинение представляет собой полный свод античной астрономии, который на протяжении полутора тысяч лет служил основой астрономических познаний и на средневековом арабском Востоке, и в Европе вплоть до эпохи Возрождения. На него опирался создатель новой астрономии Николай Коперник, воспринявший из учения Птолемея все рациональное. Приложения и комментарии к переводу подготовлены научными сотрудниками Института истории естествознания и техники РАН.

Для историков науки, астрономов, математиков.

Табл. 277. Ил. 44. Библиогр. 195 назв.

Научный редактор Г.Е.КУРТИК

ТП-98-И-187

ISBN 5-02-015167-X

© И.Н.Веселовский.
Перевод на русский язык, 1998
© Наука. Физматлит, оформление, 1998

От редактора

Настоящее издание представляет собой публикацию перевода с древнегреческого языка на русский знаменитого астрономического сочинения Клавдия Птолемея, известного под названием «Альмагест». Написанное во II в. н.э., это произведение сыграло совершенно особую роль в истории науки. В нем получили отражение все или почти все наиболее значительные достижения античной астрономии. На протяжении полутора тысяч лет, будучи переведено с греческого сначала на арабский, а затем на латинский языки, оно считалось наиболее авторитетным источником астрономических знаний на средневековом Востоке и в Европе. Создатель гелиоцентрической астрономической теории Николай Коперник (1473–1543) опирался на традицию Птолемея и многое воспринял из его учения.

Перевод «Альмагеста» на русский язык выполнен крупнейшим исследователем истории античной науки, знатоком древнегреческого и латинского языков И.Н.Веселовским (1892–1977). Основой для перевода послужило издание греческого текста «Альмагеста» под редакцией И.Гейберга [Hei I, II] — единственного в настоящее время издания, удовлетворяющего научным требованиям.

Перевод И.Н.Веселовского отличается по своим принципиальным установкам от переводов «Альмагеста» на другие европейские языки. В немецком издании К.Манициуса [HA I, II] и в английском издании Дж.Тумера [PA], наиболее авторитетных среди историков астрономии, широко используется современная астрономическая терминология, текст Птолемея в них существенно модернизирован. Русский перевод максимально приближен к оригинальному греческому тексту. Его автор практически не пользуется современными научными обозначениями и терминами и переводит Птолемея, как правило, буквально: эклиптика — это «круг, проходящий через середины зодиакальных созвездий», или «наклонный круг», небесный экватор — «равноденственный круг», меридиан — «полуденный круг», высота — «дуга круга, проходящего через полюсы горизонта», хорда — «прямая линия в круге» и т.д. Стилистически и терминологически перевод И.Н.Веселовского позволяет составить более полное и точное представление о греческом тексте «Альмагеста», чем переводы К.Манициуса и Дж.Тумера.

Коллектив историков науки, занимавшихся подготовкой настоящего издания, максимально бережно относился к тексту перевода, который, тем не менее, потребовал большой редакторской работы, затрагивающей как стиль, так, порой, и его смысл. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, труд И.Н.Веселовского не был завершен. Не вызывает сомнения, что ему пришлось бы еще не раз возвращаться к тексту перевода при работе над комментариями. Во-вторых, со времени окончания работы вышло в свет несколько фундаментальных исследований (главные из них —

НАМА, SA, PA) и большое число работ, посвященных частным вопросам, по новому осветивших содержание многих мест в «Альмагесте».

В необходимых случаях перевод И.Н.Веселовского сверялся с греческим текстом, а также с переводами К.Манициуса и Дж.Тумера. В нем также учтены исправления, внесенные по различным соображениям в греческий текст его исследователями со времени выхода в свет издания И.Гейберга. В квадратных скобках помещены отдельные слова и выражения, дополняющие текст Птолемея или уточняющие его смысл. В названиях глав квадратные скобки опущены. На полях проставлены страницы издания греческого текста в [Hei I] или [Hei II].

Каждая из тринадцати книг греческого текста «Альмагеста» начинается с оглавления, представляющего перечень названий глав данной книги. Мы свели их в единое оглавление, следуя в этом К.Манициусу и Дж.Тумеру.

Текст перевода снабжен комментариями, в которых представлена необходимая справочная информация, облегчающая понимание текста Птолемея, предлагается интерпретация наиболее трудных вопросов его астрономической системы с позиций современной истории науки, приводятся результаты многочисленных исследований, посвященных «Альмагесту».

Основная работа по подготовке издания «Альмагеста» Птолемея на русском языке выполнена в Секторе истории физики, механики и астрономии Института истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН. Творческая и неизменно благожелательная атмосфера в секторе в немалой степени способствовала ее завершению. Различного рода проблемы, связанные с подготовкой настоящего издания, регулярно обсуждались на заседаниях Общественного объединенного семинара по истории астрономии.

Работа над текстом перевода и комментариями распределилась следующим образом: книги I–III подготовлены М.М.Рожанской (при участии Г.Е.Куртика), книги IV–XIII — Г.Е.Куртиком. В примечаниях к главе 10 книги I использованы материалы, представленные Г.П.Матвиевской. Текст перевода книг VII–VIII отредактирован М.Ю.Шевченко. Список литературы, предметно-именной указатель, список обозначений составлены Г.Е.Куртиком.

Благодарим дирекцию Института истории естествознания и техники РАН, ученых секретарей института И.С.Дровенникова и О.А.Соколову за всестороннюю помощь при подготовке настоящего издания. Приносим также искреннюю благодарность В.С.Кирсанову за помощь в приобретении важнейших материалов, касающихся зарубежных изданий «Альмагеста». Выражаем особую признательность В.А.Бронштэну за внимательное прочтение рукописи комментариев и сделанные замечания.

Благодарим коллектив сотрудников Издательской фирмы «Физико-математическая литература», без самоотверженных усилий которых настоящее издание не могло бы увидеть свет.

Г.Е.Куртик

Книга I

1. Введение¹

Мне кажется, о Сир², что истинные философы поступили очень хорошо, отделив теоретическую часть философии от практической. Действительно, если даже ранее практическая часть соединялась с теоретической³, то тем не менее между ними можно обнаружить большое различие. Во-первых, хотя некоторые моральные добродетели могут оказаться присущими многим людям, не получившим образования, но исследование Вселенной невозможно без предварительного обучения. Во-вторых, у первых наибольший выигрыш получается за счет непрерывной практической деятельности, а у других — в продвижении теоретических исследований. Поэтому мы считаем необходимым, с одной стороны, держать наши действия в строгой мере под управлением наших умственных представлений, чтобы во всех жизненных ситуациях сохранять прекрасный и хорошо устроенный идеал, а с другой — употребить все силы главным образом для изучения многих и прекрасных теорий и прежде всего принадлежащих к той области знания, которую называют математикой в узком смысле этого слова.

Теоретическую часть философии Аристотель очень удачно делит на три основных вида: физику, математику и теологию⁴. Действительно, все существующее имеет свое бытие в материи, форме и движении. Каждое из этих начал мы не можем созерцать само по себе — отдельно и независимо от других. Их можно только мыслить. Если выделить в простейшей форме первопричину первого движения Вселенной, то это был бы незримый и неизменный Бог. Исследующий его раздел [теоретической философии] — теология — занимается силой, расположенной в высочайших частях этого мира, и ее мы можем постигнуть только умом как совершенно отделенную от всего, могущего быть воспринятым чувствами. Раздел [теоретической философии], исследующий материальную и вечно изменяющуюся качественность в виде белизны, теплоты, сладости, мягкости и тому подобного, называется физикой, и предмет ее имеет свое бытие главным образом в том, что подвержено тлению и находится ниже лунной сферы. Наконец, вид знания, выясняющий формы и движения качественности, а именно фигуры, количества, размеры, а также место, время и тому подобное, что нам надлежит исследовать, можно определить как математический. К нему относится то, что имеет бытие, он занимает, так сказать, среднее положение между двумя приведенными выше, во-первых, потому что его объекты можно мыслить и при помощи чувственных восприятий, и вне их, во-вторых, также и потому, что это вообще свойственно всем существам — как смертным, так и бессмертным. У непрерывно изменяющихся существ оно

меняется вместе с неотделимой от них формой, у вечных и имеющих эфирную⁵ природу оно сохраняет неподвижную и неизменную форму.

Рассуждая таким образом, можно сказать, что два другие раздела теоретической философии скорее можно назвать как бы гаданием, а не научным познанием; теологическую — потому что она трактует о вещах невидимых и не могущих быть воспринятыми, физическую же — вследствие неустойчивости и неясности материальных форм; вследствие этого нельзя даже надеяться, что относительно этих предметов можно будет добиться согласия между философами. Одна только математическая часть, если подходить серьезно к ее исследованию, доставляет занимающимся ею прочное и надежное знание, ибо она дает доказательства, идя двумя путями, с которых невозможно сбиться: арифметическим и геометрическим. Поэтому мы предпочли заниматься по возможности этим разделом теоретической философии и, главным образом, той ее частью, которая рассуждает о божественных и небесных предметах. Ибо только она одна занимается исследованием вечных и неизменных предметов. По этой причине, являясь по существу вполне ясной и упорядоченной (а в этом заключается основной признак науки), она может и сама вечно оставаться такой же самой. Кроме того, не менее, чем два других раздела [теоретической] философии, она может быть полезна для понимания других предметов. Действительно, математика может лучше всего подготовить путь для понимания богословских предметов, так как только она одна в состоянии успешно судить о неподвижной и обособленной от материи движущей силе вследствие своей близости к вещам, которые хотя и чувственны, подвижны и движущи, но вместе с тем — вечные неизменные субстанции в отношении течения и упорядоченности движений. Точно так же она может дать весьма многое для изучения физики, ибо почти всем материальным субстанциям свойственно выражать свои особенности при помощи движений, сопровождающихся изменениями места. Тленным соответствуют прямолинейные, а нетленным — круговые движения, тяжелому же и легкому, пассивному и активному соответствуют движения к центру или от центра. Она более, чем все другие [разделы философии], может сделать нас способными к восприятию добродетельных поступков и нравственного совершенства, так как, созерцая в божественном одинаковость, упорядоченность, соразмерность и простоту, она заставляет всех своих последователей любить божественную красоту, приучая и как бы развивая в них подобное состояние души.

Так и мы пытаемся увеличить любовь к науке о вечном и неизменном, преподав то из этой науки, что уже было передано предшествующими нам выдающимися исследователями, но также и со своей стороны внося в нее добавления, которые были получены за время, прошедшее от них до нашей эпохи. Поэтому мы попытаемся все то, что в настоящее время считаем нужным сообщить, изложить с возможно большей краткостью и так, чтобы немного продвинувшиеся в этой науке могли следовать далее. Чтобы это сочинение было вполне законченным, все нужное для науки о небе мы изложим в свойственном ей порядке. А чтобы не делать это сочинение очень длинным, все то, что было достаточно точно разъяснено древними, мы только приведем, то же, что или совсем не было понято, или же понято недостаточно, мы постараемся в меру наших сил изложить подробнее.

7

8

2. О последовательности изложения

Предлагаемое нами сочинение начинается с рассмотрения положения Земли в целом по отношению ко всему небу. При переходе к последовательному изложению отдельных частей нам следует [вначале] поведи речь о положении наклонного круга⁶, а также отдельных мест обитаемой нами Вселенной, затем о получающихся для каждого места различиях в положении горизонта вследствие наклона [сферы]. Предварительное рассмотрение всего этого облегчит нам изучение остального. На втором месте нам следует рассмотреть движение Солнца и Луны и все соответствующие им явления; без их предварительного усвоения невозможно исчерпывающим образом рассмотреть все относящееся к светилам. Наконец, говоря согласно намеченному плану о светилах, нам, конечно, следует начать с рассмотрения сферы так называемых неподвижных звезд, а после этого перейти к пяти так называемым блуждающим звездам, или планетам. Каждый из этих предметов мы попытаемся разъяснить, пользуясь в качестве начал и оснований при их исследовании очевидными и не вызывающими сомнений наблюдениями как древних астрономов, так и нашими собственными, выводя затем из них следствия путем доказательств при помощи геометрических чертежей.

Теперь в качестве общего положения мы должны принять, что небо имеет сферическую форму и движется подобно сфере, затем, что Земля имеет также вид сферы, если ее рассматривать по всей совокупности ее частей. По своему положению она расположена в середине неба, являясь как бы его центром. По величине же и расстоянию относительно сферы неподвижных звезд она является как бы точкой и не имеет никакого движения, изменяющего место⁷. Чтобы освежить это в памяти, сделаем краткие указания относительно каждого из этих предметов.

3. О том, что небо имеет сферическое движение

Первое представление об этих предметах, несомненно, получилось у древних в результате соответствующих наблюдений. Они видели, что Солнце, Луна и остальные светила движутся с востока на запад и всегда по кругам, параллельным друг другу. Они начинают подниматься снизу как будто из самой Земли; поднявшись же немного в высоту, они опять совершенно так же движутся по кругу и опускаются вниз, пока, наконец, не исчезнут, как бы уйдя в Землю. После этого они, оставаясь некоторое время невидимыми, опять восходят и заходят, как бы получив новое бытие, причем в соответствующие моменты этих движений и в соответствующих местах восходов и заходов. Они соблюдают совершенно правильный и всегда один и тот же порядок.

Представлению о сферичности их движения больше всего способствовало наблюдение кругового движения незаходящих звезд, совершающегося всегда вокруг одного и того же центра. Эта точка необходимо стала полюсом всей небесной сферы. При этом более близкие к ней звезды описывают меньшие круги, а более удаленные — большие пропорционально удалению от нее, пока это расстояние не дойдет до границы заходящих звезд. Те из заходящих звезд, которые наблюдаются вблизи незаходящих, остаются невидимыми короткое время. Те же, которые находятся на больших расстояниях, будут невидимы в течение соответственно большего времени. При помощи только

таких наблюдений они получили начало вышеупомянутых представлений, а затем, при последовательном развитии теории, в соответствии с этим было объяснено и все остальное, так как все наблюдения полностью исключали несогласие с этими представлениями.

Действительно, если предположить, что движение светил совершается по прямым линиям в бесконечность, как думали некоторые⁸, то какой можно было бы выдумать способ, который позволил бы наблюдать каждое из этих светил ежедневно движущимся из одной и той же начальной точки? Каким образом смогли бы возвращаться назад устремляющиеся в бесконечность светила? И каким образом мы могли бы не заметить их возвращения? И как они могли бы исчезать, не уменьшая понемножку своей величины? В действительности мы видим противоположное: что они при исчезновении загораживаются, как бы обрезаемые поверхностью Земли.

Точно так же совсем нелепо было бы думать, что светила зажигаются, выходя из Земли, а затем гаснут, погружаясь в нее⁹. Разве можно допустить, чтобы стройный порядок в величинах и количествах светил, в их расстояниях, положениях и временах движения соблюдался совершенно случайно и что такая-то часть Земли имеет зажигательную природу, а такая-то гасительную? Более того, чтобы одно и то же светило для одних зажигалось, а для других гасилось или что одни и те же светила для одних уже оказываются зажженными или погаснувшими, а для других еще нет? Наконец, говорю я, если бы кто-нибудь и согласился со всем этим, каким бы смешным оно ни казалось, то что мы должны были бы сказать о вечно видимых светилах, которые не восходят и не заходят? И по какой причине зажигающиеся и гаснущие светила везде и всегда восходят и заходят, а не претерпевающие этого везде и всегда находятся над Землей? Ведь не могут же одни и те же светила для одних людей всегда зажигаться и гаснуть, а для других никогда не испытывать ничего подобного, поскольку совершенно очевидно установлено, что одни и те же светила для одних восходят и заходят, а для других не совершают ни того, ни другого.

Одним словом, если предположить для небесного движения какую-нибудь другую форму, отличную от сферической, то необходимо оказалось бы, что расстояния от Земли до светил в различных частях видимого неба были бы неравными, где бы и в каком положении она ни предполагалась [находящейся]. В таком случае необходимо ожидать, что величины и взаимные расстояния светил окажутся неравными для одних и тех же наблюдателей во время каждого обращения, и то же самое расстояние иногда становилось бы большим или меньшим, чего в действительности не наблюдается. В самом деле, если у горизонта светила кажутся нам имеющими несколько большую величину, то это происходит не вследствие уменьшения расстояния, но вследствие того, что между нашим глазом и светилем становятся испарения от окружающей Землю влаги, так же, как кажутся нам большими помещенные в воду предметы, и притом тем больше, чем ниже они погружены¹⁰.

К представлению о сферичности приводит нас и то, что ни при каком другом предположении, кроме одного только этого, не могли бы соответствовать друг другу устроенные для измерения времени приборы. Точно так же, поскольку движение небесных тел не встречает никаких препятствий и происходит легче всех других движений, ему должна быть свойственна и наиболее удобоподвижная форма; для плоских фигур это круговое

12

13

движение, а для пространственных — сферическое. Равным образом [это происходит] и по той причине, что из различных фигур, имеющих один и тот же периметр, большей будет содержащая большее число углов, так что из плоских фигур наибольшей оказывается круг, а из пространственных — сфера¹¹. Небо же больше всех других тел.

14 Кроме этого к принятию указанного предположения побуждают и некоторые физические соображения. Из всех веществ тончайшим и однороднейшим¹² является эфир, а у однородных тел должны быть однородными также граничные поверхности; для плоских фигур однородными будут только круговые границы, а для телесных — сферические. Поскольку же эфир представляет собой не плоскую фигуру, но тело, то ему только и остается быть сферическим. Равным образом все расположенные на Земле и преходящие тела природа сформировала из фигур, имеющих круглую форму, но состоящих из неоднородных частей, а все эфирные и божественные — из однородных и сферических. Так что если бы светила были плоскими и дисковидными, то в различных местах Земли в одно и то же время они не казались бы всем наблюдателям имеющими круговую фигуру. Вследствие этого вполне разумно считать, что окружающий их эфир, имеющий подобную же природу, тоже сферичен и вследствие однородности своих частей совершает круговое и равномерное движение.

4. О том, что Земля в целом имеет вид сферы

15 Что и Земля, взятая в целом¹³, имеет вид сферы, лучше всего можно понять из следующего. Солнце, Луна и остальные светила не будут восходящими или заходящими в одно и то же время для всех находящихся на поверхности Земли. Они всегда восходят сначала для живущих на востоке, а потом для живущих на западе. Действительно, совершающиеся в одно и то же время затмения, по большей части лунные, как мы находим из всех записей, бывают не в одни и те же часы, т.е. не на одинаковых расстояниях от полудня, но всегда наблюдатели, находящиеся восточнее, фиксируют часы, более ранние, чем наблюдатели, находящиеся западнее. И так как разница в часах оказывается пропорциональной расстоянию между соответствующими местами наблюдений, то совершенно естественно предположить сферичность поверхности Земли, так как вследствие выпуклости Земли в целом, которую мы во всех частях считаем одинаковой, передние будут всегда двигаться впереди задних пропорционально [разнице во] времени. Этого не могло бы случиться, если бы форма Земли была иной, что можно видеть также из следующего¹⁴.

16 Действительно, если бы поверхность Земли была вогнутой, то восход светила казался бы происходящим раньше для более западных наблюдателей. Если бы она была плоской, то светило восходило бы и заходило в одно и то же время сразу для всех находящихся на поверхности Земли. Если бы она была треугольной или четырехугольной или в виде какого-нибудь другого многоугольника, то опять одно и то же происходило бы также в одно и то же время для всех обитающих на той же самой прямой, чего, однако, никоим образом не происходит. А то, что она не имеет формы цилиндра, кривая поверхность которого обращена к востоку и западу, а плоские основания — к полюсам мира, как это считали более вероятным некоторые¹⁵, ясно из следующего: никакая звезда не представлялась бы вечно видимой

для живущих на кривой поверхности, но звезды или восходили бы и заходили для всех одинаково, или, оставаясь все время на одинаковом расстоянии от каждого из полюсов, были бы всегда для всех невидимыми. В действительности чем больше мы будем продвигаться по направлению к северу, тем больше будет скрываться южных звезд и открываться северных, так что и здесь обнаруживается кривизна Земли, производящая такое же выдвигание вперед, как и в боковых направлениях. Это доказывает, что Земля сферична повсюду. Кроме того, если мы подплываем к горам или к каким-нибудь возвышенным местам, то под любым углом и при всяком направлении движения мы видим, что их величина понемногу увеличивается, как если бы они поднимались из самого моря, а раньше были заслонены выпуклостью водной поверхности.

5. О том, что Земля находится в середине неба

Если бы после рассмотрения предыдущего мы поставили вопрос о положении Земли во Вселенной, то получилось бы, что удовлетворительно объяснить все происходящие вокруг нее явления можно только при одном предположении: Земля находится в середине неба, как бы в центре его сферы. Действительно, если бы было не так, то мы должны были бы предположить или что ось [Вселенной] находится вне Земли, а Земля — на одинаковом расстоянии от каждого из полюсов, или что Земля, находясь на оси, располагается ближе к одному из полюсов, или, наконец, что Земля находится и не на оси, и не на одинаковом расстоянии от каждого из полюсов.

Первому из этих предположений противоречит то, что если бы мы представили Землю в различных местах сдвинутой вверх или вниз, то тогда в предположении прямой сферы никогда не могло бы быть равноденствий, так как небесная сфера всегда разделялась бы горизонтом на две неравные части над и под Землей. В предположении же наклонной сферы¹⁶ или равноденствий вообще никогда бы не было, или они происходили бы не посередине перехода от летнего тропика к зимнему, так как соответствующие расстояния необходимо оказались бы неравными, ибо равноденственный круг¹⁷ и наибольший круг из параллелей, описываемых при вращении вокруг полюсов, не делился бы горизонтом пополам. Это могло бы произойти лишь с одним из кругов, ему параллельных, лежащим или севернее, или южнее. Однако все вполне согласны, что упомянутые расстояния оказываются всегда равными, поскольку увеличения [продолжительности] дня от равноденствия до наибольшего дня в летнем солнцестоянии будут равны ее уменьшениям до наименьшего дня в зимнем солнцестоянии. Если бы мы предположили, что смещение будет к востоку или западу, то тогда величины и расстояния звезд не казались бы равными и такими же для восточного и западного горизонтов, и время от восхода светил до прохождения через меридиан не было бы равным времени от прохождения через меридиан до захода, а это, очевидно, противоречит всем явлениям.

Что касается второго предположения, а именно, что Земля, находящаяся на оси, сдвинута к одному из полюсов, то на это можно возразить следующее. Если бы действительно было так, то на каждой широте плоскость горизонта всегда делала бы неравными находящиеся над Землей и под

17

18

Землей дуги небесных движений, причем эти дуги были бы неравными и между собой, и по сравнению с дугами на других широтах. Причем горизонт в этом случае мог бы делить пополам только прямую сферу. При наличии же наклона, при котором всегда виден более близкий полюс, находящаяся над Землей часть неба с его увеличением всегда уменьшалась бы, а находящаяся под Землей — увеличивалась. Таким образом, оказалось бы, что большой круг, проходящий через середину зодиака¹⁸, делится плоскостью горизонта на неравные части, чего мы в действительности никогда не наблюдаем. Всегда и везде шесть из двенадцати его делений находятся над Землей, а шесть остальных невидимы, после чего эти вторые в свою очередь видимы целиком над поверхностью Земли, а первые одновременно становятся невидимыми. Таким образом, горизонт делит дуги зодиака пополам, поскольку те же самые полуокружности разрезаются им таким образом, что иногда находятся целиком над земной поверхностью, иногда же под ней.

И вообще, если бы Земля не была расположена в самой плоскости равноденственного круга, но отклонялась от нее к северу или к югу в направлении одного из полюсов, то во время равноденствий на плоскостях, параллельных горизонту, тень гномона¹⁹ при восходе не оказывалась бы даже приблизительно на одной прямой с тенью гномона при заходе, в то время как в действительности всегда бывает противоположное. Отсюда ясно, что нельзя выдвинуть также и третье предположение, так как для него справедливы все возражения против двух первых гипотез.

Суммируя, можно сказать: если не предположить, что Земля находится в середине, то уничтожится полностью весь порядок, усматриваемый нами в увеличениях и уменьшениях дней и ночей. Кроме того, и лунные затмения не могли бы иметь места во всех частях неба при диаметральном²⁰ противоположных положениях [Луны и] Солнца, поскольку Земля часто оказывалась бы между ними не только во время их диаметральных прохождений, но и при расстояниях, меньших полуокружности²⁰.

6. О том, что по сравнению с небесами Земля является точкой

Существенное доказательство для чувственного восприятия того, что Земля является точкой по отношению к расстоянию до сферы так называемых неподвижных звезд²¹, состоит в том, что для всех ее мест величины и расстояния светил в одно и то же время кажутся во всех отношениях равными и подобными. Произведенные на различных широтах наблюдения одного и того же [явления] не обнаруживают ни малейших разногласий. Равным образом следует принять, что помещенные в различных частях Земли гномоны и центры армиллярных сфер²² будут поистине равнозначными с центром Земли и воспроизводят наблюдения и круговые движения теней так, согласно со сделанными предположениями относительно небесных явлений, как если бы они были помещены в центральной точке Земли.

Наконец, очевидным признаком того, что в действительности дело так и обстоит, будет то, что проходящие через глаз плоскости, которые мы называем горизонтальными, везде делят небесную сферу пополам, чего никак не могло бы произойти, если бы величина Земли была заметной по

сравнению с расстоянием до небесных тел. В противном случае только одна плоскость, проведенная через центр Земли, могла бы делить пополам небесную сферу. Плоскости же, проводимые через любую точку на поверхности Земли, всегда отсекали бы часть [небесной сферы], находящуюся под Землей, больше той, что над Землей²³.

7. О том, что Земля не совершает никакого поступательного движения

Соображения, подобные предыдущим, могут показать, что Земля не может ни совершать никакого движения вбок, как было упомянуто выше, ни вообще когда-нибудь выйти из центрального места. Действительно, тогда получилось бы то же, как если бы Земля занимала любое положение, отличное от центрального. Таким образом, мне кажется бесполезным отыскивать причины движений к центру, так как на основе наблюдаемых явлений раз навсегда установлено, что Земля занимает центральное положение в мире и что все тяжелые тела движутся к ней. Для понимания этого достаточно, пожалуй, будет показать, что если, как мы сказали, доказаны шаровидность Земли и ее нахождение в центре Вселенной, то во всех ее частях стремления²⁴ и движения тел, обладающих тяжестью (я говорю, конечно, о [естественных] движениях²⁵), всегда и везде происходят под прямыми углами к не имеющей никакого наклона касательной плоскости, проведенной в точке падения. Действительно, из всего этого очевидно, что, если бы не препятствовала земная поверхность, все тела встретились бы в центре Земли, так как проведенная к центру прямая линия всегда образует прямые углы с касательной к шару плоскостью, проведенной через точку пересечения с прямой в месте касания.

Кто полагает странным, что Земля, обладающая такой громадной тяжестью, ни на что не опирается и не движется, как мне кажется, совершает ошибку, делая вывод из того, что он замечает в отношении себя, и не обращая внимания на то, что свойственно миру, взятому в целом. Я полагаю, что все это не показалось бы удивительным, если бы они подумали, что вся Земля по отношению ко всей окружающей ее телесной среде является точкой. Действительно, тогда оказалось бы, что Земля, являясь наименьшей по отношению к окружающему миру, была бы совершенно «осилена» громаднейшей и однородной средой и со всех сторон встретила бы равные и одинаково направленные противодействия. Ведь в мире, взятом по отношению к самому себе, нет ни верха ни низа; также ведь и на шаре нельзя вообразить чего-нибудь подобного. Что же касается находящихся в мире материальных тел и, в частности, присущих им естественных движений, то легкие и состоящие из тончайших частиц [тела], устремляясь вверх к окружности, кажутся нам движущимися вверх, так как для всех нас называется верхом то, что находится над головой, и направление это идет как бы к окружающей поверхности. Тяжелые же и состоящие из грубых частиц тела движутся к середине, как бы к центру, и кажутся нам падающими вниз, так как опять для всех нас низом считается то, что находится под ногами, и соответствующее направление идет к центру Земли²⁶. Вполне естественно, что эти тяжелые тела оседают вокруг центра под действием со всех сторон равных и подобных взаимных ударов и противодействий. Таким

образом, вполне естественно получается, что вся масса Земли, будучи очень большой по отношению к падающим на нее телам, под действием напора значительно меньших ее тяжестей остается всюду неподвижной и как бы принимает все падающее на нее. Но если бы у Земли было какое-нибудь движение, общее с другими тяжелыми телами, то она, конечно, унеслась бы вперед вследствие такой превосходящей массы. Животных и находящихся с соответствующей стороны тяжелые тела она оставила бы плавающими в воздухе, а сама в конце концов с громадной скоростью врезалась бы в небо. Но все это, если только вообразить, кажется нам очень смешным.

Есть некоторые люди, которые, не имея что возразить против всего этого, все же считают более вероятным другое: что не будет никаких противоречий, если они, так сказать, будут считать небо неподвижным, а Землю вращающейся вокруг той же самой оси с запада на восток и совершающей каждый день примерно одно обращение²⁷ или же считать и небо, и Землю определенным образом движущимися вместе вокруг одной и той же оси таким образом, что сохраняется [наблюдаемое] опережение одного другим.

Они, однако, не заметили, что если ограничиться наблюдаемыми у звезд явлениями, то, пожалуй, ничто не будет препятствовать такому простейшему предположению, но подобное мнение покажется нам смешным, если мы обратим внимание на совершающееся вокруг нас самих и в воздухе. Действительно, чтобы согласиться с ними, мы должны предположить совершенно противное природе, а именно, что легчайшие и состоящие из наиболее тонких частиц тела или совсем не движутся, или движутся так же, как и тела противоположной природы, хотя [на самом деле] тела, находящиеся в воздухе и состоящие из менее тонких частиц, движутся гораздо быстрее, чем все более земные тела. И тогда [мы должны предположить, что] самые тяжелые и состоящие из грубейших частиц тела будут иметь собственное быстрое и равномерное движение, между тем как все согласны, что земные тела никогда легко не поддаются движению, сообщаемым им другими телами. В таком случае пришлось бы согласиться, что вращение Земли совершается значительно быстрее всех происходящих вокруг нее движений, так как она делает такой большой оборот в короткое время, и что все не закрепленные на ней предметы должны казаться совершающими одно и то же движение, [по направлению] противоположное земному. Таким образом, мы никогда не могли бы видеть какое-нибудь идущее к востоку облако или брошенное в том же направлении тело, так как Земля в своем движении к востоку всегда опережала бы все тела. Они казались бы нам движущимися к западу и отстающими от движения Земли.

Но если они скажут, что и воздух совершает вместе с Землей круговое движение в ту же сторону и с той же скоростью, то все равно находящиеся в воздухе тела всегда будут казаться отстающими от движения их обоих. А если бы тела вращались вместе с воздухом как одно тело, то никакое из них не казалось бы опережающим другое или отстающим от него, но оставалось бы на месте, в полете или бросании оно не совершало бы отклонений или движений в другое место вроде тех, которые мы воочию видим совершающимися, и у них вообще не происходило бы замедления или ускорения, оттого что Земля не является неподвижной.

8. О том, что в небе существуют два различных вида первых движений

О гипотезах, которые необходимо предпослать подробному изложению и выводу следствий, сказано достаточно. До сих пор мы говорили о них как бы в общих чертах; в дальнейшем они будут подтверждены и засвидетельствованы тем, что на основании их будет последовательно доказано в полном согласии с наблюдаемыми явлениями. К ним, однако, необходимо добавить следующее основное положение: в небе существуют два различных вида первых движений²⁸. Одно из них увлекает все с востока на запад неизменным и равномерным вращением по параллельным друг другу кругам, описанным вокруг полюсов сферы, сообщающей всему равномерное вращение. Наибольший из этих кругов называется равноденственным вследствие того, что только он один всегда разделяется пополам большим кругом горизонта и при обращении по нему Солнца везде производит для наших чувств равенство дня и ночи²⁹. Другим движением будет такое, в результате которого сферы небесных светил совершают одновременно совместные движения в направлении, противоположном предыдущему, и вокруг других полюсов, не совпадающих с полюсами первого вращения. Мы предполагаем, что дело обстоит именно так, поскольку, наблюдая ежедневно, мы видим все, без исключения, находящееся на небе движущимся по подобным друг другу и параллельным равноденственному кругу путям и совершающим восход, прохождение через середину неба³⁰ и заход, что и является существенным свойством первого упомянутого движения. Дальнейшие и более непрерывные наблюдения показывают, что, хотя все другие светила сохраняют свои взаимные расстояния и в значительной степени собственные свои положения по отношению к свойственным первому движению путям, Солнце, Луна и так называемые блуждающие светила³¹ совершают некоторые разнообразные и неодинаковые движения, направленные, однако, относительно общего движения мира к востоку, как бы отставая от звезд, сохраняющих свои взаимные расстояния и как бы вращаемых одной сферой.

Если бы упомянутое движение планет совершалось по кругам, параллельным равноденственному, т.е. вокруг полюса первого вращения, то, пожалуй, было бы достаточным полагать для всех одно и то же движение в направлении первого. Такое положение казалось бы вполне вероятным, а происходящие у них перемещения можно было бы объяснить различием в отставаниях, а не результатом движения в противоположном направлении. Однако вместе с движениями к востоку эти светила всегда наблюдаются переходящими к северу и к югу [от равноденственного круга], причем по величине это движение не будет равномерным, так что оно кажется возникающим от каких-то внешних толчков. Однако это неравномерное при таком предположении движение становится вполне упорядоченным, если отнести его к некоторому кругу, наклонному к равноденственному. Вследствие этого упомянутый круг рассматривается как один и тот же и общий для всех планет. В более точном определении это будет круг, описываемый Солнцем [на небесной сфере при его годовом движении]³². Вдоль него совершают обороты Луна и планеты, всегда двигаясь в непосредственной близости от него, причем отклонения каждого светила в ту или другую сторону от начерченного им пути не случайны. Поскольку

27

28

29 же этот круг тоже является большим вследствие того, что Солнце одинаково удаляется к северу и к югу от равноденственного круга, а также, как мы сказали, все планеты совершают свои движения к востоку по одному и тому же кругу, то необходимо допустить и этот второй вид мирового движения вокруг полюсов упомянутого наклонного круга в сторону, противоположную первому движению.

Если мы вообразим большой круг, проходящий через полюсы обоих упомянутых кругов, который необходимо рассечет пополам и под прямым углом каждый из этих кругов, то на наклонном круге получим четыре точки: две из них, при пересечении равноденственного круга диаметрально противоположные друг другу, называются равноденственными. Та из них, в которой совершается переход Солнца с юга на север, называется весенней, противоположная же — осенней. Две же точки на круге, описанном через оба полюса, и тоже, конечно, диаметрально друг другу противоположные, называются тропическими. Та из них, которая находится к югу от экватора, называется зимней, а находящаяся к северу — летней³³.

30 Таким образом мы будем мыслить первое из [двух] первых движений, которое охватывает все остальные, как описываемое и как бы определяемое большим кругом, проведенным через оба указанных полюса³⁴. Этот круг вращается (и уносит вместе с собой все остальное) с востока к западу вокруг полюсов равноденственного круга, стоящих неподвижно на так называемом полуденном круге, который только тем отличается от вышеупомянутого, что он не всегда проходит через полюсы наклонного круга. Он называется полуденным также и вследствие того, что мы всегда мыслим его под прямым углом к горизонту, а также потому, что он в этом положении делит пополам каждое из полушарий, находящееся как над Землей, так и под ней, и содержит точки, соответствующие середине дня и ночи. Второе же многообразное движение, увлекаемое первым и в свою очередь увлекающее сферы всех планет, переносится, как мы сказали, вышеупомянутым первым движением, но вращает [планетные сферы] в противоположную сторону вокруг полюсов наклонного круга. Эти полюсы, всегда неподвижные на круге, совершающем первое движение, т.е. проходящем через оба упомянутых полюса, естественно, тоже вращаются вместе с ним в направлении, противоположном направлению второго движения. Эти полюсы всегда сохраняют описанный через них большой круг, а также наклонный в одном и том же положении по отношению к равноденственному кругу.

9. О специальных понятиях

31 Итак, изложение необходимых предпосылок можно считать в общих чертах предварительно законченным. Переходя теперь к специальным доказательствам, мы считаем, что первым из них будет то, при помощи которого определяется величина дуги большого круга, заключенной между полюсами эклиптики и экватора и измеряемой по проведенному через них этому кругу. Но мы видим необходимость изложить предварительно теорию определения величин прямых линий в круге³⁵, поскольку мы желаем раз и навсегда дать всему геометрическое доказательство.

10. О величинах прямых в круге³⁶

Для удобного употребления на практике в дальнейшем мы построим некоторую таблицу, дающую их величины, разделив окружность на 360 частей. Она будет содержать длины прямых, стягивающих эти дуги (причем последние будут возрастать на полградуса), а именно числа содержащихся в них частей диаметра, в предположении, что последний разделен на 120 частей, ибо это число очень удобно, как выявится из самих вычислений. Сначала мы покажем, каким образом [лучше всего] при помощи небольшого числа повторяющихся теорем создать удобный и быстрый способ для определения дробной части величин, чтобы не было никаких сомнений, как [может быть] в случае, если бы мы дали только одни величины этих прямых, а также и чтобы при помощи методического их получения на чертежах дать легкий способ их проверки. При вычислениях мы вообще будем пользоваться шестидесятеричной системой вследствие неудобства обычных дробей. Производя умножение и деление, мы всегда будем придерживаться приблизительных результатов, но так, чтобы отбрасываемая часть ничем существенным не отличалась от точной величины³⁷.

Итак, возьмем [рис. 1.1]³⁸ сначала полуокруг АВГ на диаметре АДГ с центром в Δ; из точки Δ под прямым углом к АГ проведем ΔВ, разделим ΔГ в точке Е пополам и соединим Е с В; отложим ЕЗ, равную ЕВ, и соединим З и В. Я утверждаю, что ЗΔ представляет сторону десятиугольника, а ВЗ — пятиугольника.

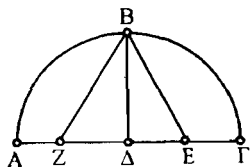


Рис. 1.1

Действительно, так как прямая линия ΔГ разделена пополам в Е и к ней прибавлена некоторая прямая ΔЗ, то прямоугольник, содержащийся между ΔЗ и ΓЗ, вместе с квадратом на ЕΔ будет равен квадрату на ЕЗ или на ВЕ, так как ЕВ равна ZE. Но квадрату на ЕВ равны вместе взятые квадраты на ЕΔ и ΔВ. Поэтому прямоугольник между ΓЗ и ЗΔ вместе с квадратом на ΔЕ будет равен вместе взятым квадратам на ЕΔ и ΔВ или, после отнятия общего квадрата на ЕΔ, остающееся произведение ΓЗ и ЗΔ будет равно квадрату либо на ΔВ, либо на ΔГ. Следовательно, ЗГ разделена в точке Δ в крайнем и среднем отношениях. Поскольку стороны вписанных в один и тот же круг шестиугольника и десятиугольника, будучи отложены по одной и той же прямой, делят ее в крайнем и среднем отношениях и ΓΔ, будучи радиусом, является стороной шестиугольника, то ΔЗ будет равна стороне десятиугольника.

Аналогично, поскольку сторона пятиугольника quadriрует вместе взятые стороны шестиугольника и десятиугольника, вписанных в тот же самый круг, и в прямоугольном треугольнике ВΔЗ квадрат на ВЗ равен вместе взятым квадратам на ВΔ — стороне шестиугольника и ΔЗ — стороне десятиугольника, следовательно, ВЗ будет стороной пятиугольника³⁹.

Теперь, если мы положим, как я уже сказал, диаметр круга равным 120 частям, то на основании изложенного сторона ΔЕ, являясь половиной радиуса, будет равна 30 частям, а ее квадрат — 900; ВΔ, являясь радиусом, равна 60 частям, а ее квадрат — 3600, квадрат же на ЕВ или на ЕЗ равен 4500; следовательно, ЕЗ будет равна приблизительно 67;4,55 частям,

а остаток ΔZ равен $37;4,55$ таким же частям. Таким образом, сторона десятиугольника, стягивающая дугу, равную 36 таким частям, каких в окружности будет 360 , содержит $37;4,55$ таких частей, каких в диаметре будет 120 . Далее, поскольку ΔZ составляет $37;4,55$ частей и квадрат на ней будет $1375;4,15$, а квадрат на ΔB — 3600 таких же частей, то, сложив, получаем квадрат на BZ , равный $4975;4,15$. Следовательно, BZ будет равна приблизительно $70;32,3$ частям, и, значит, сторона пятиугольника, стягивающая 72 градуса (если всю окружность принять за 360), будет равна $70;32,3$ таким частям, каких в диаметре будет 120 . Отсюда также ясно, что сторона шестиугольника, стягивающая 60 градусов и равная радиусу, будет содержать 60 частей. Точно так же, поскольку сторона [вписанного] квадрата, стягивающая 90 градусов, в квадрате будет вдвое больше квадрата радиуса, а сторона [вписанного] треугольника, стягивающая 120 градусов, в квадрате будет втрое его больше, и квадрат радиуса равен 3600 частям, то получится, что квадрат на стороне квадрата будет равен 7200 , а на стороне треугольника — $10\,800$ частей. Таким образом, прямая, стягивающая 90 градусов, составит приблизительно $84;51,10$ таких части, каких в диаметре 120 , а стягивающая 120 градусов будет равна $103;55,23$ таким частям⁴⁰.

Вот эти прямые мы будем брать уже готовыми и в качестве основных. Отсюда ясно, что если эти прямые даны, то можно считать данными и прямые, стягивающие дуги, дополняющие их до полуокружности, вследствие того, что, складывая их квадраты, мы будем получать квадрат на диаметре. Например, так как прямая, соответствующая 36 градусам, оказалась равной $37;4,55$ частям, а квадрат на ней $1375;4,15$ и квадрат на диаметре $14\,400$, то квадрат прямой, стягивающей оставшиеся до полуокружности 144 градуса, после вычитания получится равным $13\,024;55,45$, а сама эта прямая — приблизительно $114;7,87$ частям; аналогично получаются и остальные [значения]⁴¹.

Ниже мы покажем, каким образом на основании этих хорд определяется каждая из остальных, предложив сначала небольшую лемму, в высшей степени полезную для дальнейшего⁴².

Пусть имеется круг [рис. 1.2] со вписанным в него каким-нибудь четырехугольником $AB\Gamma\Delta$. Проведем в нем соединяющие AG и BD . Требуется доказать, что прямоугольник на AG и BD равен вместе взятым прямоугольникам на AB и AG и на AD и $B\Gamma$.

Построим угол ABE , равный $\Delta B\Gamma$. Если мы прибавим к ним в качестве общего угол EBD , то угол ABD будет равняться углу $EB\Gamma$; также и угол BDA будет равен углу $B\Gamma E$, ибо они стягивают одну и ту же дугу. Следовательно, треугольник ABD будет равноугольным с треугольником $B\Gamma E$. Таким образом, существует пропорция: как $B\Gamma$ относится к GE , так и BD к ΔA ⁴³, и, значит, произведение $B\Gamma$ и ΔA равно произведению BD и GE . Затем, поскольку угол ABE равен углу $\Delta B\Gamma$, а BAE равен $B\Delta\Gamma$, то и треугольник ABE будет равноугольным с $B\Gamma\Delta$. Поэтому, имеет место пропорция: как BA относится к AE , так и BD к $\Delta\Gamma$, и, значит, произведение BA на $\Delta\Gamma$ равно произведению BD на ΔE . Но было доказано, что

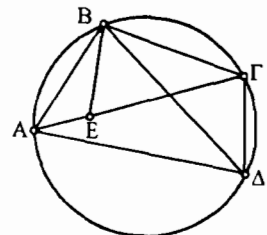


Рис. 1.2

произведение $ВГ$ на $АД$ равно произведению $ВД$ на $ГЕ$. Следовательно, все произведение $АГ$ на $ВД$ будет равно вместе взятым произведениям $АВ$ на $ДГ$ и $АД$ на $ВГ$, что и требовалось доказать.

Изложив это, возьмем полукруг $АВГД$ [рис. 1.3] на диаметре $АД$, из точки $А$ проведем две прямые $АВ$, $АГ$, и пусть величина каждой из них будет дана в частях, каких в заданном диаметре содержится 120. Затем проведем линию, соединяющую $В$ с $Г$. Я утверждаю, что последняя тоже будет заданной⁴⁴.

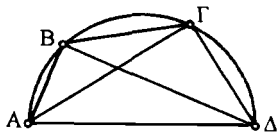


Рис. 1.3

Действительно, проведем соединяющие $ВД$ и $ГД$; тогда, очевидно, и они будут заданными, вследствие того, что каждая из них [есть хорда дуги, которая] дополняет до полуокружности [соответственно дуги $АВ$ или $АГ$]. Теперь, так как в круге имеется четырехугольник $АВГД$, то произведение $АВ$ на $ГД$ вместе с произведением $АД$ на $ВГ$ будет равно произведению $АГ$ на $ВД$. Но произведение $АГ$ на $ВД$ дано и также дано произведение $АВ$ на $ГД$. Следовательно, будет известным остающееся произведение $АД$ на $ВГ$. Но $АД$ — диаметр; следовательно, будет известна прямая $ВГ$. Таким образом, нам ясно, что если даны две дуги и стягивающие их прямые, то будет дана и прямая, стягивающая дугу, равную разности двух заданных дуг. И ясно, что при помощи этой теоремы мы сможем записать выражения для немалого числа других прямых при помощи разностей заданных основных дуг. Таким образом, имея величины прямых, стягивающих 60 и 72 градуса, мы найдем прямую, стягивающую дугу в 12 градусов.

Теперь пусть требуется найти по некоторой данной прямой в круге прямую, стягивающую половину дуги, соответствующей первой.

Пусть $АВГ$ [рис. 1.4] будет полукруг на диаметре $АГ$, а $ГВ$ — заданная прямая. Разделим дугу $ГВ$ пополам в $Д$, проведем соединительные прямые $АВ$, $АД$, $ВД$, $ДГ$ и из точки $Д$ опустим на $АГ$ перпендикуляр $ДЗ$. Я утверждаю, что $ЗГ$ будет половиной разности $АГ$ и $АВ$.

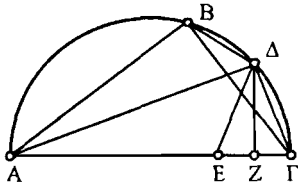


Рис. 1.4

Действительно, отложим $АЕ$ равной $АВ$ и соединим $ДЕ$. Поскольку $АВ$ равна $АЕ$ и $АД$ является общей, то две стороны $АВ$, $АД$ равны соответственно двум $АЕ$, $АД$, и угол $ВАД$ равен углу $ЕАД$. Следовательно, основание $ВД$ будет равно основанию $ДЕ$. Но $ВД$ равна $ДГ$; значит, $ДГ$ будет равна $ДЕ$. Теперь, поскольку в равнобедренном треугольнике $ДЕГ$ из вершины опущен на основание перпендикуляр $ДЗ$, $ЕЗ$ будет равна $ЗГ$. Но $ЕГ$ представляет собой разность прямых $АГ$ и $АВ$; следовательно, $ЗГ$ будет половиной разности этих прямых. Таким образом, поскольку прямая, стягивающая дугу $ВГ$, предполагается заданной (а вследствие этого будет задана прямая, стягивающая дугу $АВ$ — дополнение до полуокружности), будет заданной и $ЗГ$, являющаяся половиной разности $АГ$ и $АВ$. Но так как в прямоугольном треугольнике $АГД$ проведен перпендикуляр $ДЗ$, то прямоугольный треугольник $АДГ$ будет иметь равные углы с $ДГЗ$, и получится: как относится $АГ$ к $ГД$, так будет относиться и $ГД$ к $ГЗ$.

Следовательно, прямоугольник между $АГ$, $ГZ$ равен квадрату на $ГД$, но прямоугольник между $АГ$, $ГZ$ задан; значит, будет задан и квадрат на $ГД$. Таким образом, будет известна прямая $ГД$, стягивающая половину дуги $ВГ$.

При помощи этой теоремы можно также получить большое количество других прямых, соответствующих половинам рассмотренных выше дуг; таким образом, при помощи прямой, стягивающей дугу в 12 градусов, получается прямая для 6 , для 3 , для $1\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{4}$ градуса. Произведя вычисления, мы найдем, что для дуги в $1\frac{1}{2}$ градус стягивающая прямая будет приблизительно равна $1;34,15$, если принять диаметр равным 120 , а для дуги в $\frac{3}{4}$ градуса $0;47,8^{45}$.

Пусть опять задан круг $АВГД$ на диаметре $АД$ с центром Z [рис. 1.5]. От точки A отложим последовательно две данные дуги $АВ$, $ВГ$ и проведем под ними соединительные прямые $АВ$, $ВГ$, которые тоже являются заданными. Я утверждаю, что если мы соединим $АГ$, то она тоже будет известной.

Действительно, через точку B проведем диаметр $ВZE$ рассматриваемого круга и соединительные прямые $ВД$, $ДГ$, $ГЕ$, $ДЕ$. Отсюда ясно, что через $ВГ$ будет задана и $ГЕ$, а через $АВ$ будут данными $ВД$ и $ДЕ$. Тогда на основании того же, что и выше, поскольку в круге имеется четырехугольник $ВГДЕ$ и проведены прямые $ВД$, $ГЕ$, содержащийся между проведенными линиями прямоугольник будет равен вместе взятым прямоугольникам на противоположных сторонах. Таким образом, поскольку заданы прямоугольники на $ВД$, $ГЕ$ и на $ВГ$, $ДЕ$, будет задан и прямоугольник на $ВЕ$, $ГД$. Но диаметр $ВЕ$ задан; следовательно, будет заданной остающаяся прямая $ГД$, а вследствие этого и соответствующая дополнению до полуокружности прямая $ГА$. Таким образом, если даны две дуги и стягивающие их прямые, то на основании этой теоремы будет заданной и прямая, стягивающая дугу, получающуюся от сложения обеих упомянутых дуг⁴⁶.

Очевидно, что если ко всем определенным выше прямым мы будем последовательно добавлять прямую, стягивающую дугу в $1\frac{1}{2}$ градус, и вычислять стягивающие их [суммарные] прямые, то мы сможем записать [в таблицу] прямые для дуг, которые, будучи удвоены, имеют делителем тройку. Останутся [неопределенными] только два промежуточных деления в интервалах по $1\frac{1}{2}$ градусу, так как мы хотим составить таблицу через промежутки в $\frac{1}{2}$ градуса. Таким образом, если мы найдем прямую, соответствующую $\frac{1}{2}$ градуса, то при помощи сложения и вычитания ее с заданными прямыми, замыкающими упомянутые промежутки, мы сможем заполнить и все остальные промежутки. Но если дана какая-нибудь прямая, например, стягивающая дугу в $1\frac{1}{2}$ градус, то все же невозможно геометрически вычислить прямую, стягивающую третью часть этой дуги. Если бы это было возможно, то мы получили бы отсюда и прямую, соответствующую $\frac{1}{2}$ градуса. Попробуем сначала найти линию для 1 градуса при помощи линий для $1\frac{1}{2}$ и $\frac{3}{4}$ градуса, доказав [предварительно] небольшую лемму, которая хотя и не позволяет полностью определять

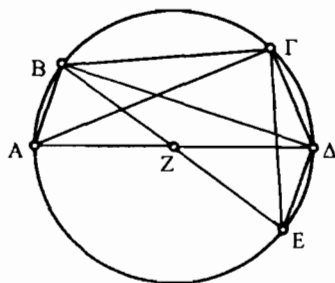


Рис. 1.5

количественные величины, но во всяком случае для таких весьма малых величин дает значения, которые можно сохранить без исправлений⁴⁷.

Я утверждаю, что если в круге проведены две неравные прямые, то большая имеет к меньшей отношение меньше того, которое дуга на большей прямой имеет к дуге на меньшей.

Пусть $AB\Gamma\Delta$ будет круг [рис. 1.6]; проведем в нем две неравные прямые, из которых AB будет меньшей, $B\Gamma$ большей. Я утверждаю, что прямая GB имеет к BA меньшее отношение, чем дуга $B\Gamma$ к дуге BA . Разделим

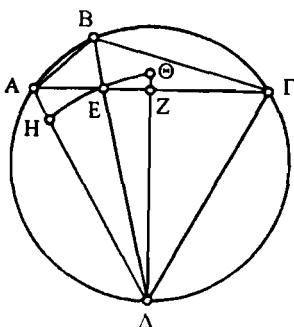


Рис. 1.6

угол $AB\Gamma$ пополам прямой BD и проведем соединительные прямые $AE\Gamma$, AD и $\Gamma\Delta$. Так как угол $AB\Gamma$ разделен пополам прямой BD , то прямая $\Gamma\Delta$ будет равна AD , и ΓE больше, чем EA . Опустим из Δ на $AE\Gamma$ перпендикуляр DZ . Поскольку AD больше ED , а ED больше DZ , окружность, описанная из центра Δ радиусом ΔE , пересечет AD и пройдет выше прямой DZ .

Опишем ее, и пусть это будет $HE\Theta$; также продолжим $DZ\Theta$. Поскольку сектор $\Delta E\Theta$ больше треугольника ΔEZ и треугольник ΔEA больше сектора ΔEH , то треугольник ΔEZ имеет к треугольнику ΔEA отношение, меньшее, чем сектор $\Delta E\Theta$ к ΔEH . Но как треугольник ΔEZ относится к треугольнику ΔEA , так будет относиться и прямая EZ к прямой EA . И как сектор $\Delta E\Theta$ относится к сектору ΔEH , так и угол $Z\Delta E$ относится к углу $E\Delta A$. Следовательно, прямая ZE имеет к EA меньшее отношение, чем угол $Z\Delta E$ к углу $E\Delta A$. Тогда после композиции⁴⁸ прямая ZA будет иметь к EA меньшее отношение, чем угол $Z\Delta A$ к углу $A\Delta E$. Если удвоить отношение $[ZA \text{ к } EA]$, то прямая ΓA будет иметь к AE меньшее отношение, чем угол $\Gamma\Delta A$ к углу $E\Delta A$, и после выделения⁴⁹ прямая ΓE будет иметь к EA меньшее отношение, чем угол $\Gamma\Delta E$ к углу $E\Delta A$. Но как прямая ΓE [относится] к EA , так будет [относиться] и прямая ΓB к BA , и как [относится] угол ΓAB к $B\Delta A$, так [будет относиться] дуга $B\Gamma$ к BA ⁵⁰. Следовательно, прямая ΓB имеет к BA меньшее отношение, чем дуга $B\Gamma$ к дуге BA .

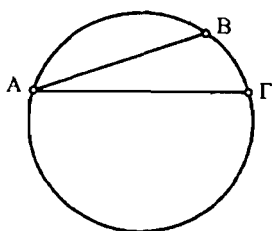


Рис. 1.7

Положив это в основу, возьмем круг $AB\Gamma$ [рис. 1.7] и проведем в нем две прямые AB и $A\Gamma$. Предположим сначала, что AB стягивает дугу в $3/4$ градуса, а $A\Gamma$ — в 1 градус. Так как прямая $A\Gamma$ имеет к BA меньшее отношение, чем дуга $A\Gamma$ к AB , а дуга $A\Gamma$ представляет $4/3$ дуги AB , то, значит, прямая ΓA будет иметь к BA отношение меньшее, чем 4 к 3. Но доказано, что прямая AB равна 0;48,8 таких частей, каких в диаметре имеется 120. Следовательно, прямая ΓA будет меньше 1;2,50 такой же части. Указанное число составляет приблизительно $4/3$ от 0;47,8.

Затем (на том же чертеже) предположим, что прямая AB стягивает 1 градус, а $A\Gamma$ стягивает $1 1/2$ градуса. Тогда на том же самом основании, если дуга $A\Gamma$ в $1 1/2$ раза больше AB , то, следовательно, прямая ΓA будет менее,

чем $1\frac{1}{2}$ раза взятая прямая ВА. Но мы показали, что АГ составляет $1;34,15$ такую часть, каких в диаметре будет 120. Значит, прямая ГА будет больше $1;2,50$ такой части, ибо это число, $1\frac{1}{2}$ раза взятое, даст выше написанное значение $1;34,15$. Таким образом, поскольку показано, что стягивающая 1 градус прямая будет и больше, и меньше одного и того же числа, то мы, конечно, возьмем ее равной приблизительно $1;2,50$ такой части, каких в диаметре будет 120. И на основании всего доказанного, а также того, что для $\frac{1}{2}$ градуса искомая прямая оказывается равной приблизительно $0;31,25$ таких же частей, мы заполним остающиеся, как мы сказали, промежутки. Так, например, при помощи прямой для $1\frac{1}{2}$ градуса в первом промежутке, сложив ее с указанной величиной для $\frac{1}{2}$ градуса, мы найдем линию, стягивающую 2 градуса, а при помощи вычитания из соответствующей 3 градусам найдем линию для $2\frac{1}{2}$ градусов. Таким же образом [поступим] и для [вычисления] остальных [дуг]⁵¹.

47 Как я полагаю, в этом виде теория прямых в круге может быть легче всего усвоена. Но чтобы иметь всегда, как я сказал, готовыми численные значения этих прямых, мы приводим ниже таблицы, каждую в 45 строк. Первая из них содержит числовые значения дуг, возрастающих на $\frac{1}{2}$ градуса, вторая — величины соответствующих этим дугам прямых в предположении, что диаметр состоит из 120 частей, третья же — тридцатые доли разностей прямых на каждые $\frac{1}{2}$ градуса. Таким образом, имея средний прирост на одну шестидесятую, не отличающийся чувствительно от истинного, мы можем легко вычислить соответствующие величины и для дуг, промежуточных между полуградусами.

Вполне понятно, что если у нас появится какое-либо сомнение относительно какой-нибудь из величин в таблице прямых вследствие ошибки при переписке, то на основании приведенных теорем мы можем легко произвести проверку или исправление при помощи удвоения исследуемой величины или же определения разности с какими-нибудь другими из известных [величин], или же по величине прямой, стягивающей дугу, равную дополнению до полуокружности. И таблицы эти таковы⁵².

48–63

11. Таблица прямых в круге

См. с. 22–25

64

12. О дуге, заключенной между солнцеворотами

Приведя числовые величины прямых, заключенных в круге, пожалуй, следует прежде всего, как мы сказали, определить числовую величину наклона круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий и наклонного к равноденственному. Иными словами, требуется найти отношение большого круга, проходящего через полюсы обоих указанных кругов, к его дуге, заключенной между этими полюсами. Оно, очевидно, также равно расстоянию каждой из точек солнцеворотов до равноденственного круга⁵³. Эту дугу мы можем непосредственно измерить инструментально при помощи следующего простого устройства⁵⁴.

Дуги	Прямые	Шестидесятые доли	Дуги	Прямые	Шестидесятые доли
$\frac{1}{2}^\circ$	$0^\circ 31' 25''$	$1' 2'' 50'''$	23°	$23^\circ 55' 27''$	$1' 1'' 33'''$
1	1 2 50	1 2 50	$23\frac{1}{2}$	24 26 13	1 1 30
$1\frac{1}{2}$	1 34 15	1 2 50	24	24 56 58	1 1 26
2	2 5 40	1 2 50	$24\frac{1}{2}$	25 27 41	1 1 22
$2\frac{1}{2}$	2 37 4	1 2 48	25	25 58 22	1 1 19
3	3 8 28	1 2 48	$25\frac{1}{2}$	26 29 1	1 1 15
$3\frac{1}{2}$	3 39 52	1 2 48	26	26 59 38	1 1 11
4	4 11 16	1 2 47	$26\frac{1}{2}$	27 30 14	1 1 8
$4\frac{1}{2}$	4 42 40	1 2 47	27	28 0 48	1 1 4
5	5 15 4	1 2 46	$27\frac{1}{2}$	28 31 20	1 1 0
$5\frac{1}{2}$	5 45 27	1 2 45	28	29 1 50	1 0 56
6	6 16 49	1 2 44	$28\frac{1}{2}$	29 32 18	1 0 52
$6\frac{1}{2}$	6 48 11	1 2 43	29	30 2 44	1 0 48
7	7 19 33	1 2 42	$29\frac{1}{2}$	30 33 8	1 0 44
$7\frac{1}{2}$	7 50 54	1 2 41	30	31 3 30	1 0 40
8	8 22 15	1 2 40	$30\frac{1}{2}$	31 33 50	1 0 35
$8\frac{1}{2}$	8 53 35	1 2 39	31	32 4 8	1 0 31
9	9 24 54	1 2 38	$31\frac{1}{2}$	32 34 22	1 0 27
$9\frac{1}{2}$	9 56 13	1 2 37	32	33 4 35	1 0 22
10	10 27 32	1 2 35	$32\frac{1}{2}$	33 34 46	1 0 17
$10\frac{1}{2}$	10 58 49	1 2 33	33	34 4 55	1 0 12
11	11 30 5	1 2 32	$33\frac{1}{2}$	34 35 1	1 0 8
$11\frac{1}{2}$	12 1 21	1 2 30	34	35 5 5	1 0 3
12	12 32 36	1 2 28	$34\frac{1}{2}$	35 35 6	0 59 57
$12\frac{1}{2}$	13 3 50	1 2 27	35	36 5 5	0 59 52
13	13 35 4	1 2 25	$35\frac{1}{2}$	36 35 1	0 59 48
$13\frac{1}{2}$	14 6 16	1 2 23	36	37 4 55	0 59 43
14	14 37 27	1 2 21	$36\frac{1}{2}$	37 34 47	0 59 38
$14\frac{1}{2}$	15 8 38	1 2 19	37	38 4 36	0 59 32
15	15 39 47	1 2 17	$37\frac{1}{2}$	38 34 22	0 59 27
$15\frac{1}{2}$	16 10 56	1 2 15	38	39 4 5	0 59 22
16	16 42 3	1 2 13	$38\frac{1}{2}$	39 33 46	0 59 16
$16\frac{1}{2}$	17 13 9	1 2 10	39	40 3 25	0 59 11
17	17 44 14	1 2 7	$39\frac{1}{2}$	40 33 0	0 59 5
$17\frac{1}{2}$	18 15 17	1 2 5	40	41 2 33	0 59 0
18	18 46 19	1 2 2	$40\frac{1}{2}$	41 32 3	0 58 54
$18\frac{1}{2}$	19 17 21	1 2 0	41	42 1 30	0 58 48
19	19 48 21	1 1 57	$41\frac{1}{2}$	42 30 54	0 58 42
$19\frac{1}{2}$	20 19 19	1 1 54	42	43 0 15	0 58 36
20	20 50 16	1 1 51	$42\frac{1}{2}$	43 29 33	0 58 31
$20\frac{1}{2}$	21 21 11	1 1 48	43	43 58 49	0 58 25
21	21 52 6	1 1 45	$43\frac{1}{2}$	44 28 1	0 58 18
$21\frac{1}{2}$	22 22 58	1 1 42	44	44 57 10	0 58 12
22	22 53 49	1 1 39	$44\frac{1}{2}$	45 26 16	0 58 6
$22\frac{1}{2}$	23 24 39	1 1 36	45	45 55 19	0 58 0

Дуги	Прямые	Шестидесятые доли	Дуги	Прямые	Шестидесятые доли
45½°	46 ^P 24' 19"	0' 57" 54"	68°	67 ^P 6' 12"	0' 52" 1"
46	46 53 16	0 57 47	68½	67 32 12	0 51 52
46½	47 22 9	0 57 41	69	67 58 8	0 51 43
47	47 51 0	0 57 34	69½	68 23 59	0 51 33
47½	48 19 47	0 57 27	70	68 49 45	0 51 23
48	48 48 30	0 57 21	70½	69 15 27	0 51 14
48½	49 17 11	0 57 14	71	69 41 4	0 51 4
49	49 45 48	0 57 7	71½	70 6 36	0 50 55
49½	50 14 21	0 57 0	72	70 32 3	0 50 45
50	50 42 51	0 56 53	72½	70 57 26	0 50 35
50½	51 11 18	0 56 46	73	71 22 44	0 50 26
51	51 39 42	0 56 39	73½	71 47 56	0 50 16
51½	52 8 0	0 56 32	74	72 13 4	0 50 6
52	52 36 16	0 56 25	74½	72 38 7	0 49 56
52½	53 4 29	0 56 18	75	73 3 5	0 49 46
53	53 32 38	0 56 10	75½	73 27 58	0 49 36
53½	54 0 43	0 56 3	76	73 52 46	0 49 26
54	54 28 44	0 55 55	76½	74 17 29	0 49 16
54½	54 56 42	0 55 48	77	74 42 7	0 49 6
55	55 24 36	0 55 40	77½	75 6 39	0 48 55
55½	55 52 26	0 55 33	78	75 31 7	0 48 45
56	56 20 12	0 55 25	78½	75 55 29	0 48 34
56½	56 47 54	0 55 17	79	76 19 46	0 48 24
57	57 15 33	0 55 9	79½	76 43 58	0 48 13
57½	57 43 7	0 55 1	80	77 8 5	0 48 3
58	58 10 38	0 54 53	80½	77 32 6	0 47 52
58½	58 38 5	0 54 45	81	77 56 2	0 47 41
59	59 5 27	0 54 37	81½	78 19 52	0 47 31
59½	59 32 45	0 54 29	82	78 43 38	0 47 20
60	60 0 0	0 54 21	82½	79 7 18	0 47 9
60½	60 27 11	0 54 12	83	79 30 52	0 46 58
61	60 54 17	0 54 4	83½	79 54 21	0 46 47
61½	61 21 19	0 53 56	84	80 17 45	0 46 36
62	61 48 17	0 53 47	84½	80 41 3	0 46 25
62½	62 15 10	0 53 39	85	81 4 15	0 46 14
63	62 42 0	0 53 30	85½	81 27 22	0 46 3
63½	63 8 45	0 53 22	86	81 50 24	0 45 52
64	63 35 25	0 53 13	86½	82 13 19	0 45 40
64½	64 2 2	0 53 4	87	82 36 9	0 45 29
65	64 28 34	0 52 55	87½	82 58 54	0 45 18
65½	64 55 1	0 52 46	88	83 21 33	0 45 6
66	65 21 24	0 52 37	88½	83 44 4	0 44 55
66½	65 47 43	0 52 28	89	84 6 32	0 44 43
67	66 13 57	0 52 19	89½	84 28 54	0 44 31
67½	66 40 7	0 52 10	90	84 51 10	0 44 20

Дуги	Прямые	Шестидесятые доли	Дуги	Прямые	Шестидесятые доли
90½°	85° 13' 20"	0' 44" 8"	113°	100° 3' 59"	0' 34" 34"
91	85 35 24	0 43 57	113½	100 21 16	0 34 20
91½	85 57 23	0 43 45	114	100 38 26	0 34 6
92	86 19 15	0 43 33	114½	100 55 28	0 33 52
92½	86 41 2	0 43 21	115	101 12 25	0 33 39
93	87 2 42	0 43 9	115½	101 29 15	0 33 25
93½	87 24 17	0 42 57	116	101 45 57	0 33 11
94	87 45 45	0 42 45	116½	102 2 33	0 32 57
94½	88 7 7	0 42 33	117	102 19 1	0 32 43
95	88 28 24	0 42 21	117½	102 35 22	0 32 29
95½	88 49 34	0 42 9	118	102 51 37	0 32 15
96	89 10 39	0 41 57	118½	103 7 44	0 32 0
96½	89 31 37	0 41 45	119	103 23 44	0 31 46
97	89 52 29	0 41 33	119½	103 39 37	0 31 32
97½	90 13 15	0 41 21	120	103 55 23	0 31 18
98	90 33 55	0 41 8	120½	104 11 2	0 31 4
98½	90 54 29	0 40 55	121	104 26 34	0 30 49
99	91 14 56	0 40 42	121½	104 41 59	0 30 35
99½	91 35 17	0 40 30	122	104 57 16	0 30 21
100	91 55 32	0 40 17	122½	105 12 26	0 30 7
100½	92 15 40	0 40 4	123	105 27 30	0 29 52
101	92 35 42	0 39 52	123½	105 42 26	0 29 37
101½	92 55 38	0 39 39	124	105 57 14	0 29 23
102	93 15 27	0 39 26	124½	106 11 55	0 29 8
102½	93 35 11	0 39 13	125	106 26 29	0 28 54
103	93 54 47	0 39 0	125½	106 40 56	0 28 39
103½	94 14 17	0 38 47	126	106 55 15	0 28 24
104	94 33 41	0 38 34	126½	107 9 27	0 28 10
104½	94 52 58	0 38 21	127	107 23 32	0 27 56
105	95 12 9	0 38 8	127½	107 37 30	0 27 40
105½	95 31 13	0 37 55	128	107 51 20	0 27 25
106	95 50 11	0 37 42	128½	108 5 2	0 27 10
106½	96 9 2	0 37 29	129	108 18 37	0 26 56
107	96 27 47	0 37 16	129½	108 32 5	0 26 41
107½	96 46 24	0 37 3	130	108 45 25	0 26 26
108	97 4 55	0 36 50	130½	108 58 38	0 26 11
108½	97 23 20	0 36 36	131	109 11 44	0 25 56
109	97 41 38	0 36 23	131½	109 24 42	0 25 41
109½	97 59 49	0 36 9	132	109 37 32	0 25 26
110	98 17 54	0 35 56	132½	109 50 15	0 25 11
110½	98 35 52	0 35 42	133	110 2 50	0 24 56
111	98 53 43	0 35 29	133½	110 15 18	0 24 41
111½	99 11 27	0 35 15	134	110 27 39	0 24 26
112	99 29 5	0 35 1	134½	110 39 52	0 24 10
112½	99 46 35	0 34 48	135	110 51 57	0 23 55

Дуги	Прямые	Шестидесятые доли	Дуги	Прямые	Шестидесятые доли
135½°	111 ^P 3' 54"	0' 23" 40"	158°	117 ^P 47' 43"	0' 11" 51"
136	111 15 44	0 23 25	158½	117 53 39	0 11 35
136½	111 27 26	0 23 9	159	117 59 27	0 11 19
137	111 39 1	0 22 54	159½	118 5 7	0 11 3
137½	111 50 28	0 22 39	160	118 10 37	0 10 47
138	112 1 47	0 22 24	160½	118 16 1	0 10 31
138½	112 12 59	0 22 8	161	118 21 16	0 10 14
139	112 24 3	0 21 53	161½	118 26 23	0 9 58
139½	112 35 0	0 21 37	162	118 31 22	0 9 42
140	112 45 48	0 21 22	162½	118 36 13	0 9 25
140½	112 56 29	0 21 7	163	118 40 55	0 9 9
141	113 7 2	0 20 51	163½	118 45 30	0 8 53
141½	113 17 25	0 20 36	164	118 49 56	0 8 37
142	113 27 44	0 20 20	164½	118 54 15	0 8 20
142½	113 37 54	0 20 4	165	118 58 25	0 8 4
143	113 47 56	0 19 49	165½	119 2 26	0 7 48
143½	113 57 50	0 19 33	166	119 6 20	0 7 31
144	114 7 37	0 19 17	166½	119 10 6	0 7 15
144½	114 17 15	0 19 2	167	119 13 44	0 6 59
145	114 26 46	0 18 46	167½	119 17 13	0 6 42
145½	114 36 9	0 18 30	168	119 20 34	0 6 26
146	114 45 24	0 18 14	168½	119 23 47	0 6 10
146½	114 54 31	0 17 59	169	119 26 52	0 5 53
147	115 3 30	0 17 43	169½	119 29 49	0 5 37
147½	115 12 22	0 17 27	170	119 32 37	0 5 20
148	115 21 6	0 17 11	170½	119 35 17	0 5 4
148½	115 29 41	0 16 55	171	119 37 49	0 4 48
149	115 38 9	0 16 40	171½	119 40 13	0 4 31
149½	115 46 29	0 16 24	172	119 42 28	0 4 14
150	115 54 40	0 16 8	172½	119 44 36	0 3 58
150½	116 2 44	0 15 52	173	119 46 35	0 3 42
151	116 10 40	0 15 36	173½	119 48 26	0 3 26
151½	116 18 28	0 15 20	174	119 50 8	0 3 9
152	116 26 8	0 15 4	174½	119 51 43	0 2 53
152½	116 33 40	0 14 48	175	119 53 10	0 2 36
153	116 41 4	0 14 32	175½	119 54 27	0 2 20
153½	116 48 20	0 14 16	176	119 55 38	0 2 3
154	116 55 28	0 14 0	176½	119 56 39	0 1 47
154½	117 2 28	0 13 44	177	119 57 32	0 1 30
155	117 9 20	0 13 28	177½	119 58 18	0 1 14
155½	117 16 4	0 13 12	178	119 58 55	0 0 57
156	117 22 40	0 12 56	178½	119 59 24	0 0 41
156½	117 29 8	0 12 40	179	119 59 44	0 0 25
157	117 35 28	0 12 24	179½	119 59 56	0 0 9
157½	117 41 40	0 12 7	180	120 0 0	0 0 0

Изготовим тщательно обточенный медный круг соответственно измеряемой величине и с прямоугольным сечением поверхности [рис. 1-Е]. Воспользуемся им в качестве полуденного круга, разделив его на обычные 360 частей большого круга, а каждую из этих частей — на столько частей, сколько может вместить инструмент. После этого к упомянутому кругу [1 на рис. 1-Е] присоединим другой, более тонкий круг [2] таким образом,

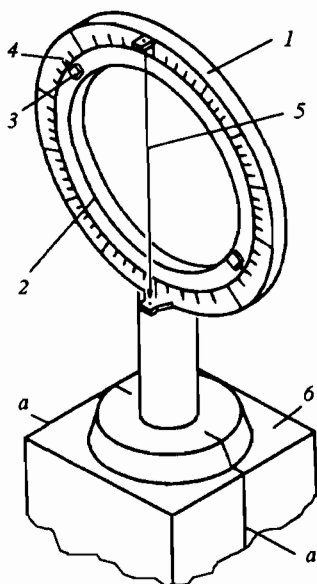


Рис. 1-Е

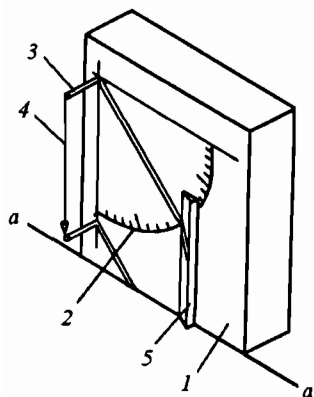


Рис. 1-Ф

чтобы они все время оставались в одной плоскости; малый круг должен свободно вращаться внутри большого круга в одной и той же плоскости к северу и к югу. На одной поверхности малого круга в двух его диаметрально противоположных точках закрепим небольшие призмы [3], направленные одна к другой и к центру обоих кругов. В середине их поместим тонкие указатели [4] таким образом, чтобы они касались поверхности большого круга, разделенного на части. При каждом наблюдении мы закрепляем этот круг на столбике [6] подходящей величины. Основание этого столбика устанавливается под открытым небом на плоскости, не имеющей никакого наклона к горизонту и так, чтобы плоскость обоих кругов была всегда перпендикулярна к горизонту и параллельна кругу меридиана. Первое из этих условий удовлетворяется при помощи отвеса [5], подвешенного в самой верхней точке. Выпрямляя подножия подкладками, постараемся добиться, чтобы отвес проходил точно по диаметру. Второе условие достигается, если на плоскости, расположенной под столбиком, начертить хорошо заметную полуденную линию [a—a] и поворачивать круги в стороны до тех пор, пока их плоскость не окажется параллельной упомянутой линии. Установив все это надлежащим образом, мы наблюдаем в полдень отклонения Солнца к северу и к югу, поворачивая внутренний круг до тех пор, пока нижняя призма не будет целиком затенена верхней. Когда это будет достигнуто, концы указателей покажут нам, на сколько делений полуденной линии каждый раз отстоял центр Солнца от зенита.

Мы сделаем это наблюдение еще более удобным, изготовив вместо кругов каменную или деревянную четырехугольную неподвижную призму [1 на рис. 1-Ф], одна из граней которой хорошо выровнена и разглажена⁵⁵. Взяв на ее поверхности в качестве центра некоторую точку у одного из углов, мы описали четверть круга [2] и из центральной точки до начерченной окружности провели две прямые линии, содержащие соответствующий четверти круга прямой угол. Эту дугу мы точно так же разделили на 90 градусов и их доли. Затем на одной из прямых, которая должна быть перпендикулярна к плоскости горизонта и обращена к югу, мы поместили два одинаковых прямых цилиндрика [3], обточенных подобно

друг другу. Один из них должен находиться в центральной точке, точно совпадающей с его серединой, а другой — на нижнем конце прямой. Затем грань призмы с начерченными линиями устанавливаем параллельно полуденной линии $[a-a]$, нанесенной на плоскости основания так, чтобы эта грань имела положение, параллельное плоскости полуденного круга⁵⁶. Добившись при помощи отвеса [4], проходящего через цилиндрики, чтобы она не имела наклона и была перпендикулярной к плоскости горизонта, уточняем положение проходящей через эти цилиндры прямой, выпрямляя ее, если понадобится, подкладывая небольшие подставки. Затем точно так же в полдень будем наблюдать тень от центрального цилиндра, прикладывая что-нибудь к окружности [5]. Для большей точности в определении места, отметив середину тени, возьмем соответствующий ей отрезок дуги квадранта, который, очевидно, покажет нам отклонение Солнца на данной широте в полдень⁵⁷.

Из подобных наблюдений и главным образом из тех, которые были сделаны нами во время солнцеворотов в течение многих лет, добившись при помощи отсчитываемой от вершины отметки, чтобы во время летнего или зимнего солнцеворотов получались одни и те же одинаковые деления полуденного круга, мы нашли, что дуга от самого северного до самого южного конца (а это будет дуга, заключающаяся между тропиками) всегда оказывалась равной 47 градусам с избытком, большим $\frac{2}{3}$, но меньшим $\frac{3}{4}$ градуса. Отсюда получается почти то же отношение, что у Эратосфена, которым пользовался и Гиппарх. Действительно, величина дуги между тропиками составляет приблизительно 11 таких частей, каких в полуденном круге будет 83⁵⁸.

Из упомянутого наблюдения становится ясно, как определять широту места, в котором мы производим наблюдения. Между обоими конечными точками нужно взять среднюю, которая будет соответствовать равноденственному кругу, и измерить дугу, заключенную между этой точкой и верхним концом дуги. Она, очевидно, будет равна расстоянию полюса от горизонта⁵⁹.

13. Предварительные теоремы для доказательств сферике

Теперь следует вычислить величины дуг различных больших кругов, проведенных через полюсы равноденственного круга, которые заключаются между равноденственным кругом и кругом, проведенным через середины зодиакальных созвездий⁶⁰. Предварительно мы изложим несколько кратких и очень полезных лемм, при помощи которых доказательства большей части предложений, усматриваемых при помощи сферике, можно сделать более простыми и методическими.

Пусть к двум прямым АВ и АГ [рис. 1.8] проведены две прямые ВЕ и ГД, пересекающиеся в точке Z.

Я утверждаю, что отношение ГА к АЕ составляется из отношений ГА к АЗ и ЗВ к

ВЕ⁶¹. Через Е параллельно ГД проведем ЕН. Так как ГД и ЕН параллельны, то отношение ГА к ЕА будет тем же, что и отношение ГА к ЕН. Возьмем еще ЗД; тогда отношение ГА к ЕН будет

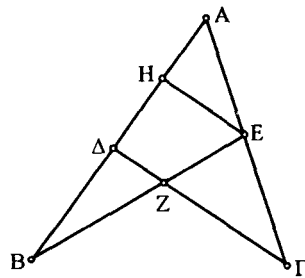


Рис. 1.8

составляться из отношений $\Gamma\Delta$ к ΔZ и ΔZ к $ЕН$. Таким образом, отношение ΓA к AE составляется из отношений $\Gamma\Delta$ к ΔZ и ΔZ к $ЕН$. Но отношение ΔZ к $ЕН$ такое же, как отношение ZB к BE вследствие параллельности $ЕН$ и $Z\Delta$. Следовательно, отношение ΓA к AE составляется из отношений $\Gamma\Delta$ к ΔZ и ZB к BE . Это и требовалось доказать.

Так же мы докажем при выделении, что отношение ΓE к EA составляется из отношений ΓZ к ΔZ и ΔB к BA . Через A проведем параллель к EB [рис. 1.9] и продолжим до этой ее параллели прямую $\Gamma\Delta H$. Так как $АН$ опять будет параллельна EZ , то как относится ΓE к EA , так будет относиться и ΓZ к ZH ⁶². Если взять еще $Z\Delta$, то отношение ΓZ к ZH составит из отношений ΓZ к $Z\Delta$ и ΔZ к ZH . Но отношение ΔZ к ZH такое же, как

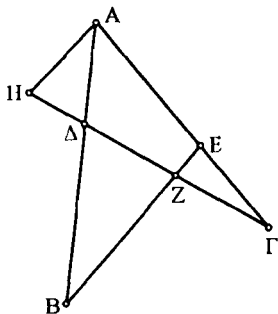


Рис. 1.9

отношение ΔB к BA вследствие того, что между параллельными $АН$ и ZB проведены BA и ZH . Следовательно, отношение ΓZ к ZH складывается из отношений ΓZ к ΔZ и ΔB к BA . Но отношение ΓZ к ZH такое же, как отношение ΓE к EA , и, следовательно, отношение ΓE к EA складывается из отношений ΓZ к ΔZ и ΔB к BA , что и требовалось доказать.

Пусть дан еще круг $AB\Gamma$ [рис. 1.10] с центром Δ . Возьмем на его окружности три какие-нибудь точки A, B, Γ так, чтобы каждая из дуг $AB, B\Gamma$ была меньше полуокружности; то же самое мы будем предполагать в дальнейшем и для других дуг. Проведем соединительные прямые $A\Gamma$ и ΔEB .

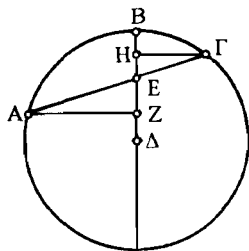


Рис. 1.10

Я утверждаю, что как прямая под удвоенной дугой AB относится к прямой под удвоенной $B\Gamma$, так будет относиться и прямая AE к прямой $E\Gamma$.

Действительно, из точек A и Γ проведем перпендикуляры AZ и ΓH к прямой ΔB . Так как AZ параллельна ΓH и они пересечены прямой $A\Gamma$, то как относится AZ к ΓH , так будет относиться и AE к $E\Gamma$.

Но отношение AZ к ΓH будет такое же, как у прямой под удвоенной дугой AB к прямой под удвоенной $B\Gamma$, ибо первые две будут соответственно половинами вторых. Следовательно, отношение AE к $E\Gamma$ будет тем же, что у прямой под удвоенной дугой AB к прямой под удвоенной $B\Gamma$. Это и требовалось доказать.

Отсюда следует, что если даны вся дуга $A\Gamma$ и отношение прямой под удвоенной дугой AB к прямой под удвоенной дугой $B\Gamma$, то будут заданы и каждая из дуг AB и $B\Gamma$ ⁶³.

Действительно, на том же чертеже [рис. 1.11] проведем соединительную прямую $A\Delta$ и опустим из Δ на $A\Gamma$ перпендикуляр ΔZ . Очевидно, что при задании дуги $A\Gamma$ будут заданными и угол $A\Delta Z$, стягиваемый ее половиной, и весь треугольник $A\Delta Z$. Поскольку кроме всей прямой $A\Gamma$ предполагается заданным также отношение AE к $E\Gamma$, тождественное с отношением прямой под удвоенной дугой AB к прямой под удвоенной $B\Gamma$, будет заданной прямая AE и, в результате, ZE . Вследствие этого при задании ΔZ будут заданными угол $E\Delta Z$ прямоугольного треугольника $E\Delta Z$ и весь угол $A\Delta B$.

Таким образом, будут заданы дуга AB и остаток $B\Gamma$. Это и требовалось доказать.

Пусть опять будет дан круг $AB\Gamma$ [рис. 1.12], описанный около центра Δ . Возьмем на его окружности три точки A, B, Γ так, чтобы каждая из

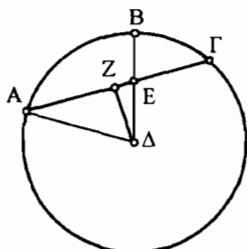


Рис. 1.11

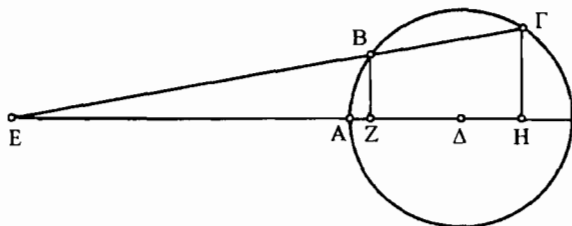


Рис. 1.12

дуг $AB, A\Gamma$ была меньше полуокружности. То же мы предположим и относительно дуг, которые будем брать в дальнейшем. Проведем соединительные прямые ΔA и ΓB , продолжим их, и пусть они пересекутся в точке E .

Я утверждаю, что прямая под удвоенной дугой ΓA относится к прямой под удвоенной дугой AB , как прямая ΓE к BE ⁶⁴.

Действительно, если мы, как и в предыдущей лемме, опустим из B и Γ перпендикуляры BZ и ΓH на прямую ΔA , то вследствие их параллельности получится, что как относится ΓH к BZ , так будет относиться и ΓE к BE . Таким образом, как прямая под удвоенной дугой ΓA относится к прямой под удвоенной AB , так будет относиться и ΓE к BE , что и требовалось доказать.

И отсюда получится, что если даны только дуга ΓB и отношение прямой под удвоенной дугой ΓA к прямой под удвоенной AB , то будет дана и дуга AB ⁶⁵.

Действительно, если на такой же фигуре [рис. 1.13] проведем соединительную прямую ΔB и на $B\Gamma$ опустим перпендикуляр ΔZ , то будет заданным угол ΔZB , стягиваемый половиной дуги $B\Gamma$, и, следовательно, весь прямоугольный треугольник ΔZB . Так как дано отношение ΓE к BE

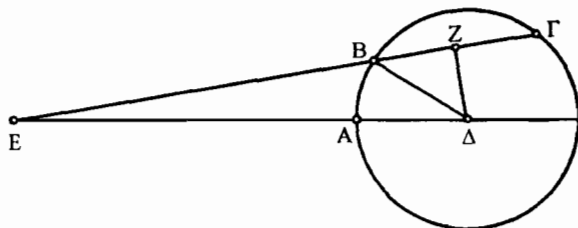


Рис. 1.13

и прямая ΓB , то будут даны также и EB , и вся прямая EBZ . Если ΔZ дана, то будет дан и угол $E\Delta Z$ того же прямоугольного треугольника, и остающийся угол $E\Delta B$. Таким образом, будет известна и дуга AB .

После этих предварительных замечаний опишем на сферической поверхности [рис. 1.14] дуги больших кругов так, чтобы проведенные к

двум начерченным дугам АВ и АГ две другие дуги ВЕ и ГД пересекались в точке Z. Пусть каждая из этих дуг будет меньше полуокружности; то же самое мы будем предполагать и относительно всех таких построений.

Я утверждаю, что отношение прямой под удвоенной дугой ГЕ к прямой под удвоенной дугой ЕА складывается из отношения прямой под удвоенной дугой ГZ к прямой под удвоенной дугой ZΔ и отношения прямой под удвоенной дугой ΔВ к прямой под удвоенной дугой ВА.

Действительно, возьмем центр сферы, и пусть он будет в точке Н. К точкам В, Z, Е пересечений кругов проведем из Н прямые НВ, НZ и НЕ. Затем продолжим соединяющую прямую АΔ, и пусть она пересечется в точке Θ с продолжением НВ. Точно так же пусть соединяющие прямые АГ и АГ пересекутся с НZ и НЕ в точках К и Л. Точки Θ, К, Л лежат на одной прямой вследствие того, что они одновременно находятся на двух плоскостях — треугольника АГΔ и круга ВZE. Соединяющая их прямая ΘКЛ вместе с двумя прямыми ΘА и ГА дает две проведенные поперек прямые ΘЛ и ГΔ, пересекающиеся в точке К. Следовательно, отношение ГЛ к ЛА составляется из отношений GK к КЛ и ΔΘ к ΘЛ. Но ГЛ относится к ЛА, как прямая, стоящая под удвоенной дугой ГЕ, относится к прямой под удвоенной дугой ЕА, а GK относится к КЛ, как прямая под удвоенной дугой ГZ относится к прямой под удвоенной дугой ZΔ, и ΘΔ относится к ΘА, как прямая под удвоенной дугой ΔВ относится к прямой под удвоенной дугой ВА. Следовательно, отношение прямой под удвоенной дугой ГЕ к прямой под удвоенной дугой ЕА складывается из отношений прямых под удвоенной дугой ГZ и под удвоенной дугой ZΔ, а также прямых над удвоенной дугой ΔВ и под удвоенной дугой ВА.

Рис. 1.14

На основании тех же рассуждений и как бы для прямых, начерченных на плоскости, доказывается, что отношение прямой под удвоенной дугой ГА к прямой под удвоенной дугой ЕА складывается из отношения прямой под удвоенной дугой ГΔ к прямой под удвоенной дугой ΔZ и отношения прямой под удвоенной дугой ZВ к прямой под удвоенной дугой ВЕ. Все это и предполагалось предварительно доказать⁶⁶.

14. О дугах, заключенных между равноденственным и наклонным кругами

Доказав изложенную выше теорему, сначала вычислим упомянутые дуги таким образом. Пусть АВГД — большой круг [рис. 1.15], проведенный через полюсы кругов равноденственного и проходящего через середины зодиакальных созвездий. Пусть АЕГ — полуокружность равноденственного круга, а ВЕД — половина круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий. Пусть точка Е — их пересечение, соответствующее весеннему равноденствию, так что В будет точкой зимнего, а Δ — летнего солнцеворотов. На окружности АВГ возьмем полюс равноденственного круга

⁷⁷ АЕГ. Пусть он будет в точке Z. На круге, проходящем через середины зодиакальных созвездий, возьмем дугу ЕН, равную 30 таким частям, каких весь большой круг содержит 360. Через точки Z и Н проведем дугу ZНΘ большого круга и поставим задачу определить величину НΘ. При этом здесь и вообще во всех подобных вычислениях во избежание повторений будем в каждом отдельном случае предполагать, что, говоря о численной величине дуг или прямых и выражая ее в градусах или частях, мы относительно дуг будем говорить о таких частях, которых в окружности большого круга содержится 360, а относительно прямых — о таких, каких в диаметре круга содержится 120.

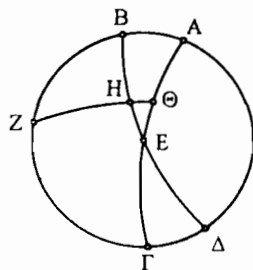


Рис. 1.15

Теперь, так как на чертеже в две дуги AZ и AE больших кругов вписаны две другие, ZΘ и EB, пересекающиеся друг с другом в точке Н, то отношение прямой под удвоенной дугой ZA к прямой под удвоенной АВ складывается из отношения прямой под удвоенной ΘZ к прямой под удвоенной ΘН и отношения прямой под удвоенной НЕ к прямой под удвоенной EB. Но удвоенная дуга ZA равна 180 градусам, а стоящая под ней прямая — 120 частям, удвоенная же дуга АВ в соответствии с принятым нами отношением 11 к 83 равна 47;42,40 градусам, а стоящая под ней прямая — 48;31,55 частям. И далее, удвоенная дуга HE равна 60 градусам, а стоящая под ней прямая — 60 частям, удвоенная же дуга EB равна 180 градусам, а прямая под ней — 120 частям. Следовательно, если из отношения 120 к 48;31,55 мы выделим отношение 60 к 120, то останется отношение прямой под удвоенной дугой ZΘ к прямой под удвоенной ΘН, а именно 120 к 24;15,57. Удвоенная дуга ZΘ равна 180 градусам, а стоящая под ней прямая — 120 частям. Следовательно, прямая под удвоенной дугой ΘН равна 24;15,57 таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга ΘН равна 23;19,59 градусам, и сама дуга ΘН — приблизительно 11;40 таким же градусам⁶⁷.

Теперь предположим, что дуга ЕН равна 60 градусам, а все остальное остается таким же. Тогда удвоенная дуга ЕН равна 120 градусам, а прямая под ней — 103;55,23 частям. Следовательно, если мы опять из отношения 120 к 48;31,55 выделим отношение 103;55,23 к 120, то останется отношение прямой под удвоенной дугой ZΘ к прямой под удвоенной ΘН, т.е. отношение 120 к 42;1,48. Но прямая под удвоенной дугой ZΘ составляет 120 частей. Тогда прямая под удвоенной дугой ΘН будет равна 42;1,48 частям, и, следовательно, удвоенная дуга ΘН равна 41;0,18 градусу, а дуга ΘН равна 20;30,9 таким же градусам, что и требовалось доказать.

⁷⁹ Вычислив таким же образом числовые значения различных дуг, мы составим таблицу для 90 градусов одного квадранта, содержащую числовые величины дуг, подобных предыдущим. Таблица эта такова⁶⁸.

15. Таблица склонений

См. с. 32

16. О временах восхода в прямой сфере

Теперь следует определить числовые величины дуг равноденственного круга, образуемых при пересечении его с кругом, проведенным через его полюсы и заданную точку на наклонном круге. Таким образом мы получим

Дуги		Дуги		Дуги	
круга через середины зодиака. созвездий	меридиана	круга через середины зодиака. созвездий	меридиана	круга через середины зодиака. созвездий	меридиана
1°	0° 24' 16"	31°	12° 1' 20"	61°	20° 42' 58"
2	0 48 31	32	12 22 30	62	20 55 24
3	1 12 46	33	12 43 28	63	21 7 21
4	1 37 0	34	13 4 14	64	21 18 58
5	2 1 12	35	13 24 47	65	21 30 11
6	2 25 22	36	13 45 6	66	21 41 0
7	2 49 30	37	14 5 11	67	21 51 25
8	3 13 35	38	14 25 2	68	22 1 25
9	3 37 37	39	14 44 39	69	22 11 1
10	4 1 38	40	15 4 4	70	22 20 11
11	4 25 32	41	15 23 10	71	22 28 57
12	4 49 24	42	15 42 2	72	22 37 17
13	5 13 11	43	16 0 38	73	22 45 11
14	5 36 53	44	16 18 58	74	22 52 39
15	6 0 31	45	16 37 1	75	22 59 41
16	6 24 1	46	16 54 47	76	23 6 17
17	6 47 26	47	17 12 16	77	23 12 27
18	7 10 45	48	17 29 27	78	23 18 11
19	7 33 57	49	17 46 20	79	23 23 28
20	7 57 3	50	18 2 53	80	23 28 16
21	8 20 0	51	18 19 15	81	23 32 30
22	8 42 50	52	18 35 5	82	23 36 35
23	9 5 32	53	18 50 41	83	23 40 2
24	9 28 5	54	19 5 57	84	23 43 2
25	9 50 29	55	19 20 56	85	23 45 34
26	10 12 46	56	19 35 28	86	23 47 39
27	10 34 57	57	19 49 42	87	23 49 16
28	10 56 44	58	20 3 31	88	23 50 25
29	11 18 25	59	20 17 4	89	23 51 6
30	11 39 59	60	20 30 9	90	23 51 20

выраженные в равноденственных временных градусах⁶⁹ времена прохождения через полуденный круг отдельных частей круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, одинаковые для всех местностей, а также [времена прохождения] через горизонт в прямой сфере вследствие того, что только в этом случае горизонт проходит через полюсы равноденственного круга⁷⁰.

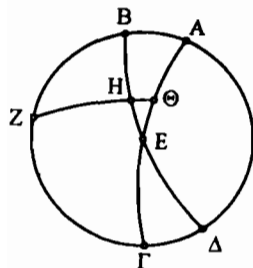


Рис. 1.16

Начертим снова вышеуказанную фигуру [рис. 1.16]. Пусть опять будет дана дуга ЕН наклонного круга, которую мы для начала возьмем равной 30 градусам, а требуется определить дугу ЕΘ равноденственного круга.

На том же основании, что и выше, отношение прямой под удвоенной дугой ZB к прямой под удвоенной дугой BA складывается из отношения прямой под удвоенной дугой ZH к прямой под удвоенной дугой HΘ и отношения прямой под удвоенной дугой ΘЕ к прямой под удвоенной дугой ЕА. Но удвоенная дуга ZB равна 132;17,20 градусам, а стоящая под ней прямая — 109;44,53 частям. Удвоенная же дуга AB равна 47;42,40 градусам, а прямая под ней — 48;31,55 частям. Далее, удвоенная дуга ZH равна

156;40,1 градусам, а прямая под ней — 117;31,15 частям, удвоенная же дуга НΘ равна 23;19,59 градусам, прямая же под ней — 24;15,57 частям. Следовательно, если из отношения 109;44,53 к 48;31,55 выделим отношение 117;31,15 к 24;15,57, то у нас останется отношение прямой под удвоенной дугой ΘЕ к прямой под удвоенной дугой ЕА, а именно отношение 54;52,26 к 117;31,15. Это отношение будет таким же, как отношение 56;1,53 к 120. Удвоенная дуга ЕА равна 180 градусам, стоящая же под ней прямая — 120 частям, и, следовательно, прямая под удвоенной дугой ΘЕ равна 56;1,53⁷¹ таким же частям. Поэтому удвоенная дуга ΘЕ равна приблизительно 55;40 градусам, а сама дуга ΘЕ — 27;50 градусам.

Предположим теперь, что дуга ЕН равна 60 градусам, так что при остальном неизменном удвоенная дуга ЗН станет равной 138;59,42 градусам, а стоящая под ней прямая — 112;23,56 частям, удвоенная же дуга ΘН — 41;0,18 градусам, прямая же под ней — 42;1,48 частям. Следовательно, если из отношения 109;44,53 к 48;31,55 выделить отношение 112;23,56 к 42;1,48, то останется отношение прямой под удвоенной дугой ΘЕ к прямой под удвоенной ЕА, т.е. 95;2,40 к 112;23,56, что равносильно отношению 101;28,20 к 120. Но стоящая под удвоенной дугой ЕА прямая равна 120 частям. Значит, прямая под удвоенной дугой ΘЕ будет равна 101;28,20 такой же части, удвоенная же дуга ΘЕ составит приблизительно 115;28 градусов, сама же дуга ΘЕ — 57;44 градусов⁷².

Итак, показано, что первая двенадцатая часть круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, начиная от точки весеннего равноденствия, имеет одно и то же время восхода с 27;50 градусами равноденственного круга, вторая же двенадцатая часть — с 29;54 градусами, ибо показано, что обе они вместе соответствуют 57;44 градусам. Очевидно, что третья двенадцатая часть будет иметь одинаковое время восхода с дополняющими до квадранта 32;16 градусами, так как весь квадрант наклонного круга имеет одинаковое время восхода с соответствующим ему квадрантом равноденственного круга, ибо они заключены между кругами, проходящими через полюсы равноденственного круга.

Таким образом, следуя указанному методу, мы вычислили для каждого десятиградусного отрезка наклонного круга дуги равноденственного круга, имеющие с ним одинаковое время восхода. Мы сделали это по той причине, что для дуг с меньшим числом градусов мы не будем иметь существенных отличий от равномерного возрастания разностей. Мы укажем эти дуги, чтобы можно было определить время, в которое каждая из них проходит через меридиан, как мы сказали, для всех местностей и через горизонт в прямой сфере, взяв начало десятиградусных отрезков в точке весеннего равноденствия.

Итак, первый отрезок содержит 9;10 временных градусов, второй 9;15, третий 9;25. Таким образом, для первой двенадцатой части получается вместе 27;50 временных градусов. Четвертый отрезок содержит 9;40, пятый 9;58, шестой 10;16 временных градусов; таким образом, вторая двенадцатая часть имеет 29;54 временных градусов. Седьмой отрезок содержит 10;34 временных градусов, восьмой 10;47, девятый 10;55; так что опять у третьей двенадцатой части при точках солнцеворота получается 32;16 временных градусов, а для всего квадранта — соответственно 90 градусов.

Ясно, что для остальных квадрантов весь порядок оказывается таким же, ибо для каждого из них все происходит одинаковым образом, поскольку мы предполагаем сферу прямой, т.е. равноденственный круг не имеющим никакого наклона к горизонту⁷³.

Книга II

1. Об общем положении обитаемой части Земли

После того как в первой книге этого сочинения мы изложили вкратце необходимые сведения относительно положения Вселенной, а также все то, что относится к прямой сфере и является полезным для теоретического рассмотрения, мы попытаемся в дальнейшем рассмотреть все, что происходит в наклонной сфере, опять излагая только наиболее существенное и, насколько возможно, понятно.

Итак, то, что вообще нужно рассмотреть предварительно, заключается в следующем. Если разделить Землю равноденственным кругом и каким-либо из кругов, проходящих через его полюсы, на четыре части, то величина обитаемой части Земли приблизительно заключена в одном из двух северных делений¹. Это лучше всего уяснить в отношении широты места, т.е. протяженности от южной точки в северном направлении, если учесть, что во время равноденствий полуденные тени гномонов везде обращены к северу и нигде к югу. По долготе же, т.е. протяженности с востока к западу, это объясняется тем, что одни и те же затмения, и прежде всего лунные, наблюдаемые одновременно жителями крайних восточных и крайних западных частей обитаемой части Земли, фиксируются [в местном времени] раньше или позднее не более чем на двенадцать равноденственных часов², а каждая четвертая часть Земли соответствует двенадцатичасовому промежутку [времени], ибо она отграничивается одной полуокружностью равноденственного круга. Что же касается необходимых для рассмотрения частных [характеризующих наклонную сферу], то в излагаемом сочинении, пожалуй, наиболее приемлемым было бы рассмотреть характерные особенности каждого из северных кругов, параллельных экватору, а также находящихся между ними обитаемых частей. К числу этих характерных особенностей относятся: расстояние от горизонта полюсов первого движения небесной сферы³ или же расстояние от равноденственного круга той точки, которая находится прямо над головой, измеренные по полуденному кругу⁴; если Солнце бывает прямо над головой, то когда и сколько раз это может случиться; каково отношение к длине гномона величин полуденных теней в дни равноденствий или солнцеворотов; каково различие в продолжительности наибольших или наименьших дней по сравнению с днями равноденствий; а также все другое, касающееся постепенного увеличения и уменьшения [продолжительности] дня и ночи. Сюда же относятся одновременные восходы и заходы частей равноденственного и наклонного кругов, а также характерные особенности и величины углов, образуемых основными большими кругами. Все это будет рассмотрено далее.

2. О том, как по заданной величине наибольшего дня определяются дуги горизонта, отсекаемые равноденственным и наклонным кругами

В качестве общего примера возьмем параллельный равноденственному 90 круг, проведенный через Родос, где высота полюса составляет 36 градусов, а наибольший день содержит $14\frac{1}{2}$ равноденственных часов. Пусть АВГΔ [рис. 2.1] будет полуденный круг, ВЕΔ — восточная полуокружность равноденственного горизонта, АЕГ — полуокружность равноденственного круга и Z — его южный полюс. Положим также, что на круге, проходящем через середины зодиакальных созвездий, точка зимнего солнцеворота будет восходить в Н⁵. На проходящем через Z и Н круге возьмем квадрант ZHΘ. Пусть сначала дана величина наибольшего дня, и требуется определить величину [соответствующей ей] дуги горизонта.

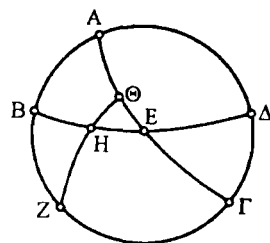


Рис. 2.1

Так как вращение сферы совершается вокруг полюсов равноденственного круга, то ясно, что точки Н и Θ в одно и то же время попадут на полуденный 91 круг АВГΔ и что время от восхода точки Н до момента, когда она над Землей разделит пополам небо, определяется дугой ΘА равноденственного круга. Время же от деления пополам неба под Землей до восхода определяется дугой ГΘ. Отсюда следует, что продолжительность дня определяется удвоенной дугой ΘА, а ночи — удвоенной дугой ГΘ, ибо все параллельные круги, кроме находящихся целиком над или под Землей, делятся полуденным кругом пополам.

На основании этого дуга ЕΘ, представляющая собой половину разности между продолжительностью наибольшего или наименьшего дня и продолжительностью равноденственного дня, будет на указанной параллели равна $1\frac{1}{4}$ часу, или же 18;45 временным градусам. Дополнение же ΘА до четверти круга будет равно 71;15 такому градусу. Теперь на основании доказанного выше, если в две дуги АЕ и АZ больших кругов вписаны две другие, ЕВ и ZΘ, пересекающиеся в точке Н, то отношение прямой под удвоенной дугой ΘА к прямой под удвоенной АЕ складывается из отношения прямой под удвоенной ΘZ к прямой под удвоенной ZH и отношения прямой под удвоенной HB к прямой под удвоенной BE.

Но удвоенная дуга ΘА составляет 142;30 градуса, а стоящая под ней 92 прямая — 113;37,54 частей. Удвоенная АЕ составляет 180 градусов, а прямая под ней — 120 частей, удвоенная дуга ΘZ также равна 180 градусам, а прямая под ней — 120 частям. Удвоенная ZH равна 132;17,20 градусам, и прямая под ней — 109;44,53 частям. Следовательно, если из отношения 113;37,54 к 120 выделить отношение 120 к 109;44,53, то у нас останется отношение прямой под удвоенной HB к прямой под удвоенной BE, а именно 103;55,26 к 120. Прямая, стоящая под удвоенной дугой BE, равной четверти круга, составит 120 частей, и, следовательно, прямая под удвоенной HB будет равна $103;55,26^6$ таким же частям, так что удвоенная дуга HB будет приблизительно равна 120 градусам, а сама дуга HB — таким же 60. Следовательно, на остающуюся дугу HE придется 30 таких градусов, каких в круге горизонта содержится 360. Это и требовалось доказать⁷.

3. О том, как при тех же предположениях определяется высота полюса, и обратно

Пусть опять известна та же величина [наибольшего дня], и требуется определить высоту полюса, т.е. дугу BZ полуденного круга. Тогда на том же самом чертеже [рис. 2.1] отношение прямой под удвоенной дугой EΘ к прямой под удвоенной дугой ΘA составит из отношения прямой под удвоенной дугой EH к прямой под удвоенной HB и отношения прямой под удвоенной BZ к прямой под удвоенной ZA. Но удвоенная дуга EΘ составляет 37;30 градусов, а стоящая под ней прямая равна 38;34,22 частям. Удвоенная же дуга ΘA составляет 142;30 градуса, а прямая под ней — 113;37,54 частей. Таким же образом удвоенная дуга EH равна 60 градусам, а прямая под ней 60 частям; удвоенная дуга HB равна 120 градусам, а стоящая под ней прямая — 103;55,23 частям. Следовательно, если из отношения 38;34,22 к 113;37,54 выделим отношение 60 к 103;55,23, то в остатке получится отношение прямой под удвоенной дугой BZ к прямой под удвоенной ZA, равное приблизительно отношению 70;33 частей к 120. Но прямая под удвоенной дугой ZA равна 120 частям. Следовательно, прямая под удвоенной BZ равна 70;33 таким же частям. Значит, удвоенная дуга BZ будет равна 72;1 градусам, сама же BZ — приблизительно 36 градусам.

Обратно. Пусть на том же самом чертеже [рис. 2.1] дана полученная из наблюдений дуга BZ высоты полюса, равная 36 градусам, а надо найти разность между наибольшим или наименьшим днем по отношению к равноденственному, иными словами, удвоенную дугу EΘ. Тогда на основании того же самого отношения прямой под удвоенной дугой BZ к прямой под удвоенной BA составит из отношения прямой под удвоенной ZH к прямой под удвоенной HΘ и из отношения прямой под удвоенной ΘE к прямой под удвоенной EA. Но удвоенная дуга ZB составляет 72 градуса, прямая под ней равна 70;32,3 частям, удвоенная дуга BA равна 108 градусам, а прямая под ней — 97;4,56 частям. Далее, удвоенная дуга ZH равна 132;17,20 градусам, а прямая под ней — 109;44,53 частям, удвоенная же дуга HΘ равна 47;42,40 градусам, а прямая под ней — 48;31,55 частям. Следовательно, если из отношения 70;32,3 к 97;4,56 выделим отношение 109;44,53 к 48;31,55, то у нас останется отношение прямой под удвоенной ΘE к прямой под удвоенной EA, а именно отношение 31;11,23 к 97;4,56. Но так как это отношение приблизительно равно отношению 38;34 к 120, а прямая под удвоенной дугой EA равна 120 частям, то получится, что прямая под удвоенной дугой EΘ равна 38;34 таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга EΘ будет равна приблизительно 37;30 градусам, или $2\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Это и требовалось доказать.

На основании того же самого определится и дуга EH горизонта, так как задано отношение прямой под удвоенной дугой ZA к прямой под удвоенной AB, складывающееся из заданного отношения прямой под удвоенной ZΘ к прямой под удвоенной ΘH и из отношения прямой под удвоенной HE к прямой под удвоенной EB. Таким образом, если EB дана, то станет известной и величина EH⁸.

Очевидно также, что если H не точка зимнего солнцеворота, но какое-нибудь другое из делений круга, проходящего через середины знаков зодиака, то каждая из дуг EΘ и EH определится на тех же основаниях, так как в таблице склонений мы поместили дуги полуденного круга,

отсекаемые на равноденственном круге каждым делением круга [проходящего] через середины знаков зодиака, т.е. аналогичные дуге $H\Theta^9$.

Отсюда следует также, что точки круга через середины знаков зодиака, отсекаемые тем же самым параллельным кругом, т.е. одинаково отстоящие от какой-либо точки солнцеворота, отсекают на горизонте одинаковые дуги, расположенные в ту же сторону от равноденственного круга. Они дают одинаковую продолжительность соответствующих дней и ночей. Вместе с этим доказано, что точки, расположенные на одинаковых параллелях, т.е. одинаково отстоящие от одной и той же равноденственной точки, образуют по обе стороны равноденственного круга равные между собой дуги горизонта и накрест равные друг другу части суток разного наименования¹⁰.

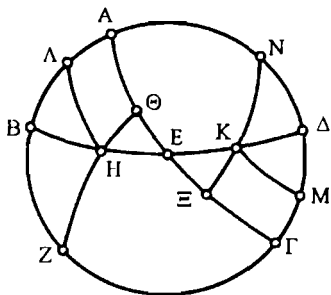


Рис. 2.2

В самом деле, если на приложенном чертеже [рис. 2.2] мы возьмем точку К, в которой круг, равный и параллельный кругу, проведенному через Н, пересекает полукруг ВЕД горизонта, и проведем отрезки НА и КМ параллельных кругов, очевидно, равные и противоположные друг другу, а затем через К и северный полюс проведем четверть [окружности] НКЕ, то дуга ΘA будет равна дуге $\Xi \Gamma$, так как обе они подобны дугам ΛH и MK , и остающаяся [дуга] $E\Theta$ будет равна остающейся [дуге] $E\Xi$. Таким образом, получаются два одинаково расположенных треугольника $ЕН\Theta$ и $ЕК\Xi$ с соответственно равными сторонами $E\Theta$ и $E\Xi$ и $H\Theta$ и $K\Xi$. Каждый из углов при Θ и Ξ прямой, так что основание $ЕН$ будет равно основанию $КЕ$ ¹¹.

4. О том, как вычисляется, где, когда и как часто Солнце бывает прямо над головой

При помощи приведенных данных легко вычислять, где, когда и как часто Солнце бывает прямо над головой. Действительно, очевидно, что для точек, находящихся на параллелях, отстоящих от равноденственного круга далее, чем на расстояние, равное расстоянию точки летнего солнцестоятия, т.е. приблизительно 23;51,20 градуса, Солнце никогда не будет прямо над головой. Для точек, находящихся как раз на таком расстоянии, оно будет [прямо над головой] только один раз во время самого летнего солнцестоятия, а для точек, лежащих на расстоянии, меньшем указанного числа градусов, Солнце окажется прямо над головой два раза [в году]. Соответствующее время легко получить из приведенной выше таблицы склонений. Действительно, взяв во втором столбце таблицы число градусов, на которое рассматриваемая параллель отстоит от равноденственного круга (внутри, конечно, [параллели] летнего тропика), мы получим в соответствующем месте первого столбца число градусов первого квадранта, показывающее, на сколько Солнце отстоит от каждой из точек равноденствия по направлению к точке летнего солнцестоятия, когда оно находится прямо над головой для точек, лежащих на указанной параллели¹².

5. О том, как на основании изложенного определяются отношения гномона к полуденным теням в моменты равноденствий и солнцеворотов

Упомянутые выше отношения теней к гномам проще всего определить по заданным длинам дуг между тропическими кругами, а также между горизонтом и полюсами. Это можно показать следующим образом¹³.

Пусть $AB\Gamma\Delta$ — полуденный круг с центром в E , а A — точка, лежащая непосредственно над головой [рис. 2.3]. Проведем диаметр AEG и под прямым к нему углом в плоскости полуденного круга проведем прямую $ГКZN$, которая, очевидно, будет параллельной общей линии пересечения

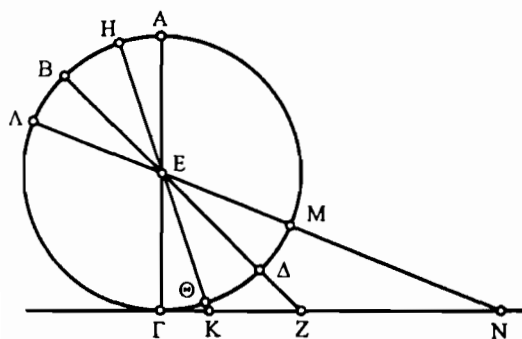


Рис. 2.3

горизонта и полуденного круга. И так как вся Земля по отношению к сфере Солнца представляется точкой и ее центром, так что нет различия между центром E и вершиной гномона, то вообразим, что $ГЕ$ — гномон, а $ГКZN$ — прямая, на которую в полдень падают концы теней. Затем через E проведем направления лучей в полдень в дни равноденствий и солнцеворотов. Пусть равноденственный луч будет $BE\Delta Z$, [луч] в день лет-

него солнцеворота — $HE\Theta K$, а зимнего — $LEMN$, так что $ГК$ будет тенью в летний солнцеворот, $ГZ$ — равноденственной [тенью], а $ГN$ — тенью в зимний солнцеворот. Если дуга $Г\Delta$, равная той, на которую поднимается над горизонтом северный полюс в заданном климате, будет, положим, равна 36 таким градусам, каких в полуденном круге $AB\Gamma$ содержится 360, а каждая из дуг $\Theta\Delta$ и ΔM равна 23;51,20 градусам, то ясно, что получающаяся в остатке дуга $Г\Theta$ будет равна 12;8,40, а вся дуга $ГM$ — 59;51,20 таким же градусам. Таким образом, соответствующие им углы, если положить четыре прямых угла равными 360, будут равны: угол $KEГ$ — 12;8,40, угол $ZEГ$ — 36, угол $NEГ$ — 59;51,20 таким градусам. Если же взять за 360 градусов два прямых, то угол $KEГ$ будет иметь 24;17,20 таких градусов, угол $ZEГ$ — 72, а угол $NEГ$ равным образом 119;42,40. Следовательно, если около прямоугольных треугольников $KEГ$, $ZEГ$ и $NEГ$ опишем круги, то соответствующая прямой $ГК$ дуга будет иметь 24;17,20 градуса, дуга на $ГЕ$, дополняющая до полуокружности, будет иметь 155;42,40 таких градусов; далее, дуга, соответствующая $ГZ$, равна 72, а $ГЕ$ — 108 таким же градусам. Наконец, дуга, соответствующая $ГN$, равна 119;42,40 градусам, а соответствующая $ГЕ$ — дополняющим до полуокружности 60;17,20 градусам. Таким образом, для стягивающих их прямых получается, что $ГЕ$ будет равна 117;18,51 таким градусам, каких в $ГК$ будет 25;14,43, далее $ГЕ$ — 97;4,56 таким градусам, каких в $ГZ$ содержится 70;32,4, и, наконец, $ГЕ$ — 60;15,42 таким градусам, каких в $ГN$ имеется 103;46,16. Следовательно, если гномон $ГЕ$ взять за 60 частей, то его тень в летний солнцеворот $ГК$ будет иметь

12;55, равноденственная тень ГЗ — 43;36 и тень в зимний солнцеворот ГН — приблизительно 103;20 такие части.

Также очевидно обратное. Если даны только два каких-нибудь отношения из упомянутых трех, т.е. гномона ГЕ к этим теням, то тем самым будут даны высота полюса и расстояние между тропиками.

101 Действительно, при двух заданных каких-нибудь углах при Е будет задан и третий вследствие того, что дуги $\Theta\Delta$ и $\Delta\Gamma$ равны. Однако ради точности соответствующих наблюдений эти величины¹⁴ нужно указанным выше способом определять независимо, ибо отношения отбрасываемых теней к гномону не могут быть определены с такой же точностью вследствие того, что время равноденствия не является само по себе определенным и вершины теней во время зимнего солнцеворота трудно различимы.

6. Перечень характерных особенностей отдельных параллелей¹⁵

Таким же образом поступаем и для других параллелей при определении их характерных особенностей. Изменения наклона [полюса равноденственного круга]¹⁶ мы будем различать в соответствии с приращением наибольшего дня на одну четверть равноденственного часа (что вполне достаточно). Прежде чем перейти к подробностям, мы дадим общее изложение и начнем с параллели, находящейся под самым равноденственным кругом, которая приблизительно является южной границей обитаемой четверти Земли.

1. Только на этой параллели остаются всегда равными дни и ночи, так как только здесь все круги на сфере, параллельные равноденственному, делятся горизонтом пополам, так что находящиеся над Землей их части подобны друг другу и равны соответственным частям, скрывающимся под Землей, что не имеет места ни для какой другой широты. Действительно, 102 везде только один равноденственный круг делится горизонтом пополам. При прохождении Солнца через него дни и ночи делаются равными для восприятия, так как он тоже принадлежит к числу больших кругов. Остальные параллели делятся горизонтом на неравные части, так что в обитаемом климате¹⁷ находящиеся над Землей отрезки параллелей, расположенных южнее, будут меньше находящихся под Землей, что делает день более коротким, чем ночь.

Наоборот, для более северных параллелей их отрезки над Землей будут большими по величине и дни более продолжительными.

Этой параллели [т.е. экватору] соответствуют также тени двух направлений. Для находящихся на ней Солнце дважды бывает над головой, проходя через пересечения равноденственного и наклонного кругов, и только когда Солнце делит небо пополам, гномоны не дают теней. При прохождении Солнца через северное полушарие тени от гномонов направлены к югу, при прохождении через южное — к северу. И если взять гномон равным 60 частям, тени его во время летнего и зимнего солнцеворотов будут иметь приблизительно по $26\frac{1}{2}$ таких частей.

Мы говорим вообще о тенях в полдень, так как они ничем существенным не отличаются от теоретических, хотя равноденствия и солнцевороты не всегда совершаются точно в полдень.

Для живущих под равноденственным кругом прямо над головой могут оказаться светила, которые совершают свои круговращения по самому

равноденственному кругу. Все светила будут для них восходящими и заходящими, так как полюсы сферы будут расположены на самом горизонте. Никакое из них не будет описывать полного круга, среди параллелей не будет ни всегда видимых, ни всегда невидимых и ни один полуденный круг не будет колюром¹⁸. 103

Говорят, что лежащие под равноденственным кругом места могут быть обитаемыми как достаточно умеренные, поскольку Солнце в них не задерживается над головой вследствие быстрого своего движения по широте через точки равноденствий, отчего и лето бывает умеренным. В солнцеворотах оно также не слишком удаляется от самой верхней точки, так что и зима не бывает суровой. Однако каковы там условия обитаемости в действительности, мы с уверенностью сказать не можем. Действительно, до настоящего времени никто еще из обитателей нашей части Вселенной там не был, и то, что о них говорится, является более вероятным, чем доказанным. Вот все, что можно кратко сказать о свойствах параллели, лежащей под равноденственным кругом.

Относительно других параллелей, между которыми, как полагают некоторые, заключаются обитаемые части Земли, мы скажем предварительно вообще, чтобы не повторяться при рассмотрении каждой из них. А именно там над головой бывают те светила, которые отстоят от равноденственного круга на дугу, измеряемую по кругу, проходящему через его полюсы, и равную расстоянию соответствующей параллели от равноденственного круга. Далее, всегда видимым будет круг с полюсом, совпадающим с северным полюсом равноденственного круга, описанный расстоянием, равным высоте упомянутого полюса. Заключенные в этом круге светила всегда видимы. Постоянно невидимым будет круг, имеющий полюс в южном полюсе равноденственного круга и описанный таким же расстоянием, а заключающиеся внутри него светила будут всегда невидимы. 104

2. Вторая параллель — та, для которой наибольший день составляет $12\frac{1}{4}$ равноденственных часов. Она отстоит от равноденственного круга на $4\frac{1}{4}$ градуса и проходит через остров Тапробану¹⁹. Эта параллель также с теньями двух видов, так как Солнце на ней тоже дважды бывает над головой. Гномоны, когда оно находится в середине неба, не дают теней, если расстояние Солнца от точки летнего солнцеворота будет равным $79\frac{1}{2}$ градусам в ту или другую сторону. Таким образом, Солнце, проходя эти 159 градусов, заставляет тени гномонов отклоняться к югу, а проходя остальные 201 градус, — к северу.

В этом регионе, если положить гномон равным 60 частям, равноденственная тень составит $4\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, летняя тень — $2\frac{1}{3}$, а зимняя — 32 такие части.

3. Третья параллель — та, для которой наибольший день равен $12\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $8\frac{1}{2}$ градусов и проходит через Авалитский залив²⁰. Ей тоже соответствуют тени двух направлений, и на ней Солнце дважды бывает над головой, проходя через середину неба. Гномоны не имеют теней, когда оно отстоит от точки летнего солнцеворота на 69 градусов в ту или другую сторону. Таким образом, оно, проходя эти 138 градусов, отклоняет тени гномонов к югу, а на остальных 222 градусах — к северу. И там, если положить гномон равным 60 частям, равноденственная тень будет иметь $8\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ таких частей, летняя — $16\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ ²¹, а зимняя — $37\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{15}$. 105

4. Четвертая параллель — та, на которой наибольший день равняется $12\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $12\frac{1}{2}$ градусов и проходит через Адулийский залив²². Она тоже имеет тени двух направлений. На ней Солнце дважды бывает над головой и, когда оно проходит через середину неба, делает гномоны не имеющими тени. Это бывает, когда оно отстоит от точки летнего солнцеворота на $57\frac{2}{3}$ градусов в ту или другую сторону. Таким образом, проходя эти $115\frac{1}{3}$ градусов, оно заставляет тени гномонов отклоняться к югу, а на остальных $244\frac{2}{3}$ градусах — к северу. И там, если положить гномон равным 60 частям, равноденственная тень будет иметь $13\frac{1}{3}$ таких частей, летняя — 12, а зимняя — $44\frac{1}{6}$.

5. Пятая параллель — та, на которой наибольший день равняется 13 равноденственным часам. Она отстоит на $16\frac{2}{7}$ градусов от равноденственного круга и проходит через остров Мероэ²³. Для нее также характерны тени двух направлений. Солнце дважды бывает там над головой и, находясь в середине неба, делает гномоны лишенными тени, когда отстоит от точки летнего солнцеворота на 45 градусов в ту или другую сторону. Таким образом, при прохождении этих 90 градусов оно отклоняет тени гномонов к югу, на остальных же 270 — к северу. И там, если положить гномон равным 60 частям, равноденственная тень будет иметь $17\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ таких частей, летняя — $7\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, а зимняя — 51.

6. Шестая параллель — та, на которой наибольший день равен $13\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $20\frac{1}{4}$ градусов и проходит через Напату²⁴. Ей тоже соответствуют тени двух направлений. Для живущих на ней Солнце дважды бывает над головой и делает в полдень гномоны лишенными тени, когда отстоит от точки летнего солнцеворота на 31 градус в ту или другую сторону. Таким образом, при прохождении этих 62 градусов оно отклоняет тени гномонов к югу, на остальных же 298 градусах — к северу. И там, если гномон равняется 60 частям, равноденственная тень будет иметь $22\frac{1}{6}$ таких части, летняя — $3\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, а зимняя — $58\frac{1}{6}$ ²⁵.

7. Седьмая параллель — та, для которой наибольший день равняется $13\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $23\frac{1}{2}$ градуса и проходит через Сиену²⁶. Эта параллель — первая из тех, которые называются параллелями с одной тенью, ибо для живущих на ней тени гномонов в полдень никогда не отклоняются к югу. Только во время летнего солнцеворота Солнце оказывается для них над головой, и гномоны не имеют тени, ибо они на столько же отстоят от равноденственного круга, на сколько и точка летнего солнцеворота. Во все же остальное время тени гномонов отклоняются к северу. И там, если гномон равняется 60 частям, равноденственная тень будет иметь $26\frac{1}{2}$ таких частей, зимняя — $65\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, а летняя будет без тени. Все параллели, более северные, чем эта, вплоть до ограничивающей обитаемую часть Земли, будут отбрасывать тени в одном направлении. На них тени гномонов в полдень никогда не будут направлены к югу или будут вовсе отсутствовать, но эти тени всегда направлены к северу, ибо Солнце на них никогда не будет над головой.

8. Восьмая параллель — та, для которой наибольший день равняется $13\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $27\frac{1}{2}$ градусов и проходит через так называемую Гермиеву Птолемаиду

в Фиваиде²⁷. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь таких частей $3\frac{1}{2}$, равноденственная — $30\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ ²⁸ и зимняя — $74\frac{1}{6}$.

9. Девятая параллель — та, для которой наибольший день равняется 14 равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $30;22$ градусов и проходит через страны Нижнего Египта. И там, если гномон составляет 60 частей, летняя тень будет иметь таких частей $6\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, равноденственная — $35\frac{1}{12}$, а зимняя — $83\frac{1}{12}$ ²⁹.

10. Десятая параллель — та, для которой наибольший день равняется $14\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $33;18$ градуса и проходит через середину Финикии. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень равняется 10 таким частям, равноденственная — $39\frac{1}{2}$, а зимняя — $93\frac{1}{12}$ ³⁰.

11. Одиннадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется $14\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на 36 градусов и проходит через Родос. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь таких частей $12\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, равноденственная — $43\frac{1}{2}\frac{1}{10}$ ³¹, зимняя же — $103\frac{1}{3}$.

12. Двенадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется $14\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $38;35$ градусов и проходит через Смирну. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь таких частей $15\frac{2}{3}$, равноденственная — $47\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, а зимняя — $114\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$.

13. Тринадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется 15 равноденственным часам. Она отстоит на $40;56$ градусов от равноденственного круга и проходит через Геллеспонт. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь таких частей $18\frac{1}{2}$, равноденственная — $52\frac{1}{6}$, зимняя же — $127\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ ³².

14. Четырнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется $15\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $43;4$ градуса³³ и проходит через Массалию³⁴. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $20\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ таких частей, равноденственная — $55\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, зимняя же — $140\frac{1}{4}$ ³⁵.

15. Пятнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется $15\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит на $45;1$ градусов от равноденственного круга и проходит через середину Понта³⁶. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $23\frac{1}{4}$ таких части, равноденственная — 60, зимняя же $155\frac{1}{12}$ ³⁷.

16. Шестнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется $15\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $46;51$ градусов и проходит через истоки реки Истра³⁸. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $25\frac{1}{2}$ таких частей, равноденственная — $63\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, а зимняя — $171\frac{1}{2}$.

17. Семнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равняется 16 равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $48;32$ градусов и проходит через устья Борисфена³⁹. И там, если положить

гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $27\frac{1}{2}$ таких частей, равноденственная — $67\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, зимняя же — $188\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ ⁴⁰.

18. Восемнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равен $16\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $50;4$ градусов и проходит через середину Меотидского озера⁴¹. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $29\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ таких частей, равноденственная — $7\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, зимняя же — $208\frac{1}{3}$ ⁴².

19. Девятнадцатая параллель — та, на которой наибольший день равен $16\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $51\frac{1}{2}$ ⁴³ градус и проходит через самый юг Британии. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь таких частей $31\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, равноденственная — $75\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, зимняя же — $229\frac{1}{3}$.

20. Двадцатая параллель — та, на которой наибольший день равен $16\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $52;50$ градуса и проходит через устья Рейна. И там, если положить гномон равным 60 частям, летняя тень будет иметь $33\frac{1}{3}$ такие части, равноденственная — $79\frac{1}{12}$, зимняя же — $253\frac{1}{6}$ ⁴⁴.

112 21. Двадцать первая параллель — та, на которой наибольший день равняется 17 равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $54;1$ градуса⁴⁵ и проходит через устья Танаиса⁴⁶. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь $34\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ такие части, равноденственная — $82\frac{1}{2}\frac{1}{12}$, зимняя же — $278\frac{1}{2}\frac{1}{4}$.

22. Двадцать вторая параллель — та, на которой наибольший день равен $17\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на 55 градусов⁴⁷ и проходит через Бригантий в Великой Британии⁴⁸. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь $36\frac{1}{4}$ таких частей, равноденственная — $85\frac{2}{3}$, зимняя же — $304\frac{1}{2}$.

23. Двадцать третья параллель — та, на которой наибольший день равняется $17\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на 56 градусов и проходит через середину Великой Британии. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь $37\frac{2}{3}$ таких частей, равноденственная — $88\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, зимняя же — $335\frac{1}{4}$.

113 24. Двадцать четвертая параллель — та, на которой наибольший день равняется $17\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на 57 градусов и проходит через Катурактоний в Британии⁴⁹. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь $39\frac{1}{6}$ таких частей⁵⁰, равноденственная — $92\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, зимняя же — $372\frac{2}{3}$ ⁵¹.

25. Двадцать пятая параллель — та, на которой наибольший день равняется 18 равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на 58 градусов и проходит через юг Малой Британии. И там, если гномон равен 60 частям, летняя тень будет иметь $40\frac{2}{3}$ таких частей, равноденственная — 96 , зимняя же — $419\frac{1}{12}$ ⁵².

26. Двадцать шестая параллель — та, на которой наибольший день равняется $18\frac{1}{2}$ равноденственным часам. Она отстоит от равноденственного круга на $59\frac{1}{2}$ градусов и проходит через середину Малой Британии.

Теперь мы уже не будем пользоваться приращением в одну четверть часа вследствие того, что [при интервалах в $\frac{1}{4}$ часа для наибольшего дня]

параллели становятся прилегающими друг к другу, и разность в высоте полюса нигде не оказывается больше целого градуса. Кроме того, для более северных областей нам уже нет надобности рассматривать это. Поэтому мы сочли излишним рассматривать [для них] величины отношений теней к гноμονам, как мы это делали для определенных ранее мест.

27. Итак, там, где наибольший день равняется 19 равноденственным часам, эта параллель отстоит от равноденственного круга на 61 градус и проходит через северные части Малой Британии. 114

28. Там, где наибольший день равен $19\frac{1}{2}$ равноденственным часам, соответствующая параллель отстоит от равноденственного круга на 62 градуса и проходит через так называемые Эбудские острова⁵³.

29. Там, где наибольший день равен 20 равноденственным часам, соответствующая параллель отстоит от равноденственного круга на 63 градуса и проходит через остров Фуле⁵⁴.

30. Там, где наибольший день равен 21 равноденственному часу, соответствующая параллель отстоит на $64\frac{1}{2}$ градуса от равноденственного круга и проходит через [области, на которых живут] неизвестные скифские племена.

31. Там, где наибольший день равен 22 равноденственным часам, соответствующая параллель отстоит на $65\frac{1}{2}$ градусов от равноденственного круга.

32. Там, где наибольший день равен 23 равноденственным часам, соответствующая параллель отстоит на 66 градусов от равноденственного круга.

33. Там, где наибольший день равен 24 равноденственным часам, соответствующая параллель отстоит на 66;8,40 градусов от равноденственного круга. Эта параллель первая [из параллелей], на которых тень делает полный круг. Действительно, так как Солнце там не заходит в день летнего солнцеворота, то тени гномонов направлены во все части горизонта. И там летняя тропическая параллель всегда видима, а зимняя тропическая параллель всегда невидима, так как обе они касаются горизонта в противоположных точках. Кроме того, наклонный круг, проходящий через середины зодиакальных созвездий, будет совпадать с горизонтом, когда восходит точка весеннего равноденствия. 115

34. Если бы кто-нибудь из любви к теории захотел исследовать особенности и более северных климатов, то он нашел бы, что там, где высота полюса равна приблизительно 67 градусам, на протяжении 15 градусов по обе стороны от точки летнего солнцеворота на круге, проведенном через середины зодиакальных созвездий, Солнце вообще не будет заходить, так что наибольший день и круговращение направлений теней во все части горизонта будет продолжаться почти целый месяц. Действительно, все это легко можно представить себе при помощи вышеприведенной таблицы склонений⁵⁵.

Именно, на сколько градусов отстоит от равноденственного круга рассматриваемая параллель (например, на 15 градусов по обе стороны от точки солнцеворота), которая вместе с отсеченным ею отрезком круга, проведенного через середины знаков зодиака, или всегда видима, или всегда невидима, на столько же градусов высота северного полюса будет, очевидно, меньше 90 градусов, содержащихся в четверти круга.

35. Там, где высота полюса равна $69\frac{1}{2}$ градусам, на протяжении 30 градусов по обе стороны от точки летнего солнцеворота можно увидеть 116

Солнце совершенно незаходящим. Таким образом, наибольший день и круговращение теней гномонов будут продолжаться приблизительно около двух месяцев.

36. Там, где высота полюса составляет $73\frac{1}{3}$ градуса, можно было бы увидеть Солнце незаходящим на протяжении 45 градусов с каждой стороны от точки летнего солнцеворота. Таким образом, наибольший день и круговращение теней гномонов будут продолжаться приблизительно три месяца.

37. Там, где высота полюса составляет $78\frac{1}{3}$ градусов по обе стороны от той же точки солнцеворота, можно было бы увидеть Солнце незаходящим на протяжении 60 градусов. Таким образом, наибольший день и круговращение теней гномонов будут достигать здесь продолжительности приблизительно в четыре месяца.

38. Там, где высота полюса составляет 84 градуса, можно было бы увидеть Солнце незаходящим на протяжении 75 градусов по обе стороны от точки летнего солнцеворота. Таким образом, наибольший день длился бы там приблизительно пять месяцев и такое же время продолжалось бы круговращение теней гномонов.

39. Там, где северный полюс поднимается над горизонтом на 90 градусов (четверть круга), вся часть круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, лежащая к северу от равноденственного круга, никогда не будет находиться под Землей, и вся южная часть никогда не будет над Землей. Таким образом, весь год состоит только из одного дня и одной ночи, оба равны приблизительно шести месяцам и гномоны всегда отбрасывают тень во всех направлениях.

Этой широте свойственно также и то, что северный полюс находится над головой, равноденственный круг делит всегда видимую и всегда невидимую части неба и совпадает с горизонтом, причем все полушарие, расположенное к северу от него, будет находиться всегда над Землей, расположенное же к югу — под Землей.

7. Об одновременных восходах в наклонной сфере частей круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, и равноденственного круга

После изложения того, что вообще наблюдается в различных климатах, нам необходимо показать, как для каждого климата определяются одновременно восходящие градусы равноденственного круга, измеряемые в часах, и соответствующие дуги зодиакального круга. Отсюда мы можем последовательно вывести и все остальные характеристики [климатов]⁵⁶.

Мы будем пользоваться названиями знаков зодиака для обозначения соответствующих им двенадцатых частей наклонного круга, а их начала возьмем в точках равноденствий и солнцеворотов. Первую двенадцатую часть, начинающуюся от точки весеннего равноденствия и идущую в направлении против движения Вселенной, мы назовем Овном, вторую — Тельцом и так далее согласно установленной последовательности двенадцати зодиакальных созвездий.

Покажем сначала, что равные дуги зодиакального круга, начинающиеся от одной и той же точки равноденствия, будут всегда восходить одновременно с равными дугами равноденственного круга [рис. 2.4].

Пусть $AB\Gamma\Delta$ — меридиан, $BE\Delta$ — половина окружности горизонта, $AE\Gamma$ — половина равноденственного круга. Пусть ZH и ΘK — дуги наклонного круга такие, что каждая из точек Z и Θ предполагается совпадающей с точкой весеннего равноденствия. От каждой из этих точек отложены равные дуги ZH и ΘK , восходящие [соответственно] в K и H . Я утверждаю, что будут также равны восходящие одновременно с каждой из них дуги равноденственного круга, т.е. ZE и ΘE .

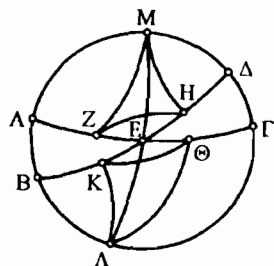


Рис. 2.4

Пусть точки Λ и M представляют собой полюсы равноденственного круга. Проведем через них отрезки больших кругов ΛEM , $\Lambda\Theta$, ΛK , ZM и MH . Теперь ZH равна ΘK , и проведенные через K и H параллели одинаково отстоят по обе стороны от равноденственного круга, так что ΛK равна MH , а EK равна EH . Следовательно, [треугольник] $\Lambda K\Theta$ имеет равные стороны с [треугольником] MNZ , а [треугольник] ΛEK — с [треугольником] MEN , и, значит, угол ΛKE равен углу HME , угол $\Lambda\Theta E$ — углу NMZ , так что остающийся угол $E\Lambda\Theta$ равен остающемуся углу EMZ . Следовательно, основание $E\Theta$ равно основанию EZ , что и требовалось доказать.

После этого мы покажем, что сумма дуг равноденственного круга, восходящих одновременно с отложенными от той же точки солнцеворота равными дугами зодиакального круга, соответственно равна сумме дуг, восходящих одновременно с ними в прямой сфере.

Действительно, возьмем меридиан $AB\Gamma\Delta$ и полуокружности $BE\Delta$ горизонта и $AE\Gamma$ равноденственного круга [рис. 2.5]. Затем опишем две

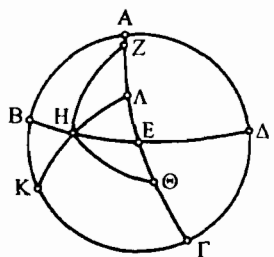


Рис. 2.5

равные и равноотстоящие от точки зимнего солнцеворота дуги наклонного круга, а именно ZH , где Z — точка осеннего равноденствия, и ΘH , где Θ — точка весеннего равноденствия. Таким образом, точка H — общая точка их восхода на горизонте вследствие того, что дуги ZH и ΘH лежат внутри одного и того же круга, параллельного равноденственному, так что ΘE будет восходить одновременно с ΘH , а EZ — с ZH . Теперь ясно, что вся дуга ΘEZ будет равна сумме дуг ZH и ΘH , восходящих одновременно с ней в прямой сфере.

В самом деле, если мы предположим в точке K южный полюс равноденственного круга и проведем через него и H четверть большого круга KHA , которая в прямой сфере равнозначна горизонту, то $\Theta\Lambda$ будет [дугой], одновременно восходящей в прямой сфере с ΘH , а ΛZ — с ZH . Таким образом, вся дуга $\Theta\Lambda Z$, равная сумме $[\Theta\Lambda \text{ и } \Lambda Z]$, равна всей дуге ΘEZ , причем обе они охватываются одной дугой ΘZ . Это и требовалось доказать.

Таким образом, мы выяснили, что если для каждого климата вычислить одновременные восхождения лишь для одной четверти круга, то мы получим их также для трех остальных четвертей.

Установив это, возьмем опять параллель, проходящую через Родос, на которой наибольший день равняется $14\frac{1}{2}$ равноденственным часам, а северный полюс поднимается на 36 градусов над горизонтом. Пусть

119

120

121

АВГД — меридиан, ВЕД — половина круга горизонта, АЕГ — [половина] равноденственного [круга], а ЗНΘ — зодиакального и Н — точка весеннего равноденствия [рис. 2.6]. Пусть К — северный полюс равноденственного круга. Проведем через него и Λ — точку пересечения с горизонтом круга, проходящего через середины знаков зодиака, — четверть большого круга КΛМ. Пусть требуется для данной дуги НΛ найти восходящую одновременно с ней дугу ЕН равноденственного круга, и пусть сначала НΛ соответствует знаку Овна.

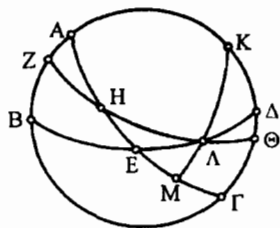


Рис. 2.6

Так как на чертеже два больших круга, ЕГ и ГΚ, проведены до встречи с дугами ЕД и КМ, которые пересекаются в точке Λ, то отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу КД, к прямой, стягивающей удвоенную ΔГ, составляется из отношения прямой, стягивающей удвоенную КΛ, к прямой, стягивающей удвоенную ΛМ, и отношения прямой, стягивающей удвоенную МЕ, к прямой, стягивающей удвоенную ЕГ. Но удвоенная дуга КД составляет 72 градуса, а стягивающая ее прямая равна 70;32,3, удвоенная ГД — 108 градусов, а стягивающая ее прямая — 97;4,56. Далее, удвоенная дуга КΛ составляет 156;40,1 градусов, а стягивающая ее прямая — 117;31,15; удвоенная ΛМ равна 23;19,59 градусам, а стягивающая ее прямая — 24;15,57. Следовательно, если из отношения 70;32,4 к 97;4,56 мы выделим отношение 117;31,15 к 24;15,57, то у нас останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу МЕ, к прямой, стягивающей удвоенную дугу ЕГ, а именно отношение 18;0,5 к 120. Прямая, стягивающая удвоенную МЕ, составляет 120 частей. Следовательно, прямая, стягивающая удвоенную МЕ, равна 18;0,5 таким частям и, значит, удвоенная дуга МЕ будет равна приблизительно 17;16 градусам, а сама дуга МЕ — 8;38 таким же градусам. Но поскольку вся дуга НМ восходит в прямой сфере одновременно с НΛ, она, как показано выше, равна 27;50 градусам⁵⁷. Следовательно, остающаяся дуга ЕН равна 19;12 градусам.

Вместе с этим доказано, что двенадцатая часть зодиака, соответствующая Рыбам, восходит одновременно с 19;12 временными градусами, а каждая из частей, соответствующих Деве и Клешням⁵⁸, восходит с 36;28 временными градусами⁵⁹, которые остаются от двойной восходящей дуги в прямой сфере. Это и требовалось доказать.

Пусть теперь дуга НΛ [рис. 2.6] охватывает две двенадцатые части зодиака, соответствующие Овну и Тельцу, т.е. 60 градусов. При таком задании, поскольку все остальное остается тем же самым, удвоенная дуга КΛ окажется равной 138;59,42 градусам, а стягивающая ее прямая — 112;23,56 частям. Удвоенная дуга ΛМ будет равна 41;0,18 градусу, а стягивающая ее прямая — 42;1,48 частям.

Следовательно, если мы снова из отношения 70;32,4 к 97;4,56 выделим отношение 112;23,56 к 42;1,48, то останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу МЕ, к прямой, стягивающей удвоенную ЕГ, а именно отношение 32;36,4 к 120. Но прямая, стягивающая удвоенную ЕГ, равна 120 частям. Следовательно, прямая, стягивающая удвоенную МЕ, будет равна 32;36,4 таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга МЕ будет равна приблизительно 31;32 градусу, а сама дуга МЕ — 15;46 таким же

градусам. Но вся дуга МН, как было показано выше⁶⁰, составляет 57;44 градусов, поэтому остающаяся НЕ будет равна 41;58 градусу. Следовательно, Овен и Телец вместе восходят с 41;58 временным градусом, из которых на восхождение Овна идет, как было показано, 19;12. Таким образом, только один Телец восходит одновременно с 22;46 временными градусами. 124

Далее, на основании таких же рассуждений знак Водолея будет восходить одновременно с теми же 22;46 временными градусами. Каждый из знаков Льва и Скорпиона будет восходить вместе с 37;2 временными градусами, недостающими до удвоенной дуги, восходящей в прямой сфере.

Но так как наибольший день равен $14\frac{1}{2}$ равноденственным часам, а наименьший — $9\frac{1}{2}$, то ясно, что вся полуокружность от Рака до Стрельца будет восходить вместе с 217;30 временными градусами, полуокружность от Козерога до Близнецов — с 142;30 временными градусами. Таким образом, каждая из четвертей [зодиакального круга], прилегающих с обеих сторон к точке весеннего равноденствия, будет восходить одновременно с 71;15 временным градусом, каждая же из четвертей, прилегающих к точке осеннего равноденствия, — со 108;45 градусами. Следовательно, каждая из остающихся двенадцатых частей, соответствующих [в каждом квадранте] Близнецам и Козерогу, будут восходить одновременно с 29;17 градусами, которые [вместе с 41;58] составляют 71;15 градус, за который восходит четверть зодиака. Оставшиеся двенадцатые части, соответствующие Раку и Стрельцу, будут каждая восходить вместе с 35;15 временными градусами, дополняющими 108;45 градусов для этой четверти зодиака.

Очевидно, что таким же точно образом мы можем определить времена восхода для меньших дуг зодиакального круга. Но проще и практичнее вычислить их следующим образом. 125

Сначала пусть АВГД — полуденный круг, ВЕД — полуокружность горизонта, АЕГ — [полуокружность] равноденственного круга и ЗЕН — круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, причем точка Е их пересечения предполагается совпадающей с точкой весеннего равноденствия [рис. 2.7]. Возьмем на зодиакальном круге какую-нибудь дугу ЕΘ, построим дугу ΘК, параллельную равноденственному кругу, и из [южного] полюса Λ равноденственного круга проведем четверти больших кругов ΛΘМ, ΛКН и ΛЕ. Ясно, что отрезок ЕΘ зодиакального круга в прямой сфере восходит одновременно с дугой ЕМ равноденственного круга, а в наклонной — с дугой, равной

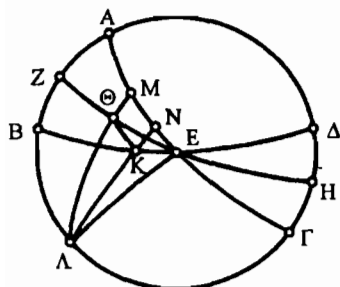


Рис. 2.7

меньше соответствующего времени восхода в прямой сфере. Таким образом, доказано, что, если начертить дуги больших кругов, аналогичные ΛКН, то отрезок ЕН представит разность времен восхода в прямой и в наклонной сферах дуг зодиакального круга, заключенных между точкой Е и параллелью, проведенной через К. Это и требовалось доказать. 126

Установив это, возьмем на чертеже только полуденный круг и полуокружности горизонта и равноденственного круга. Затем проведем через южный полюс равноденственного круга Z четверти больших кругов ZHΘ и ZKΛ [рис. 2.8].

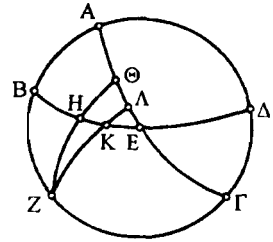


Рис. 2.8

Предположим, что точка H — общая точка горизонта и параллели, проведенной через точку зимнего солнцеворота, а K — общая точка горизонта и параллели, которая, например, проведена через начало Рыб или какую-нибудь другую данную точку из дуг четверти окружности [от начала Козерога до конца Рыб]. Таким образом, опять в дуги ZΘ и EΘ больших кругов вписаны две другие, ZKΛ и EKH, пересекающиеся в K. И отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘH, к прямой, стягивающей удвоенную ZH, будет состояться из отношения прямой, стягивающей удвоенную ΘE, к прямой, стягивающей удвоенную EA, и отношения прямой, стягивающей удвоенную KΛ, к прямой, стягивающей удвоенную KZ.

Но удвоенная дуга ΘH — одна и та же для всех климатов (ибо это дуга, заключающаяся между тропиками) — дана. Вследствие этого задана удвоенная разность HZ. Точно так же для тех же отрезков зодиакального круга дана удвоенная дуга AK — одна и та же для всех климатов (она определяется по таблице склонений), а вследствие этого задана оставшаяся удвоенная дуга KZ. Таким образом, отношение прямых, стягивающих удвоенные дуги ΘE и EA, одинаково для всех климатов и одних и тех же дуг рассматриваемой четверти зодиакального круга.

Итак, если при таком положении мы будем брать различные значения дуги KΛ для точек, расположенных последовательно через 10 градусов в квадранте от точки весеннего равноденствия до зимнего солнцеворота (для практического применения такие деления вполне достаточны), то в каждом случае удвоенная дуга ΘH равна 47;42,40 градусам, а стягивающая ее прямая — 48;31,55 частям. Удвоенная дуга HZ равна 132;17,20 градусам, а стягивающая ее прямая — 109;44,53 частям.

Точно так же для точки, удаленной на 10 градусов от точки весеннего равноденствия в направлении к точке зимнего солнцеворота, удвоенная дуга KΛ равна 8;3,16 градусам, а стягивающая ее прямая — 8;25,39 частям; удвоенная дуга KZ будет составлять 171;56,44 градус, а стягивающая ее прямая — 119;42,14 частей.

Для такой же дуги, отстоящей на 20 градусов, удвоенная дуга KΛ составит 15;54,6 градусам, а стягивающая ее прямая — 16;35,56 частей, удвоенная KZ составит 164;5,54 градуса, а стягивающая ее прямая — 118;50,47 частей.

Для дуги, отстоящей на 30 градусов, удвоенная дуга KΛ составит 23;19,58 градуса, а стягивающая ее прямая — 24;15,56 части, удвоенная KZ будет составлять 156;40,2 градусам, а стягивающая ее прямая — 117;31,15 частей.

Для дуги, отстоящей на 40 градусов, удвоенная дуга KΛ составит 30;8,8 градусов, а стягивающая ее прямая — 31;11,43 часть, удвоенная KZ — 149;51,52 градусам, а стягивающая ее прямая — 115;52,19 частей.

Для дуги, отстоящей на 50 градусов, удвоенная дуга KΛ равна 36;5,46 градусам, а стягивающая ее прямая — 37;10,39 частям, удвоенная KZ — 143;54,14 градусам, а стягивающая ее прямая — 114;5,44 частям.

Для дуги, отстоящей на 60 градусов, удвоенная дуга АК равна 41;0,18 градусу, а стягивающая ее прямая — 42;1,48 частям, удвоенная KZ — 138;59,42 градусам, а стягивающая ее прямая — 112;23,57 частям.

Для дуги, отстоящей на 70 градусов, удвоенная дуга АК равна 44;40,22 градусам, а стягивающая ее прямая — 45;36,18 частям, удвоенная KZ — 135;19,38 градусам, а стягивающая ее прямая — 110;59,47 частям.

Для дуги, отстоящей на 80 градусов, удвоенная дуга АК равна 46;56,32 градусам, а стягивающая ее прямая — 47;47,40 частям, удвоенная KZ — 133;3,28 градусам, а стягивающая ее прямая — 110;4,16 частям.

На основании изложенного, если из отношения прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘH , к прямой, стягивающей удвоенную HZ , т.е. из отношения 48;31,55 к 109;44,53, мы будем соответственно каждому десятку градусов выделять отношение прямой, стягивающей удвоенную АК, к прямой, стягивающей удвоенную KZ, то в остатке получится отношение прямой, стягивающей удвоенную ΘE , к прямой, стягивающей удвоенную ЕЛ, которое для всех климатов будет равно отношению 60 к следующим числам: для дуги, отстоящей, как сказано, 130

на 10 градусов, — к 9;33,	на 50 градусов, — к 44;12,
на 20 градусов, — к 18;57,	на 60 градусов, — к 50;44,
на 30 градусов, — к 28;1,	на 70 градусов, — к 55;45,
на 40 градусов, — к 36;33,	на 80 градусов, — к 58;55.

Отсюда ясно, что, зная для каждого климата удвоенную дугу ΘE (она составляет столько градусов, на сколько временных градусов продолжительность дня равноденствия превышает продолжительность наименьшего дня), стягивающую ее прямую и ее отношение к прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘE , мы будем знать и эту стягивающую прямую, и удвоенную дугу ЕЛ. Если ее половину, т.е. саму дугу ЕЛ, равную упомянутой разности, вычестъ из времени восхода в прямой сфере соответствующей дуги зодиакального круга, мы получим время восхода той же самой дуги для заданного климата.

В качестве примера возьмем опять широту параллели, проходящей через Родос, для которой удвоенная дуга $E\Theta$ составляет 37;30 градусов, а стягивающая ее прямая — приблизительно 38;34 частей. Поскольку отношение 60 к 38;34 равно отношению 9;33 к 6;8 для 10 градусов, 131

или 18;57 к 12;11 [для 20 градусов],
 или 28;1 к 18;0 [для 30 градусов],
 или 36;33 к 23;29 [для 40 градусов],
 или 44;12 к 28;25 [для 50 градусов],
 или 50;44 к 32;37 [для 60 градусов],
 или 55;45 к 35;52 [для 70 градусов],
 или 58;55 к 37;52 [для 80 градусов],

получается прямая, стягивающая удвоенную дугу ЕЛ для каждого из десятиградусных приращений отложенных соответствующим образом отрезков. Половина стягиваемой ею дуги, т.е. сама дуга ЕЛ, будет равна

2;56 градусам для первого,	13;42 градусам для пятого,
5;50 градусам для второго,	15;46 градусам для шестого,
8;38 градусам для третьего,	17;24 градусам для седьмого,
11;17 градусам для четвертого,	18;24 градусам для восьмого

десятиградусного промежутка и, конечно, 18;45 градусам для девятого.

Таким образом, если в прямой сфере дуга, соответствующая первому десятиградусному промежутку, восходит вместе с 9;10 временными градусами, соответствующая

132	второму	— с 18;25,	шестому	— с 57;44,
	третьему	— с 27;50,	седьмому	— с 68;18,
	четвертому	— с 37;30;	восьмому	— с 79;5,
	пятому	— с 47;28,	девятому	— с 90

временными градусами целой четверти круга, то ясно, что, отнимая от каждого из времен восхода в прямой сфере подходящую величину, а именно соответствующую дуге ЕА разность, мы получим время восхода тех же самых дуг для рассматриваемого климата.

Таким образом, оказывается, что соответствующая первому десятиградусному промежутку дуга восходит с получающимися в остатке 6;14 временными градусами, соответствующая

второму	— с 12;35,	шестому	— с 41;58,
третьему	— с 19;12,	седьмому	— с 50;54,
четвертому	— с 26;13,	восьмому	— с 60;41,
пятому	— с 33;46,		

девятому, т.е. всей четверти круга, — с 71;15 временным градусом, соответствующим половине продолжительности самого короткого дня. И следовательно, из упомянутых дуг, содержащих по десятиградусному промежутку, первая восходит с 6;14 временными градусами,

вторая	— с 6;21,	шестая	— с 8;12,
третья	— с 6;37,	седьмая	— с 8;56,
четвертая	— с 7;1,	восьмая	— с 9;47,
пятая	— с 7;33,	девятая	— с 10;34.

133 Доказав все это, мы сейчас же, согласно приведенным соображениям, последовательно получим времена восхода и для остальных четвертей круга.

Итак, вычислив таким же образом времена восхода для каждого десятиградусного промежутка и на остальных параллелях для использования во всякого рода практических приложениях, мы приведем их в табличном виде, начиная с самого равноденственного круга и заканчивая параллелью с самым длинным днем в 17 часов, давая приращения по $\frac{1}{2}$ часа [для самого долгого дня], так как в пределах $\frac{1}{2}$ часа разности несущественно отличаются от получающихся при равномерном изменении. Итак, в первом столбце мы поместим 36 десятиградусных делений круга, для каждого из них [во втором столбце] поместим временные градусы времени восхода для соответствующего климата и [в третьем] величины, получаемые при их сложении.

134-141 8. Таблица времен восхода по дугам в десять градусов⁶¹

См. с. 52-55

142 9. О частных вопросах, связанных с временами восхода

После того как мы установили способ определения времен восхода, все остальное, относящееся к этому предмету, легко разрешимо, и нам не понадобятся ни геометрические доказательства каждого из этих следствий, ни составление дополнительных таблиц. Общий ход рассуждений вполне ясен, если воспользоваться приведенными таблицами.

Знаки зодиака	Десяти- градус- ные интер- валы	Прямая сфера		Авалитский залив		Мероэ	
		Наибольший день 12 ^h Высота полюса 0;0°	Сложенные времена	Наибольший день 12½ ^h Высота полюса 8;25°	Сложенные времена	Наибольший день 13 ^h Высота полюса 16;27°	Сложенные времена
Овен	10	9 10	9 10	8 35	8 35	7 58	7 58
	20	9 15	18 25	8 39	17 14	8 5	16 3
	30	9 25	27 50	8 52	26 6	8 17	24 20
Телец	10	9 40	37 30	9 8	35 14	8 36	32 56
	20	9 58	47 28	9 29	44 43	9 1	41 57
	30	10 16	57 44	9 51	54 34	9 27	51 24
Близнецы	10	10 34	68 18	10 15	64 49	9 56	61 20
	20	10 47	79 5	10 35	75 24	10 23	71 43
	30	10 55	90 0	10 51	86 15	10 47	82 30
Рак	10	10 55	100 55	10 59	97 14	11 3	93 33
	20	10 47	111 42	10 59	108 13	11 11	104 44
	30	10 34	122 16	10 53	119 6	11 12	115 56
Лев	10	10 16	132 32	10 41	129 47	11 5	127 1
	20	9 58	142 30	10 27	140 14	10 55	137 56
	30	9 40	152 10	10 12	150 26	10 44	148 40
Дева	10	9 25	161 35	9 58	160 24	10 33	159 13
	20	9 15	170 50	9 51	170 15	10 25	169 38
	30	9 10	180 0	9 45	180 0	10 22	180 0
Весы	10	9 10	189 10	9 45	189 45	10 22	190 22
	20	9 15	198 25	9 51	199 36	10 25	200 47
	30	9 25	207 50	9 58	209 34	10 33	211 20
Скорпион	10	9 40	217 30	10 12	219 46	10 44	222 4
	20	9 58	227 28	10 27	230 13	10 55	232 59
	30	10 16	237 44	10 41	240 54	11 5	244 4
Стрелец	10	10 34	248 18	10 53	251 47	11 12	255 16
	20	10 47	259 5	10 59	262 46	11 11	266 27
	30	10 55	270 0	10 59	273 45	11 3	277 30
Козерог	10	10 55	280 55	10 51	284 36	10 47	288 17
	20	10 47	291 42	10 35	295 11	10 23	298 40
	30	10 34	302 16	10 15	305 26	9 56	308 36
Водолей	10	10 16	312 32	9 51	315 17	9 27	318 3
	20	9 58	322 30	9 29	324 46	9 1	327 4
	30	9 40	332 10	9 8	333 54	8 36	335 40
Рыбы	10	9 25	341 35	8 52	342 46	8 17	343 57
	20	9 15	350 50	8 39	351 25	8 5	352 2
	30	9 10	360 0	8 35	360 0	7 58	360 0

Знаки зодиака	Десяти- градус- ные интер- валы	Сиена		Нижний Египет		Родос	
		Наибольший день $13\frac{1}{2}^h$ Высота полюса $23;51^\circ$	Сложенные времена	Наибольший день 14^h Высота полюса $30;22^\circ$	Сложенные времена	Наибольший день $14\frac{1}{2}^h$ Высота полюса $36;0^\circ$	Сложенные времена
Овен	10	7 23	7 23	6 48	6 48	6 14	6 14
	20	7 29	14 52	6 55	13 43	6 21	12 35
	30	7 45	22 37	7 10	20 53	6 37	19 12
Телец	10	8 4	30 41	7 33	28 26	7 1	27 13
	20	8 31	39 12	8 2	36 28	7 33	33 46
	30	9 3	48 15	8 37	45 5	8 12	41 58
Близнецы	10	9 36	57 51	9 17	54 22	8 56	50 54
	20	10 11	68 2	10 0	64 22	9 47	60 41
	30	10 43	78 45	10 38	75 0	10 34	71 15
Рак	10	11 7	89 52	11 12	86 12	11 16	82 31
	20	11 23	101 15	11 34	97 46	11 47	94 18
	30	11 32	112 47	11 51	109 37	12 12	106 30
Лев	10	11 29	124 16	11 55	121 32	12 20	118 50
	20	11 25	135 41	11 54	133 26	12 23	131 13
	30	11 16	146 57	11 47	145 13	12 19	143 32
Дева	10	11 5	158 2	11 40	156 53	12 13	155 45
	20	11 1	169 3	11 35	168 28	12 9	167 54
	30	10 57	180 0	11 32	180 0	12 6	180 0
Весы	10	10 57	190 57	11 32	191 32	12 6	192 6
	20	11 1	201 58	11 35	203 7	12 9	204 15
	30	11 5	213 3	11 40	214 47	12 13	216 28
Скорпион	10	11 16	224 19	11 47	226 34	12 19	228 47
	20	11 25	235 44	11 54	238 28	12 23	241 10
	30	11 29	247 13	11 55	250 23	12 20	253 30
Стрелец	10	11 32	258 45	11 51	262 14	12 12	265 42
	20	11 23	270 8	11 34	273 48	11 47	277 29
	30	11 7	281 15	11 12	285 0	11 16	288 45
Козерог	10	10 43	291 58	10 38	295 38	10 34	299 19
	20	10 11	302 9	10 0	305 38	9 47	309 6
	30	9 36	311 45	9 17	314 55	8 56	318 2
Водолей	10	9 3	320 48	8 37	323 32	8 12	326 14
	20	8 31	329 19	8 2	331 34	7 33	333 47
	30	8 4	337 23	7 33	339 7	7 1	340 48
Рыбы	10	7 45	345 8	7 10	346 17	6 37	347 25
	20	7 29	352 37	6 55	353 12	6 21	353 46
	30	7 23	360 0	6 48	360 0	6 14	360 0

Знаки зодиака	Десяти- градус- ные интер- валы	Геллеспонт Наибольший день 15 ^h Высота полюса 40;56°		Средний Понт Наибольший день 15½ ^h Высота полюса 45;1°		Устья Борисфена Наибольший день 16 ^h Высота полюса 48;32°	
		° ' "	Сложенные времена	° ' "	Сложенные времена	° ' "	Сложенные времена
Овен	10	5 40	5 40	5 8	5 8	4 36	4 36
	20	5 47	11 27	5 14	10 22	4 43	9 19
	30	6 5	17 32	5 33	15 55	5 1	14 20
Телец	10	6 29	24 1	5 58	21 53	5 26	19 46
	20	7 4	31 5	6 34	28 27	6 5	25 51
	30	7 46	38 51	7 20	35 47	6 52	32 43
Близнецы	10	8 38	47 29	8 15	44 2	7 53	40 36
	20	9 32	57 1	9 19	53 21	9 5	49 41
	30	10 29	67 30	10 24	63 45	10 19	60 0
Рак	10	11 21	78 51	11 26	75 11	11 31	71 31
	20	12 2	90 53	12 15	87 26	12 29	84 0
	30	12 30	103 23	12 53	100 19	13 15	97 15
Лев	10	12 46	116 9	13 12	113 31	13 40	110 55
	20	12 52	129 1	13 22	126 53	13 51	124 46
	30	12 51	141 52	13 22	140 15	13 54	138 40
Дева	10	12 45	154 37	13 17	153 32	13 49	152 29
	20	12 43	167 20	13 16	166 48	13 47	166 16
	30	12 40	180 0	13 12	180 0	13 44	180 0
Весы	10	12 40	192 40	13 12	193 12	13 44	193 44
	20	12 43	205 23	13 16	206 28	13 47	207 31
	30	12 45	218 8	13 17	219 45	13 49	221 20
Скорпион	10	12 51	230 59	13 22	233 7	13 54	235 14
	20	12 52	243 51	13 22	246 29	13 51	249 5
	30	12 46	256 37	13 12	259 41	13 40	262 45
Стрелец	10	12 30	269 7	12 53	272 34	13 15	276 0
	20	12 2	281 9	12 15	284 49	12 29	288 29
	30	11 21	292 30	11 26	296 15	11 31	300 0
Козерог	10	10 29	302 59	10 24	306 39	10 19	310 19
	20	9 32	312 31	9 19	315 58	9 5	319 24
	30	8 38	321 9	8 15	324 13	7 53	327 17
Водолей	10	7 46	328 55	7 20	331 33	6 52	334 9
	20	7 4	335 59	6 34	338 7	6 5	340 14
	30	6 29	342 28	5 58	344 5	5 26	345 40
Рыбы	10	6 5	348 33	5 33	349 38	5 1	350 41
	20	5 47	354 20	5 14	354 52	4 43	355 24
	30	5 40	360 0	5 8	360 0	4 36	360 0

Знаки зодиака	Десяти- градус- ные интер- валы	Юг Британии Наибольший день 16½ ^h Высота полюса 51;30°		Устья Танаиса Наибольший день 17 ^h Высота полюса 54;1°	
		° ' ,	Сложенные времена	° ' ,	Сложенные времена
Овен	10	4 5	4 5	3 36	3 36
	20	4 12	8 17	3 43	7 19
	30	4 31	12 48	4 0	11 19
Телец	10	4 56	17 44	4 26	15 45
	20	5 34	23 18	5 4	20 49
	30	6 25	29 43	5 56	26 45
Близнецы	10	7 29	37 12	7 5	33 50
	20	8 49	46 1	8 33	43 23
	30	10 14	56 15	10 7	52 30
Рак	10	11 36	67 51	11 43	64 13
	20	12 45	80 36	13 1	77 14
	30	13 39	94 15	14 3	91 17
Лев	10	14 7	108 22	14 36	105 53
	20	14 22	122 44	14 52	120 45
	30	14 24	137 8	14 54	135 39
Дева	10	14 19	151 27	14 50	150 29
	20	14 18	165 45	14 47	165 16
	30	14 15	180 0	14 44	180 0
Весы	10	14 15	194 15	14 44	194 44
	20	14 18	208 33	14 47	209 31
	30	14 19	222 52	14 50	224 21
Скорпион	10	14 24	237 16	14 54	239 15
	20	14 22	251 38	14 52	254 7
	30	14 7	265 45	14 36	268 43
Стрелец	10	13 39	279 24	14 3	282 46
	20	12 45	292 9	13 1	295 47
	30	11 36	303 45	11 43	307 30
Козерог	10	10 14	313 59	10 7	317 37
	20	8 49	322 48	8 33	326 10
	30	7 29	330 17	7 5	333 15
Водолей	10	6 25	336 42	5 56	339 11
	20	5 34	342 16	5 4	344 15
	30	4 56	347 12	4 26	348 41
Рыбы	10	4 31	351 43	4 0	352 41
	20	4 12	355 55	3 43	356 24
	30	4 5	360 0	3 36	360 0

Прежде всего, если необходимо определить продолжительность данного дня или ночи, надо подсчитать число временных градусов для соответствующего климата: для дня — от занимаемого Солнцем градуса до диаметрально противоположной точки в направлении последовательности знаков зодиака, а для ночи — от этой диаметрально противоположной Солнцу точки до градуса, занимаемого Солнцем. Сумма соответствующих временных градусов, деленная на 15, даст число равноденственных часов в рассматриваемом промежутке времени. Взяв же $\frac{1}{12}$ часть от этой суммы, получим число временных градусов, соответствующих для того же промежутка времени одному сезонному часу⁶².

Продолжительность [сезонного] часа можно определить и проще, если из упомянутой таблицы времен восхода взять разность стоящих в ней сложенных времен для градуса, занимаемого Солнцем днем (или [для градуса, соответствующего] диаметрально противоположной точке ночью), для равноденственного круга [т.е. в прямой сфере] и для соответствующего климата. Взяв $\frac{1}{6}$ часть этой разности и сложив ее с 15 временными градусами одного равноденственного часа, если соответствующий градус находится в северной полуокружности, или вычтя ее из упомянутых 15 градусов, если он находится в южной, мы получим количество временных градусов, соответствующих данному сезонному часу⁶³.

Данное время в сезонных часах можно превратить в равноденственные, умножив количество дневных часов на число временных градусов, соответствующих этому дню в рассматриваемом климате, а количество ночных часов — на такое же число, соответствующее ночи. Взяв $\frac{1}{15}$ часть от полученного числа, получим количество равноденственных часов. Обратно, данное число равноденственных часов мы можем обратить в сезонные, умножив их на 15 и разделив на число временных градусов, соответствующих одному часу для данного промежутка времени.

Далее, если нам даны дата и величина какого-нибудь [сезонного] часа, мы определим сначала восходящий градус зодиакального круга, умножив (днем) число часов, прошедших от восхода Солнца, а ночью — от захода, на число временных градусов соответствующего [сезонного] часа. Полученное число прибавим ко времени восхода в указанном климате занимаемого Солнцем градуса (днем) или [к градусу, соответствующему] диаметрально противоположной точке (ночью). Тот градус, которого достигнет отсчитываемое число, будет восходящим [в этот момент]⁶⁴.

Если же мы хотим определить градус, находящийся [в данный момент] над Землей в середине неба, то всегда [т.е. как для дня, так и для ночи] умножаем число сезонных часов, прошедших от последнего полудня до данного часа, на соответствующее одному часу число временных градусов. Полученное число прибавим ко времени восхода в прямой сфере занимаемого Солнцем градуса. Тот градус [зодиакального круга], на который придется отсчитываемое число, будет находиться в этот момент над Землей в середине неба.

Точно так же по восходящему градусу мы определим градус, делящий пополам небо над Землей, если найдем в таблице для рассматриваемого климата сумму времен, соответствующую восходящему градусу. Всегда [т.е. как ночью, так и днем] вычитая из него 90 временных градусов

четверти [равноденственного круга между горизонтом и меридианом], по сложенным временам, определяемым из таблицы для прямой сферы, находим соответствующий указанному числу градус, находящийся в этот момент в середине неба. Обратно, по градусу, находящемуся над Землей в середине неба, мы получим восходящий градус, если найдем в таблице для прямой сферы сумму времен, соответствующую градусу, находящемуся в середине неба. Всегда прибавляя к нему те же 90 градусов, мы определяем по сумме времен для данного климата, какой градус соответствует этому числу. Этот градус будет восходящим⁶⁵.

Очевидно, что для живущих на одном и том же полуденном круге Солнце будет отстоять от полудня или полуночи на одинаковое число равноденственных часов. Для тех же, кто не живет на одном полуденном круге, разность, выраженная во временных градусах равноденственного круга, будет равна разности градусов между соответствующими полуденными кругами.

10. Об углах, образуемых кругом, проходящим через середины зодиакальных созвездий, и полуденным кругом

Для завершения разбираемой теории остается рассмотреть углы, образуемые кругом, проходящим через середины зодиакальных созвездий. Прежде всего нужно иметь в виду, что большие круги образуют между собой прямой угол, если, описав из точки пересечения этих кругов как из полюса любым радиусом окружность [перпендикулярно линии их пересечения], мы увидим, что дуга этой окружности между содержащими угол дугами составляет четверть описанного круга. Вообще же угол наклона двух плоскостей так относится к четырем прямым углам, как отсеченная дуга описанной упомянутым образом окружности — ко всей окружности. Таким образом, если периметр этой окружности положить равным 360 частям, то сколько таких частей содержит упомянутая отсеченная дуга, столько частей будет заключаться в стягиваемом ею угле, если принять прямой угол за 90 частей.

Что касается углов, образуемых при наклонном круге, то наиболее важными для рассматриваемой теории будут те, которые получаются при пересечении его в различных положениях с полуденным кругом, а также с горизонтом и, наконец, при пересечении с большим кругом, проведенным через полюсы горизонта. Одновременно с этими углами определяются и дуги последнего круга, заключенные между его пересечениями с зодиакальным кругом и полюсом горизонта, т.е. точкой, лежащей прямо над головой⁶⁶. Определение каждого из упомянутых углов имеет важнейшее значение для рассматриваемой теории, а также в высшей степени полезно для нахождения параллакса Луны, определить который никоим образом невозможно без предварительного усвоения изложенного выше.

Хотя в пересечении двух кругов, т.е. круга, проходящего через середины знаков зодиака, и одного из пересекающих его упомянутых кругов, получаются всего четыре угла, в дальнейшем мы будем говорить только об одном, занимающем всегда определенное положение. Предварительно условимся, что вообще из двух углов, получающихся при упомянутой дуге зодиакального круга в общем сечении этих кругов, мы будем брать тот, который обращен к северу, так что все свойства и определяемые количественные величины будут относиться к углам такого рода. Поскольку

для доказательства наиболее простым является определение углов наклонного круга с полуденным, мы начнем с него⁶⁷ и прежде всего покажем, что две точки зодиакального круга, одинаково отстоящие от одной и той же точки равноденствия, образуют равные упомянутые углы.

Действительно, пусть АВГ — дуга равноденственного круга, ΔВЕ — дуга круга, проходящего через середины знаков зодиака, а точка Z — полюс равноденственного круга [рис. 2.9]. По обе стороны от точки равноденствия В отложим равные дуги ВН и ВΘ и через полюс Z и точки Н и Θ проведем дуги ZKN и ZΘΛ полуденных кругов.

Я утверждаю, что угол КНВ равен углу ZΘЕ. Это ясно из следующего. Треугольник ВНК имеет равные углы с треугольником ВΘΛ, так как оба они имеют три попарно равные стороны, а именно НВ, равную ВΘ, НК, равную ΘΛ, и ВК, равную ВΛ. (Все это уже доказано выше.) Следовательно, угол КНВ равен углу ВΘΛ, т.е. углу ZΘЕ, что и требовалось доказать.

Затем нужно доказать, что у двух точек зодиакального круга, равноотстоящих от одной и той же точки солнцеворота, углы, образуемые с полуденным кругом, вместе взятые, равны двум прямым углам.

Действительно, пусть АВГ будет дуга круга, проходящего через середины знаков зодиака, а В — точка солнцеворота [рис. 2.10]. Отложив от нее в обе стороны равные дуги ВА и ВЕ, проведем через точки Δ, Е и полюс Z равноденственного круга дуги ZΔ и ZE полуденных кругов. Я утверждаю, что углы ZΔВ и ZЕГ, вместе взятые, равны двум прямым.

Это также очевидно. Так как точки Δ и Е одинаково отстоят от одной и той же точки солнцеворота, то дуга ΔZ равна дуге ZE, и, следовательно, угол ZΔВ будет равен углу ZЕВ. Но углы ZЕВ и ZЕГ, вместе взятые, равны двум прямым углам. Значит, угол ZΔВ вместе с углом ZЕГ равен двум прямым, что и требовалось доказать.

Предварительно установив это, возьмем полуденный круг АВГΔ и полуокружность зодиакального круга АЕГ [рис. 2.11]. Предположим, что А — точка зимнего солнцеворота. Из полюса

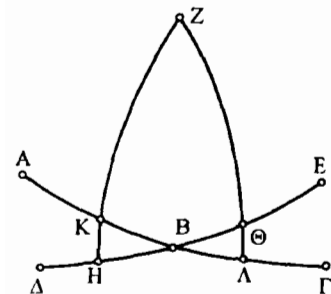


Рис. 2.9

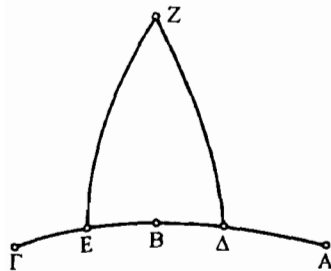


Рис. 2.10

А радиусом, равным стороне вписанного квадрата, опишем полуокружность ВЕΔ. Так как полуденный круг АВГΔ проведен через полюсы кругов АЕГ и ВЕΔ, то дуга ЕΔ равна четверти окружности.

Следовательно, угол ΔАЕ прямой. Тогда согласно доказанному выше будет прямым и угол при точке летнего солнцеворота. Это и требовалось доказать.

Далее, пусть АВГΔ — полуденный круг, а АЕГ — полуокружность равноденственного круга [рис. 2.12]. Проведем полуокружность зодиакального круга АЗГ так, чтобы А была точкой осеннего равноденствия. Из точки А как из полюса радиусом, равным стороне вписанного квадрата, опишем полуокружность ВZЕΔ. Тогда на основании тех же самых

рассуждений, поскольку $AB\Gamma\Delta$ проведена через полюсы окружностей $A\Gamma E$ и $BE\Delta$, дуги Z и $E\Delta$ составляют четверти окружности. Таким образом, AZ — точка зимнего солнцеворота, а дуга ZE приблизительно составляет, как было доказано выше, $23;51$ градуса.

Следовательно, вся дуга $ZE\Delta$ равна $113;51$ градусам и угол ΔAZ составляет $113;51$ таких градусов, каких в прямом угле содержится 90 . Далее,

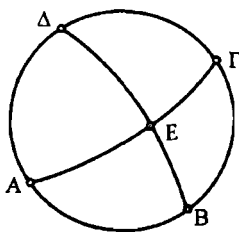


Рис. 2.11

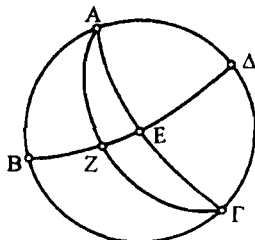


Рис. 2.12

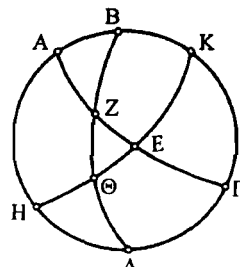


Рис. 2.13

на основании доказанного выше угол у точки весеннего равноденствия будет равняться $66;9$ градусам, недостающим до двух прямых углов.

Далее, пусть $AB\Gamma\Delta$ будет полуденный круг [рис. 2.13], $A\Gamma E$ — полуокружность равноденственного круга, а $BZ\Delta$ — зодиакального круга, так что точка Z по предположению есть точка осеннего равноденствия. Дуга же BZ пусть вначале соответствует Деве — двенадцатой части зодиака. Тогда точка B — начало знака Девы. Снова из полюса B расстоянием, равным стороне вписанного квадрата, опишем полуокружность $H\Theta EK$, и зададимся целью определить угол $KB\Theta$.

Так как полуденный круг $AB\Gamma\Delta$ проходит через полюсы кругов $A\Gamma E$ и HEK , то каждая из дуг BH , $B\Theta$ и EH окажется равной четверти окружности. Но на основании построения отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу BA , к прямой, стягивающей удвоенную HA , составляется из отношения прямой, стягивающей удвоенную BZ , к прямой, стягивающей удвоенную ΘZ , и отношения прямой, стягивающей удвоенную $E\Theta$, к прямой, стягивающей удвоенную EH .

Но, согласно изложенному выше, удвоенная дуга BA равна $23;20$ градусам и стягивающая ее прямая составляет $24;16$ части. Удвоенная дуга AN равна $156;40$ градусам, и стягивающая ее прямая — $117;31$ частям. Далее, удвоенная дуга ZB равна 60 градусам, и стягивающая ее прямая — 60 частям, а удвоенная дуга $Z\Theta$ — 120 градусам, и стягивающая ее прямая — $103;55,23$ частям. Следовательно, если из отношения $24;16$ к $117;31$ выделить отношение 60 к $103;55,23$, останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘE , к прямой, стягивающей удвоенную EH , равное приблизительно отношению $42;58$ к 120 . Но стягивающая удвоенную дугу EH прямая составляет 120 частей. Следовательно, прямая, стягивающая удвоенную дугу ΘE , будет равна $42;58$ таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга ΘE будет равна приблизительно 42 градусам, а сама дуга ΘE — 21 такому же градусу. Следовательно, вся дуга ΘEK и соответствующий ей угол $KB\Theta$ будут равны 111 градусам.

Тогда на основании доказанного ранее угол, получающийся при начале Скорпиона, тоже равен 111 градусам, а каждый из углов при начале Тельца

и начале Рыб будет равен недостающим до двух прямых 69 градусам, что и требовалось доказать.

После этого на том же самом чертеже [рис. 2.13] положим, что дуга ZB равна двум двенадцатым частям [зодиакального круга], так что точка В будет началом Льва. При тех же самых предположениях для других [знаков] удвоенная дуга ВА будет равной 41 градусу, а стягивающая ее прямая составит 42;2 части. Удвоенная дуга АН равна 139 градусам, а стягивающая ее прямая — 112;24 частям; ZB равна 120 градусам, а стягивающая ее прямая — 103;55,23 частям; удвоенная ZΘ равна 60 градусам, а стягивающая ее прямая — 60 частям.

153

Следовательно, если мы снова из отношения 42;2 к 112;24 выделим отношение 103;55,23 к 60, то останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘЕ, к прямой, стягивающей удвоенную ЕН, а именно отношение 25;53 к 120. Следовательно, прямая, стягивающая удвоенную дугу ΘЕ, окажется равной 25;53 таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга ΘЕ будет равна приблизительно 25 градусам, а сама дуга ΘЕ — $12\frac{1}{2}$ таким же градусам; значит, вся дуга ΘЕК и угол KBΘ будут равны $102\frac{1}{2}$ градусам.

На основании тех же рассуждений угол при начале Стрельца будет тоже равен $102\frac{1}{2}$ градусам. Каждый же из углов при начале Близнецов и Водолея будет равен недостающим до двух прямых $77\frac{1}{2}$ градусам. Таким образом, мы доказали предположенное.

Тот же самый ход вычисления применим и для более мелких делений наклонного круга. Для практического применения этой теории будет достаточно, если привести данные для каждой из двенадцати частей зодиака.

11. Об углах, образуемых тем же наклонным кругом с горизонтом

154

После этого мы покажем, каким образом для данного климата определяются углы, образуемые зодиакальным кругом с горизонтом⁶⁸, так как и для них соответствующий метод будет легче, чем для остальных [углов]. Очевидно, что углы, образуемые с полуденным кругом, будут теми же, что и его углы с горизонтом в прямой сфере. А чтобы получить их значения в наклонной сфере, нужно сначала показать, что точки зодиакального круга, равноотстоящие от одной и той же точки равноденствия, образуют с горизонтом равные друг другу углы.

Пусть АВГΔ — полуденный круг, АЕГ — полуокружность равноденственного круга, а ВЕΔ — круга горизонта (рис. 2.14). Проведем две дуги, ZHΘ и KAM, наклонного круга, расположенные так, чтобы каждая из двух точек Z и K соответствовала осеннему равноденствию и дуга ZH равнялась дуге KA.

Рис. 2.14

Я утверждаю, что угол ENΘ будет равен углу ΔAK.

155

Это ясно из следующего. Треугольник EZH имеет равные углы с треугольником ЕКА, поскольку на основании доказанного ранее три стороны одного треугольника попарно равны трем сторонам другого, а именно дуга ZH равна KA, дуга HE горизонта равна EA, а дуга времени восхода EZ равна EK. Следовательно, угол ENZ будет равен EAK, а остающийся угол ENΘ равен ΔAK, что и требовалось доказать.

Я также утверждаю, что углы [между зодиакальным кругом и горизонтом] при двух диаметрально противоположных точках [зодиакального круга], а именно один при восходящей и другой при заходящей, составляют вместе два прямых угла.

Действительно, если мы начертим круг $AB\Gamma\Delta$ горизонта и $AEGZ$ зодиака, пересекающиеся в точках A и Γ [рис. 2.15], то углы ZAD и ΔAE , взятые вместе, равны двум прямым углам. Но угол ZAD равен $Z\Gamma\Delta$, так что вместе взятые углы $Z\Gamma\Delta$ и ΔAE образуют два прямых угла, что и требовалось доказать.

Поскольку доказано, что у двух точек [зодиакального круга], одинаково отстоящих от одной и той же точки равноденствия, будут равны углы, образуемые с тем же горизонтом, то можно показать, что у двух точек,

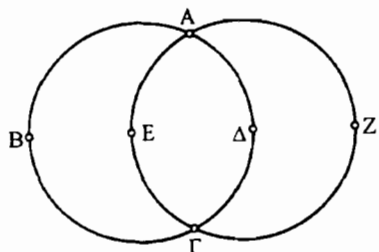


Рис. 2.15

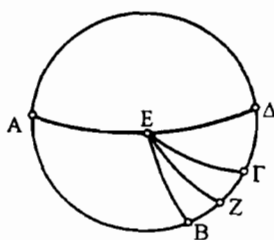


Рис. 2.16

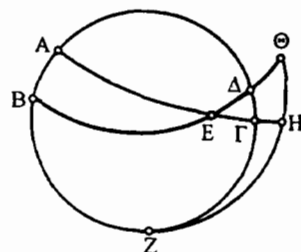


Рис. 2.17

одинаково отстоящих от одной и той же точки солнцеворота, одной восходящей и другой заходящей, вместе взятые углы будут равняться двум прямым углам.

Таким образом, если мы найдем восходящие углы от Овна до Клешией, то одновременно будут получены восходящие углы для другой полуокружности и заходящие углы для обеих полуокружностей. Каким образом это определяется, мы изложим коротко, пользуясь в качестве примера той же самой параллелью, а именно той, на которой северный полюс поднимается над горизонтом на 36 градусов⁶⁹.

Очень легко можно определить углы, образуемые зодиакальным кругом с горизонтом в равноденственных точках [начала Овна и Клешией]. Действительно, если [на рис. 2.16] провести полуденный круг $AB\Gamma\Delta$, восточную полуокружность горизонта $AE\Delta$, четверть EZ равноденственного и две четверти EB и $E\Gamma$ зодиакального кругов так, чтобы в точке E для четверти EB предполагалось осеннее, а для четверти $E\Gamma$ весеннее равноденствие, точка B была точкой зимнего, а Γ — летнего солнцеворотов, и если дуга ΔZ равна по предположению 54 градусам, а каждая из BZ и $Z\Gamma$ приблизительно 23;51 градусам, то дуга $\Gamma\Delta$ окажется равной 30;9, а BA — 77;51 таким же градусам. Следовательно, поскольку E есть полюс полуденного круга, то образуемый в начале Овна угол $\Delta E\Gamma$ составит 30;9 таких градусов, каких прямой угол имеет 90, а угол ΔEB в начале Клешией имеет 77;51 таких же градусов.

Для объяснения метода определения [углов] в остальных точках возьмем, например, восходящий угол, образуемый у горизонта началом Тельца.

Пусть $AB\Gamma\Delta$ будет полуденный круг, а $BE\Delta$ — восточная полуокружность рассматриваемого горизонта [рис. 2.17]. Проведем полуокружность AEG зодиакального круга так, чтобы точка E была началом Тельца. И так как в рассматриваемом климате при восходе начала Тельца над Землей в середине неба стоят 17;41 градусов Рака (мы уже показали, каким образом это определяется при помощи приведенной нами таблицы времен восхода)⁷⁰,

то дуга ЕГ будет меньше четверти окружности. Из полюса Е расстоянием, равным вписанной в круг стороне квадрата, опишем дугу большого круга ΘHZ и дополним четверти кругов EGH и $ED\Theta$. Тогда дуги ΔGZ и $ZH\Theta$ тоже каждая равна четверти круга вследствие того, что горизонт $BE\Theta$ проходит через полюсы полуденного круга ZGA и большого круга $ZH\Theta$. Далее, так как $17;41$ градусов Рака отстоят на $22;40$ градуса к северу по большому кругу, проходящему через его полюсы (это тоже уже показано нами [в таблице склонений]), а полуденный круг отстоит от полюса Z горизонта на 36 градусов по той же самой дуге ZGA , то получится, что дуга ZG равна $58;40$ градусам. Если это известно, то остальное получается из чертежа: отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу $\Gamma\Delta$, к прямой, стягивающей удвоенную ΔZ , составляется из отношения прямой, стягивающей удвоенную ΓE , к прямой, стягивающей удвоенную EH , и отношения прямой, стягивающей удвоенную дугу $H\Theta$, к прямой, стягивающей удвоенную ΘZ . 159

Но согласно изложенному выше удвоенная дуга $\Gamma\Delta$ равна $62;40$ градусам, а стягивающая ее прямая составляет $62;24$ части; удвоенная дуга ΔZ равна 180 градусам, а стягивающая ее прямая — 120 частям. Далее, удвоенная дуга ΓE равна $155;22$ градусам, а стягивающая ее прямая — $117;14$ частям. Удвоенная дуга EH равна 180 градусам, а стягивающая ее прямая — 120 частям. Следовательно, если из отношения $62;24$ к 120 выделить отношение $117;14$ к 120 , то у нас получится отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘH , к прямой, стягивающей удвоенную дугу ΘZ , а именно $63;52$ к 120 . Но прямая, стягивающая удвоенную дугу ΘZ , составляет 120 частей, и, следовательно, прямая, стягивающая удвоенную дугу ΘH , составит $63;52$ такие же части. Таким образом, удвоенная дуга ΘH будет равна $64;20$ градусам, а сама дуга ΘH , а также угол $HE\Theta$ равны таким же $32;10$ градусам. Это и требовалось показать.

Чтобы не говорить одно и то же для каждого случая и не растягивать изложение этого сочинения, скажем, что тот же самый способ будет применен нами и для остальных двенадцатых частей зодиака и других климатов.

12. Об углах и дугах, образуемых тем же наклонным кругом и кругом, проведенным через полюсы горизонта

160

Нам остается еще изложить, каким методом при произвольном наклоне сферы и положении круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, определяются его углы с кругом, проведенным через полюсы горизонта. Одновременно, как мы сказали, каждый раз будут определяться дуги круга, проведенного через полюсы горизонта, заключенные между точкой, находящейся прямо над головой, и сечением этого круга с наклонным. Вначале мы опять изложим то, что требуется предварительно знать для изучения этого раздела, и прежде всего покажем, что если точки зодиакального круга равноотстоят от одной и той же точки солнцеворота и отсекают по обеим сторонам полуденного круга одинаковые часовые углы — один к востоку, другой к западу, — то дуги больших кругов, проведенные к этим точкам из точки, находящейся прямо над головой, будут равны, а образованные при них углы, взятые указанным нами выше образом⁷¹, будут составлять в сумме два прямых угла.

Действительно, пусть $AB\Gamma$ — отрезок полуденного круга, и пусть на нем B будет точка, находящаяся прямо над головой, а Γ — полюс

161 равноденственного круга [рис. 2.18]. Проведем две дуги зодиакального круга, $\Delta\text{ДЕ}$ и AZH , расположенные так, чтобы точки Δ и Z находились на равных расстояниях от одной и той же точки солнцеворота и с каждой стороны полуденного круга ABГ отсекали на соединяющей эти точки параллели одинаковые дуги. Затем через точки Δ и Z проведем дуги больших кругов $\text{Г}\Delta$ и ГZ от полюса Г равноденственного круга, а также $\text{В}\Delta$ и ВZ от находящейся прямо над головой точки В .

Я утверждаю, что дуга $\text{В}\Delta$ равна ВZ , а угол $\text{В}\Delta\text{Е}$ вместе с углом ВZА составляют два прямых угла.

Так как точки Δ и Z по проходящей через них параллели отстоят от полуденного круга ABГ на одинаковые дуги, то угол $\text{ВГ}\Delta$ будет равен углу ВГZ .

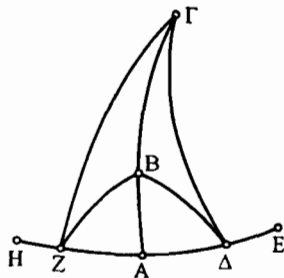


Рис. 2.18

162 Итак, имеются два треугольника, $\text{ВГ}\Delta$ и ВГZ , у которых попарно равны две стороны, а именно $\text{Г}\Delta$ и ГZ , а сторона ВГ общая. Равны также углы $\text{ВГ}\Delta$ и ВГZ , заключенные между равными сторонами. Следовательно, они имеют равные основания $\text{В}\Delta$ и ВZ и равные углы ВZГ и $\text{В}\Delta\text{Г}$. Но так как незадолго перед этим было доказано, что у двух точек [зодиакального круга], одинаково отстоящих от одной и той же точки солнцеворота, углы, образуемые с кругом, проходящим через полюсы равноденственного круга, вместе составляют два прямых угла⁷², то углы $\text{Г}\Delta\text{Е}$ и ГZА , вместе взятые, будут равны двум прямым углам. Но было доказано, что угол $\text{В}\Delta\text{Г}$ равен ВZГ , и, следовательно, углы $\text{В}\Delta\text{Е}$ и ВZА , вместе взятые, равны двум прямым углам. Это и требовалось доказать⁷³.

После этого нужно доказать, что у тех же точек зодиакального круга, отстоящих по обе стороны от полуденного круга на одинаковые часовые углы, равны дуги больших кругов, проведенных через них к точке, находящейся прямо над головой, а получающиеся при них углы [между зодиакальным кругом и кругами высоты] к востоку и к западу [от полуденного круга], взятые вместе, равны двум углам, образуемым при тех же точках полуденным кругом, если в каждом положении проходящие через полуденный круг точки будут находиться или обе севернее, или обе южнее точки [расположенной] прямо над головой.

163 Предположим сначала, что обе точки находятся южнее. Пусть $\text{ABГ}\Delta$ — отрезок полуденного круга, и на нем Г — точка, находящаяся прямо над головой, а Δ — полюс равноденственного круга [рис. 2.19]. Проведем две дуги, AEZ и $\text{ВH}\Theta$, зодиакального круга, расположенные так, чтобы точка Е и соответствующая ей точка H одинаково отстояли по той же параллели по обе стороны от полуденного круга $\text{ABГ}\Delta$. Затем проведем через них дуги больших кругов: через Г — дуги ГЕ и ГH , а через Δ — дуги $\Delta\text{Е}$ и ΔH . На том же основании, что и выше, поскольку находящиеся на одной и той же параллели точки Е и H образуют равные дуги по обе стороны полуденного круга, треугольник $\text{Г}\Delta\text{Е}$ будет

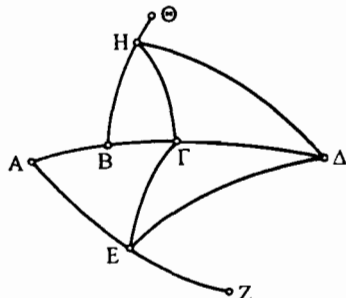


Рис. 2.19

иметь одинаковые углы и стороны с треугольником $\Gamma\Delta H$, так что сторона GE равна $ГН$.

Теперь я утверждаю, что углы GEZ и $ГНВ$, вместе взятые, равны двум углам ΔEZ или $\Delta HВ$.

Действительно, так как угол ΔEZ такой же, что и угол $\Delta HВ$, а угол $ГЕ\Delta$ равен углу $\Delta HГ$, то, следовательно, вместе взятые углы $ГЕ\Delta$ и $ГНВ$ равны углу ΔEZ . Таким образом, вместе взятые весь угол GEZ и угол $ГНВ$ равны двум углам ΔEZ или двум углам $\Delta HВ$, что и требовалось доказать⁷⁴.

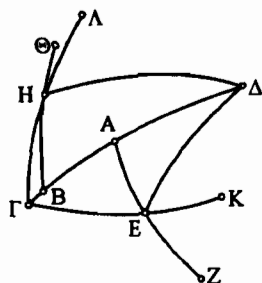


Рис. 2.20

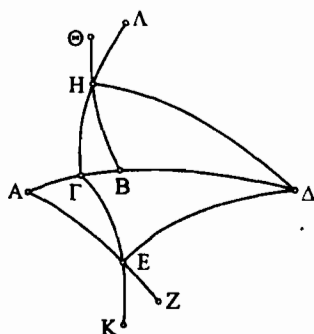


Рис. 2.21

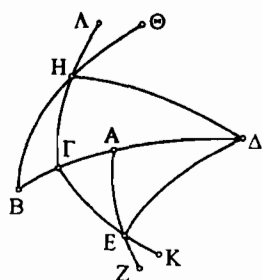


Рис. 2.22

Теперь еще раз начертим те же самые дуги упомянутых больших кругов, но только так, чтобы точки A и B оказались севернее, чем точка $Г$ [рис. 2.20].

Я утверждаю, что и в этом случае будет иметь место то же самое, т.е. что вместе взятые углы KEZ и $\Delta HВ$ будут равны удвоенному углу ΔEZ . Действительно, поскольку угол ΔEZ будет тем же, что и $\Delta HВ$, а угол ΔEK равен углу $\Delta H\Lambda$, то, следовательно, весь угол $\Delta HВ$ будет равен вместе взятым углам ΔEZ и ΔEK , так что вместе взятые углы $\Delta HВ$ и KEZ будут равны двум углам ΔEZ .

Теперь возьмем снова подобный чертеж [рис. 2.21], но только пусть находящаяся в середине неба точка A восточной дуги [зодиакального круга] будет южнее точки $Г$ [стоящей] прямо над головой, а находящаяся в середине неба точка B западной дуги [зодиакального круга] будет севернее ее. Я утверждаю, что вместе взятые углы GEZ и $\Delta HВ$ будут на два прямых угла больше двух углов ΔEZ .

Действительно, так как [на рис. 2.21] угол $\Delta HГ$ равен углу $\Delta EГ$, а вместе взятые углы $\Delta HГ$ и $\Delta H\Lambda$ равны двум прямым углам, то, значит, вместе взятые углы $\Delta EГ$ и $\Delta H\Lambda$ равны двум прямым углам. Но угол ΔEZ будет тем же, что и угол $\Delta HВ$, так что вместе взятые углы GEZ и $\Delta HВ$ будут больше вместе взятых углов ΔEZ и $\Delta HВ$, т.е. удвоенного угла ΔEZ , на вместе взятые углы $\Delta EГ$ и $\Delta H\Lambda$, которые равны двум прямым углам, что и требовалось доказать.

Теперь последнее: положим на подобном чертеже, что находящаяся в середине неба точка A восточной дуги будет севернее $Г$, а находящаяся

в середине неба точка B западной дуги — южнее $Г$ [рис. 2.22].

Я утверждаю, что вместе взятые углы KEZ и $ГНВ$ будут меньше удвоенного угла ΔEZ на два прямых угла. Действительно, на том же основании вместе взятые углы KEZ и $ГНВ$ будут опять меньше вместе взятых углов ΔEZ и $\Delta HВ$, т.е. двух углов ΔEZ , на вместе взятые углы ΔEK и $\Delta HГ$. Но эти последние равны двум прямым углам вследствие того,

что вместе взятые углы ΔEK и ΔEG равны двум прямым углам, а угол ΔEG равен углу ΔHG . Это и требовалось доказать.

Что величины углов и дуг, образуемых наклонным кругом и большим кругом, проведенным через точку над головой, взятых упомянутым нами выше образом как на полуденном круге, так и на горизонте, могут быть легко определенными, сразу же уясняется следующим образом. Если мы начертим полуденный круг $AB\Gamma\Delta$, полуокружность 167 $BE\Delta$ горизонта и ZEN зодиакального круга, какое бы положение последний ни занимал, и изобразим большой круг, проходящий через находящуюся в середине неба точку Z и прямо над головой точку A [рис. 2.23], то этот круг будет таким же, что и полуденный $AB\Gamma\Delta$, и, следовательно, угол ΔZE будет нам сразу известен, так как нам даны и точка Z , и образуемый при ней угол с полуденным кругом. Будет также известна дуга AZ , поскольку мы знаем число градусов полуденного круга, на которые точка Z удалена от равноденственного круга, а также на сколько градусов сам равноденственный круг отстоит от точки A , находящейся прямо над головой. Если через восходящую точку E мы проведем большой круг AEG , проходящий через A , то сразу ясно, что дуга AE всегда составит четверть окружности, так как точка A будет полюсом горизонта $BE\Delta$. По этой причине угол AED будет всегда прямым, а угол ΔEN наклонного круга с горизонтом нам дан. Следовательно, будет также известен весь угол AEN , что и требовалось показать.

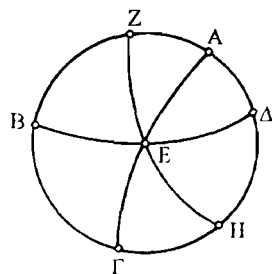


Рис. 2.23

Таким образом, становится ясно, что в этом случае, если для каждого наклона сферы мы вычислим углы и дуги только перед полуденным кругом [т.е. только к востоку от него] и только для двенадцатых частей зодиака, идущих от начала Рака до начала Козерога, то одновременно будем иметь для них вычисленными такие же углы и дуги, находящиеся за полуденным кругом [т.е. к западу от него], а также для остальных двенадцатых частей зодиака углы и дуги как перед, так и за полуденным кругом. Чтобы вполне уяснить метод вычисления для каждого положения, разберем на примере, который может считаться общим, один теоретический вывод для того же [что и в предыдущей главе] наклона сферы, т.е. когда северный полюс поднимается над горизонтом на 36 градусов, а начало Рака будем предполагать, например, отстоящим на один равноденственный час к востоку от полуденного круга. В таком положении на рассматриваемой параллели в середине неба будут находиться 16;12 градусов Близнецов, а восходить 17;37 градусов Девы.

Пусть $AB\Gamma\Delta$ будет полуденный круг, $BE\Delta$ — полуокружность горизонта, а $ZH\Theta$ — круга, проходящего через середины знаков зодиака и расположенного так, что точка H представляет начало Рака, точка Z соответствует 16;12 градусам Близнецов, а Θ — 17;37 градусам Девы [рис. 2.24]. Через находящуюся прямо над головой точку A и начало Рака H проведем дугу большого круга $AHEG$. Пусть сначала нужно определить дугу AH . Очевидно, что дуга $Z\Theta$ равна 91;25 градусу, а $H\Theta$ — 77;37. Точно так же, поскольку 16;12 градусов Близнецов отсекают на

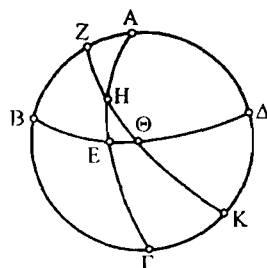


Рис. 2.24

полуденном круге $23;7$ градуса от равноденственного круга к северу, а равноденственный круг отстоит на 36 градусов от находящейся над головой точки A , дуга AZ содержит $12;53$ градусов, а ZB — недостающие до четверти окружности $77;7$ градусов. При этих данных из чертежа получится, что отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ZB , к прямой, стягивающей удвоенную BA , состоит из отношения прямой, стягивающей удвоенную $Z\Theta$, к прямой, стягивающей удвоенную ΘH , и отношения прямой, стягивающей удвоенную HE , к прямой, стягивающей удвоенную EA .

Но удвоенная дуга ZB составляет $154;14$ градуса, а стягивающая ее прямая — $116;59$ частей, удвоенная дуга BA составляет 180 градусов, а стягивающая ее прямая — 120 частей. И далее, удвоенная дуга $Z\Theta$ равна $182;50$ градусам, а стягивающая ее прямая — $119;58$ частям, удвоенная дуга ΘH равна $155;14$ градусам, а стягивающая ее прямая — $117;12$ частям. Следовательно, если из отношения $116;59$ к 120 выделим отношение $119;58$ к $117;12$, то у нас останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу EH , к прямой, стягивающей удвоенную EA , а именно отношение приблизительно $114;16$ к 120 . Но прямая, стягивающая удвоенную дугу EA , составляет 120 частей, и, следовательно, прямая, стягивающая удвоенную дугу EH , будет равна $114;16$ таким же частям, так что удвоенная дуга EH будет равна приблизительно $144;26$ градусам, сама же EH — $72;13$ таким же градусам. Таким образом, получающаяся в остатке дуга $АН$ равна недостающим до четверти окружности $17;47$ градусам, что и требовалось доказать.

После этого угол $АН\Theta$ мы определим так. Возьмем тот же самый чертеж [рис. 2.25] и из полюса H радиусом, равным стороне вписанного квадрата,

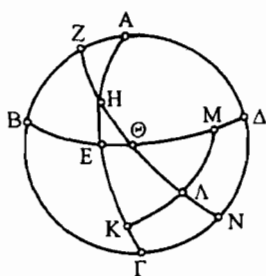


Рис. 2.25

опишем дугу KAM большого круга, так что каждая из дуг EM и KM будет равна четверти окружности, поскольку круг $АНЕ$ проведен через полюсы кругов $Е\Theta M$ и KAM . Затем из того же чертежа отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу HE , к прямой, стягивающей удвоенную EK , опять составит из отношения прямой, стягивающей удвоенную $H\Theta$, к прямой, стягивающей удвоенную $\Theta\Lambda$, и отношения прямой, стягивающей удвоенную ΛM , к прямой, стягивающей удвоенную KM . Но удвоенная дуга HE составляет $144;26$ градуса, а стягивающая ее прямая — $114;16$ частей; удвоенная EK равна $35;34$

градусам, а стягивающая ее прямая — $36;38$ частям; далее, удвоенная $H\Theta$ составляет $155;14$ градусов, а стягивающая ее прямая — $117;12$ частей, удвоенная же $\Theta\Lambda$ — $24;46$ градуса, стягивающая же ее прямая — $25;44$ частей. Таким образом, если из отношения $114;16$ к $36;38$ выделим отношение $117;12$ к $25;44$, то у нас останется отношение прямой, стягивающей удвоенную дугу ΛM , к прямой, стягивающей удвоенную дугу MK , равное приблизительно $82;11$ к 120 . Но прямая, стягивающая удвоенную дугу MK , составляет 120 частей, и, следовательно, прямая, стягивающая удвоенную ΛM , будет равна $82;11$ таким же частям. Таким образом, удвоенная дуга ΛM равна $86;28$ градусам, сама же дуга ΛM — $43;14$ таким же градусам. Значит, оставшаяся дуга AK , а также угол $АНK$, будут равны $46;46$ градусам, так что угол $АН\Theta$ будет равняться недостающим до двух прямых углов $133;14$ градусам, что и требовалось показать⁷⁵.

172 Предложенный способ определения применим и в остальных случаях. Мы же, чтобы иметь под рукой другие углы и дуги, которые могут понадобиться в исследовании частных случаев, даем таблицы, вычислив их геометрически, начиная от параллели Мероэ, на которой наибольший день равняется 13 равноденственным часам, и заканчивая параллелью, проходящей за Понтом через устья Борисфена, где наибольший день равняется 16 равноденственным часам. Для климатов мы опять взяли приращения [длины наибольшего дня] по полчаса, как и для времен восхода, для дуг зодиакального круга — по одной двенадцатой части его, для задания же положений кругов к западу и востоку от полуденного круга — по одному равноденственному часу.

Все это мы расположим в таблицах для каждого климата и [каждой] двенадцатой части зодиака, помещая в первых столбцах величину выраженного в равноденственных часах расстояния от полуденного круга в ту и другую сторону. Во вторых столбцах стоят числовые величины дуг, получающихся между точкой, находящейся прямо над головой, и началом соответствующей двенадцатой части зодиака. В третьих и четвертых — 173 величины определенных указанным выше образом углов у каждого рассматриваемого сечения, причем в третьих столбцах стоят углы для положений к востоку от полуденного круга, в четвертых — к западу. При этом, как мы уже указали вначале, нужно помнить, что из двух углов, получающихся у рассматриваемой точки зодиакального круга, мы всегда берем тот, который обращен к северу, причем величину каждого из этих углов мы выражаем в таких градусах, каких один прямой угол содержит 90. Упомянутые нами таблицы таковы⁷⁶.

174–187

13. Значения углов и дуг для различных параллелей

См. с. 68–74

188 После изложения методики определения углов из необходимых начальных данных еще остается рассмотреть положения достойных упоминания городов каждой страны по их долготе и широте, чтобы можно было вычислить небесные явления для каждого города. Однако изложение этого отдельного предмета мы выпустим в свет особо, следуя сочинениям более всего потрудившихся в этом вопросе авторов, и укажем, на сколько градусов каждый из этих городов отстоит по проходящему через него меридиану от равноденственного круга и на сколько градусов по равноденственному кругу он отстоит к востоку или к западу от проходящего через Александрию меридиана, так как именно к этому меридиану мы будем относить времена [начальных] положений [светил]⁷⁷.

Предполагая теперь положения местностей известными, мы считаем нужным сказать лишь следующее: когда мы хотим определить время наблюдения для какой-нибудь из упомянутых местностей, соответствующее наблюдению в каком-нибудь другом месте, которое отличается от первого проходящим меридианом, то мы должны установить, на сколько градусов по равноденственному кругу одно место отстоит от другого, и в зависимости от того, будет первый город восточнее или западнее второго, мы должны на соответствующее число равноденственных часов увеличить или уменьшить время, наблюдаемое во втором месте, для того, чтобы получить время, соответствующее рассматриваемому месту; при этом нужно прибавлять [полученную величину], если рассматриваемое место находится восточнее, и вычитать, если оно находится западнее нашего места наблюдения.

Параллель через Мерз. [Наибольший день] 13^h. [Высота полюса] 16;27°

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	7° 24'	90° 0'	—	0 ^h	40° 18'	90° 0'	—
1	15 55	25 16	154° 44'	1	42 54	111 24	68° 36'
2	29 3	9 15	170 45	2	49 48	128 51	51 9
3	42 42	1 38	178 22	3	59 35	141 49	38 11
4	56 25	175 7	4 53	4	71 4	151 25	28 35
5	70 2	170 18	9 42	5	83 31	158 48	21 12
6	83 27	164 41	15 19	5 30	90 0	161 57	18 3
6 30	90 0	161 57	18 3	Водолей			
Лев				0	36 57	77 30	—
0	4 3	102 30	—	1	39 46	100 12	54 48
1	14 20	26 3	178 57	2	47 15	118 5	36 55
2	28 42	15 28	9 32	3	57 33	131 3	23 57
3	42 43	10 5	14 55	4	69 30	139 48	15 12
4	56 49	6 19	18 41	5	82 18	146 43	8 14
5	70 38	2 33	22 27	5 35	90 0	149 51	5 9
6	84 17	177 0	28 0	Рыбы			
6 25	90 0	174 51	30 9	0	28 7	69 0	—
Дева				1	31 46	97 0	41 0
0	4 47	111 0	—	2	40 52	115 59	22 1
1	15 20	0 0	42 0	3	52 30	127 23	10 37
2	29 28	8 0	34 0	4	65 40	134 41	3 19
3	43 40	9 15	32 45	5	79 18	139 41	178 19
4	58 13	8 39	33 21	5 46	90 0	142 9	175 51
5	72 36	6 53	35 7	Овен			
6	86 41	5 37	36 23	0	16 27	66 9	—
6 14	90 0	4 9	37 51	1	22 8	107 11	25 7
Весы				2	33 50	125 35	6 43
0	16 27	113 51	—	3	47 20	133 41	178 37
1	22 8	154 53	72 49	4	61 22	137 26	174 52
2	33 50	173 17	54 25	5	75 39	139 27	172 51
3	47 20	1 23	46 19	6	90 0	139 42	172 36
4	61 22	5 8	42 34	Телец			
5	75 39	7 9	40 33	0	4 47	69 0	—
6	90 0	7 24	40 18	1	15 20	138 0	180 0
Скорпион				2	29 28	146 0	172 0
0	28 7	111 0	—	3	43 40	147 15	170 45
1	31 46	139 0	83 0	4	58 13	146 39	171 21
2	40 52	157 59	64 1	5	72 36	144 53	173 7
3	52 30	169 23	52 37	6	86 41	143 37	174 23
4	65 40	176 41	45 19	6 14	90 0	142 9	175 51
5	79 18	1 41	40 19	Близнецы			
5 46	90 0	4 9	37 51	0	4 3	77 30	—
Стрелец				1	14 20	1 3	153 57
0	36 57	102 30	—	2	28 42	170 28	164 32
1	39 46	125 12	79 48	3	42 43	165 5	169 55
2	47 15	143 5	61 55	4	56 49	161 19	173 41
3	57 33	156 3	48 57	5	70 38	157 33	177 27
4	69 30	164 48	40 12	6	84 17	152 0	3 0
5	82 18	171 43	33 17	6 25	90 0	149 51	5 9
5 35	90 0	174 51	30 9				

Параллель через Сиену. [Наибольший день] $13\frac{1}{2}^{\circ}$. [Высота полюса] $23;51^{\circ}$

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	0° 0'	90° 0'	—	0 ^h	47° 42'	90° 0'	—
1	13 43	176 15	3° 45'	1	49 52	108 3	71° 57'
2	27 23	173 51	6 9	2	55 52	123 31	56 29
3	41 20	168 15	11 45	3	64 37	135 37	44 23
4	54 27	166 51	13 9	4	75 12	144 57	35 3
5	67 42	162 42	17 18	5	86 54	152 0	28 0
6	80 36	157 59	22 1	5 15	90 0	153 46	26 14
6 45	90 0	153 46	26 14	Водолей			
Лев				0	44 21	77 30	—
0	3 21	102 30	—	1	46 40	96 30	58 30
1	14 18	176 4	28 56	2	53 4	112 16	42 44
2	27 56	180 0	25 0	3	62 18	124 25	30 35
3	41 44	179 3	25 57	4	73 20	132 58	22 2
4	55 14	177 18	27 42	5	85 23	139 46	15 14
5	68 43	173 40	31 20	5 22	90 0	141 53	13 7
6	81 52	168 56	36 4	Рыбы			
6 38	90 0	166 53	38 7	0	35 31	69 0	—
Дева				1	38 25	91 15	46 45
0	12 11	111 0	—	2	46 2	108 18	29 42
1	18 42	158 40	63 20	3	56 30	119 41	18 19
2	30 57	173 44	48 16	4	68 31	127 5	10 55
3	44 22	178 3	43 57	5	81 22	132 30	5 30
4	58 1	180 0	42 0	5 39	90 0	134 41	3 19
5	71 43	179 15	42 45	Овен			
6	85 20	177 39	44 21	0	23 51	66 9	—
6 21	90 0	176 41	45 19	1	27 56	96 28	35 50
Весы				2	37 36	114 31	17 47
0	23 51	113 51	—	3	49 42	124 3	8 15
1	27 56	144 10	83 32	4	62 47	129 17	3 1
2	37 36	162 13	65 29	5	76 20	131 21	0 57
3	49 42	171 45	55 57	6	90 0	132 18	0 0
4	62 47	176 59	50 43	Телец			
5	76 20	179 3	48 39	0	12 11	69 0	—
6	90 0	180 0	47 42	1	18 42	116 40	21 20
Скорпион				2	30 57	131 44	6 16
0	35 31	111 0	—	3	44 22	136 3	1 57
1	38 25	133 15	88 45	4	58 1	138 0	0 0
2	46 2	150 18	71 42	5	71 43	137 15	0 45
3	56 30	161 41	60 19	6	85 20	135 39	2 21
4	68 31	169 5	52 55	6 21	90 0	134 41	3 19
5	81 22	174 30	47 30	Близнецы			
5 39	90 0	176 41	45 19	0	3 21	77 30	—
Стрелец				1	14 18	151 4	3 56
0	44 21	102 30	—	2	27 56	155 0	0 0
1	46 40	121 30	83 30	3	41 44	154 3	0 57
2	53 4	137 16	67 44	4	55 14	152 18	2 42
3	62 18	149 25	55 35	5	68 43	148 40	6 20
4	73 20	157 58	47 2	6	81 52	143 56	11 4
5	85 23	164 46	40 14	6 38	90 0	141 53	13 7
5 22	90 0	166 53	38 7				

Параллель через Нижний Египет. [Наибольший день] 14^h. [Высота полюса] 30;22°

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	6° 31'	90° 0'	—	0 ^h	54° 13'	90° 0'	—
1	14 56	150 0	30° 0'	1	56 6	105 34	74° 26'
2	27 23	159 38	20 22	2	61 22	119 23	60 37
3	40 19	160 30	19 30	3	69 17	130 46	49 14
4	53 14	158 51	21 9	4	78 59	139 30	40 30
5	65 55	156 0	24 0	5	90 0	146 28	33 32
6	78 15	151 49	28 11				
7	90 0	146 28	33 32				
Лев				Водолей			
0	9 52	102 30	—	0	50 52	77 30	—
1	16 45	153 13	51 47	1	52 53	93 39	61 21
2	28 44	166 22	38 38	2	58 27	107 51	47 9
3	41 31	169 26	35 34	3	66 44	119 1	35 59
4	54 27	169 8	35 52	4	76 51	127 37	27 23
5	67 17	167 1	37 59	5	88 9	133 43	21 17
6	79 48	163 46	41 14	5 9	90 0	134 49	20 11
6 51	90 0	159 49	45 11				
Дева				Рыбы			
0	18 42	111 0	—	0	42 2	69 0	—
1	23 18	145 18	76 42	1	44 26	87 32	50 28
2	33 30	162 25	59 35	2	50 58	102 38	35 22
3	45 36	169 34	52 26	3	60 19	113 33	24 27
4	58 21	172 10	49 50	4	71 20	120 56	17 4
5	71 15	172 28	49 32	5	83 19	125 54	12 6
6	84 7	171 5	50 55	5 32	90 0	127 55	10 5
6 28	90 0	169 55	52 5				
Весы				Овен			
0	30 22	113 51	—	0	30 22	66 9	—
1	33 35	137 52	90 10	1	33 35	89 50	42 28
2	41 39	154 19	73 23	2	41 39	106 37	25 41
3	52 25	164 10	63 32	3	52 25	116 28	15 50
4	64 28	169 47	57 55	4	64 28	122 5	10 13
5	77 6	172 21	55 21	5	77 6	124 39	7 39
6	90 0	173 29	54 13	6	90 0	125 47	6 31
Скорпион				Телец			
0	42 2	111 0	—	0	18 42	69 0	—
1	44 26	129 32	92 28	1	23 18	103 18	34 42
2	50 58	144 38	77 22	2	33 30	120 25	17 35
3	60 19	155 33	66 27	3	45 36	127 34	10 26
4	71 20	162 56	59 4	4	58 21	130 10	7 50
5	83 19	167 54	54 6	5	71 15	130 28	7 32
5 32	90 0	169 55	52 5	6	84 7	129 5	8 55
				6 28	90 0	127 55	10 5
Стрелец				Близнецы			
0	50 52	102 30	—	0	9 52	77 30	—
1	52 53	118 39	86 21	1	16 45	128 13	26 47
2	58 27	132 51	72 9	2	28 44	141 22	13 38
3	66 44	144 1	60 59	3	41 31	144 26	10 34
4	76 51	152 37	52 23	4	54 27	144 8	10 52
5	88 9	158 43	46 17	5	67 17	142 1	12 59
5 9	90 0	159 49	45 11	6	79 48	138 46	16 14
				6 51	90 0	134 49	20 11

Параллель через Родос. [Наибольший день] $14\frac{1}{2}^h$. [Высота полюса] $36;0^\circ$

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	12° 9'	90° 0'	—	0 ^h	59° 51'	90° 0'	—
1	17 47	133 14	46° 46'	1	61 30	103 45	76° 15'
2	28 22	147 45	32 15	2	66 12	116 10	63 50
3	40 27	151 46	28 14	3	73 22	126 36	53 24
4	52 36	151 52	28 8	4	82 24	134 56	45 4
5	64 36	149 54	30 6	4 45	90 0	140 1	39 59
6	76 16	146 25	33 35				
7	87 23	141 30	38 30				
7 15	90 0	140 1	39 59				
Лев				Водолей			
0	15 30	102 30	—	0	56 30	77 30	—
1	20 20	139 32	65 28	1	58 14	91 39	63 31
2	30 28	155 19	49 41	2	63 13	104 23	50 37
3	42 6	160 37	44 23	3	70 41	114 47	40 13
4	54 12	162 11	42 49	4	80 2	122 47	32 13
5	66 17	161 5	43 55	4 56	90 0	128 36	26 24
6	78 7	158 10	46 50				
7	89 27	153 39	51 21				
7 4	90 0	153 36	51 24				
Дева				Рыбы			
0	24 20	111 0	—	0	47 40	69 0	—
1	27 51	137 38	84 22	1	49 42	84 50	53 10
2	36 24	153 59	68 1	2	55 26	98 20	39 40
3	47 14	162 10	59 50	3	63 48	108 34	29 26
4	59 0	165 40	56 20	4	73 55	115 51	22 9
5	71 5	166 34	55 26	5	85 5	120 28	17 32
6	83 9	165 30	56 30	5 25	90 0	122 2	15 53
6 35	90 0	164 7	57 53				
Весы				Овен			
0	36 0	113 51	—	0	36 0	66 9	—
1	38 37	133 23	94 19	1	38 37	85 41	46 37
2	45 31	148 23	79 19	2	45 31	100 47	31 37
3	55 6	158 9	69 33	3	55 6	110 27	21 51
4	66 9	163 58	63 44	4	66 9	116 16	16 2
5	77 56	166 36	61 6	5	77 56	118 54	13 24
6	90 0	167 51	59 51	6	90 0	120 9	12 9
Скорпион				Телец			
0	47 40	111 0	—	0	24 20	69 0	—
1	49 42	126 50	95 10	1	27 51	95 38	42 22
2	55 26	140 20	81 40	2	36 24	111 59	26 1
3	63 48	150 34	71 26	3	47 14	120 10	17 50
4	73 55	157 51	64 9	4	59 0	123 40	14 20
5	85 5	162 28	59 32	5	71 5	124 34	13 26
5 25	90 0	164 7	57 53	6	83 9	123 30	14 30
				6 35	90 0	122 7	15 53
Стрелец				Близнецы			
0	56 30	102 30	—	0	15 30	77 30	—
1	58 14	116 39	88 21	1	20 20	114 32	40 28
2	63 13	129 23	75 37	2	30 28	130 19	24 41
3	70 41	139 47	65 13	3	42 6	135 37	19 23
4	80 2	147 47	57 13	4	54 12	137 11	17 49
4 56	90 0	153 36	51 24	5	66 17	136 5	18 55
				6	78 7	133 10	21 50
				7	89 27	128 39	26 21
				7 4	90 0	128 36	26 24

Параллель через Геллеспонт. [Наибольший день] 15^h. [Высота полюса] 40;5°

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	17° 5'	90° 0'	—	0 ^h	64° 47'	90° 0'	—
1	21 18	122 32	57° 28'	1	66 15	102 27	77° 33'
2	30 17	138 29	41 31	2	70 30	113 35	66 25
3	41 37	144 18	35 42	3	77 4	122 55	57 5
4	52 25	145 38	34 22	4	85 18	130 58	49 2
5	63 47	144 28	35 32	4 30	90 0	134 16	45 44
6	74 48	141 30	38 30				
7	85 9	137 5	42 55				
7 30	90 0	134 16	45 44				
Лев				Водолей			
0	20 26	102 30	—	0	61 26	77 30	—
1	24 5	131 6	73 54	1	63 0	90 5	64 55
2	32 37	147 0	58 0	2	67 24	101 29	53 31
3	43 8	153 50	51 10	3	74 13	111 10	43 50
4	54 19	156 5	48 55	4	82 48	118 45	36 15
5	65 36	155 8	49 52	4 44	90 0	123 6	31 54
6	76 46	153 24	51 36				
7	87 24	149 6	55 54				
7 16	90 0	148 6	56 54				
Дева				Рыбы			
0	29 16	111 0	—	0	52 36	69 0	—
1	32 5	132 30	89 30	1	54 23	82 46	55 14
2	39 22	147 30	74 30	2	59 25	94 55	43 5
3	49 3	156 0	66 0	3	66 58	104 24	33 36
4	59 50	160 7	61 53	4	76 15	111 10	26 50
5	71 5	161 24	60 36	5	86 38	115 45	22 15
6	82 22	160 40	61 20	5 18	90 0	116 59	21 1
6 42	90 0	158 59	63 1				
Весы				Овен			
0	40 56	113 51	—	0	40 56	66 9	—
1	43 8	129 57	97 45	1	43 8	82 15	50 3
2	49 7	143 38	84 4	2	49 7	95 56	36 22
3	57 42	153 8	74 34	3	57 42	105 26	26 52
4	67 50	158 47	68 55	4	67 50	111 5	21 13
5	78 45	161 59	65 43	5	78 45	114 17	18 1
6	90 0	162 55	64 47	6	90 0	115 13	17 5
Скорпион				Телец			
0	52 36	111 0	—	0	29 16	69 0	—
1	54 23	124 46	97 14	1	32 5	90 30	47 30
2	59 25	136 55	85 5	2	39 22	105 30	32 30
3	66 58	146 24	75 36	3	49 3	114 0	24 0
4	76 15	153 10	68 50	4	59 50	118 7	19 53
5	86 38	157 45	64 15	5	71 5	119 24	18 36
5 18	90 0	158 59	63 1	6	82 22	118 40	19 20
				6 42	90 0	116 59	21 1
Стрелец				Близнецы			
0	61 26	102 30	—	0	20 26	77 30	—
1	63 0	115 5	89 55	1	24 5	106 6	48 54
2	67 24	126 29	78 31	2	32 37	122 0	33 0
3	74 13	136 10	68 50	3	43 8	128 50	26 10
4	82 48	143 45	61 15	4	54 19	131 5	23 55
4 44	90 0	148 6	56 54	5	65 36	130 8	24 52
				6	76 46	128 24	26 36
				7	87 24	124 6	30 54
				7 16	90 0	123 6	31 54

Параллель через Средний Понт. [Наибольший день] $15\frac{1}{2}^h$. [Высота полюса] $45;1^\circ$

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	21° 10'	90° 0'	—	0 ^h	68° 52'	90° 0'	—
1	24 32	116 5	63° 55'	1	70 14	101 11	78° 49'
2	32 12	131 30	48 30	2	74 5	111 30	68 30
3	42 1	138 17	41 43	3	80 6	120 29	59 31
4	52 29	140 31	39 29	4	87 42	128 13	51 47
5	63 4	140 2	39 58	4 15	90 0	129 21	50 39
6	73 24	137 32	42 28				
7	83 17	133 26	46 34				
7 45	90 0	129 21	50 39				
Лев				Водолей			
0	24 31	102 30	—	0	65 31	77 30	—
1	27 29	124 49	80 11	1	66 55	88 50	66 10
2	34 48	140 47	64 13	2	70 58	99 21	55 39
3	44 20	148 5	56 55	3	77 14	108 19	46 41
4	54 37	151 5	53 55	4	85 10	115 20	39 40
5	65 15	151 7	53 53	4 32	90 0	118 25	36 35
6	75 39	149 20	55 40				
7	85 39	145 39	59 21				
7 28	90 0	143 25	61 35				
Дева				Рыбы			
0	33 31	111 0	—	0	56 41	69 0	—
1	35 43	129 15	92 45	1	58 19	81 31	56 29
2	42 4	142 50	79 10	2	62 49	92 16	45 44
3	50 46	151 9	70 51	3	69 42	101 12	36 48
4	60 44	155 51	66 29	4	78 16	107 31	30 29
5	71 12	157 3	64 57	5	87 56	112 6	25 54
6	81 46	156 31	65 29	5 12	90 0	112 43	25 17
6 48	90 0	154 43	67 17				
Весы				Овен			
0	45 1	113 51	—	0	45 1	66 9	—
1	46 55	128 19	99 23	1	46 55	80 37	51 41
2	52 17	140 26	87 16	2	52 17	92 44	39 34
3	60 1	149 4	78 38	3	60 1	101 22	30 56
4	69 19	154 48	72 54	4	69 19	107 6	25 12
5	79 28	157 55	69 47	5	79 28	110 13	22 5
6	90 0	158 50	68 62	6	90 0	111 8	21 10
Скорпион				Телец			
0	56 41	111 0	—	0	33 21	69 0	—
1	58 19	123 31	98 29	1	35 43	87 15	50 45
2	62 49	134 16	87 44	2	42 4	100 50	37 10
3	69 42	143 12	78 48	3	50 46	109 9	28 51
4	78 16	149 31	72 29	4	60 44	113 31	24 29
5	87 56	154 6	67 54	5	71 12	115 3	22 57
5 12	90 0	154 43	67 17	6	81 46	114 31	23 29
				6 48	90 0	112 43	25 17
Стрелец				Близнецы			
0	65 31	102 30	—	0	24 31	77 30	—
1	66 55	113 50	91 10	1	27 29	99 49	55 11
2	70 58	124 21	80 39	2	34 48	115 47	39 13
3	77 14	133 19	71 41	3	44 20	123 5	31 55
4	85 10	140 20	64 40	4	54 37	126 5	28 55
4 32	90 0	143 25	61 35	5	65 15	126 7	28 53
				6	75 39	124 20	30 40
				7	85 39	120 39	34 21
				7 28	90 0	118 25	36 35

Параллель через Борисфен. [Наибольший день] 16^h. [Высота полюса] 48;32°

Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные	Часы	Дуги	Углы восточные	Углы западные
Рак				Козерог			
0 ^h	24° 41'	90° 0'	—	0 ^h	72° 23'	90° 0'	—
1	27 30	111 44	68° 16'	1	73 38	100 15	79° 45'
2	34 9	126 7	53 53	2	77 10	109 47	70 13
3	43 2	133 18	46 42	3	82 44	118 3	61 57
4	52 44	136 6	43 54	4	90 0	124 58	55 2
5	62 40	136 4	43 56				
6	72 24	134 0	46 0				
7	81 38	130 16	49 44				
8	90 0	124 58	55 2				
Лев				Водолей			
0	28 2	102 30	—	0	69 2	77 30	—
1	30 32	122 9	82 51	1	70 20	87 49	67 11
2	36 55	135 54	69 6	2	74 2	97 31	57 29
3	45 30	143 28	61 32	3	79 48	105 49	49 11
4	55 3	146 50	58 10	4	87 14	112 25	42 33
5	64 59	147 19	57 41	4 20	90 0	114 20	40 40
6	74 47	145 46	59 14				
7	84 10	142 27	62 33				
7 40	90 0	139 20	65 40				
Дева				Рыбы			
0	36 52	111 0	—	0	60 12	69 0	—
1	38 56	126 45	95 15	1	61 38	80 5	57 55
2	44 31	139 7	82 53	2	65 36	90 16	47 44
3	52 25	147 9	74 51	3	72 5	98 26	39 34
4	61 35	151 36	70 24	4	80 3	104 28	33 32
5	71 22	153 23	68 37	5	89 3	109 2	28 58
6	81 17	152 58	69 2	5 6	90 0	109 22	28 38
6 54	90 0	151 22	70 38				
Весы				Овен			
0	48 32	113 51	—	0	48 32	66 9	—
1	50 21	126 30	101 12	1	50 21	78 48	53 30
2	54 59	137 40	90 2	2	54 59	89 58	42 20
3	62 5	145 46	81 56	3	62 5	98 4	34 14
4	70 41	151 18	76 24	4	70 41	103 36	28 42
5	80 8	154 23	73 19	5	80 8	106 41	25 37
6	90 0	155 19	72 23	6	90 0	107 37	24 41
Скорпион				Телец			
0	60 12	111 0	—	0	36 52	69 0	—
1	61 38	122 5	99 55	1	38 56	84 45	53 15
2	65 36	132 16	89 44	2	44 31	97 7	40 53
3	72 5	140 26	81 34	3	52 25	105 9	32 51
4	80 3	146 28	75 32	4	61 35	109 36	28 24
5	89 3	151 2	70 58	5	71 22	111 23	26 37
5 6	90 0	151 22	70 38	6	81 17	110 58	27 2
				6 54	90 0	109 22	28 38
Стрелец				Близнецы			
0	69 2	102 30	—	0	28 2	77 30	—
1	70 20	112 49	92 11	1	30 32	97 9	57 51
2	74 2	122 31	82 29	2	36 55	110 54	44 6
3	79 48	130 49	74 11	3	45 30	118 28	36 32
4	87 14	137 25	67 35	4	55 3	121 50	33 10
4 20	90 0	139 20	65 40	5	64 59	122 19	32 41
				6	74 47	120 46	34 14
				7	84 10	117 27	37 33
				7 40	90 0	114 20	40 40

Книга III

Дав в предыдущем изложении совершенно необходимые математические сведения о небе и Земле, затем о наклоне проведенного через середины зодиакальных созвездий круга движения Солнца и о связанных с ним частных явлениях как на прямой сфере, так и на наклонной для каждого климата, мы сочли, что после этого следует изложить теории, касающиеся Солнца и Луны, а именно исследовать все, происходящее при их движениях, так как без предварительного исследования всего вышеизложенного вообще никакое явление, относящееся к светилам, не может быть изучено. В дальнейшем мы должны прежде всего получить теорию движения Солнца, без которой в свою очередь невозможно полностью охватить все, касающееся Луны.

1. О продолжительности годового промежутка времени

Первой задачей из всех, относящихся к Солнцу, будет определение продолжительности годового промежутка времени. Каковы были разногласия и сомнения относительно этого у древних, мы можем видеть из их сочинений, и в особенности из трудов Гиппарха, бывшего одновременно трудолюбивым и стремящимся к истине мужем. И этого мужа в сомнения по данному поводу больше всего привело то, что по его исследованиям время возвращения Солнца к точкам равноденствий и солнцеворотов оказалось меньшим 365 дней с четвертью. Время же, определяемое при помощи наблюдений неподвижных звезд, оказалось больше указанного. Отсюда он заключает, что сфера неподвижных звезд и сама тоже совершает некоторое долговременное движение, подобное движению планетных сфер, в направлении, противоположном первому вращению относительно круга, проведенного через полюсы равноденственного круга и наклонного к нему. О том, что это движение действительно имеет место, а также как оно совершается, мы поговорим в разделе, касающемся неподвижных звезд¹. Обо всем, касающемся последних, совершенно невозможно рассуждать без предварительного знания о движениях Солнца и Луны.

В настоящем же исследовании мы полагаем, что для определения продолжительности солнечного года нужно только наблюдать возвращение самого Солнца к тому же самому положению на описываемом им наклонном круге и определять годовой промежуток времени как такой, в течение которого совершается последовательный переход от некоторой неподвижной точки указанного круга к ней же самой. При этом единственными подходящими начальными точками для такого возвращения мы считаем лишь точки вышеупомянутого круга, определяемые равноденствиями и солнцеворотами. Действительно, при математическом подходе к этой теории мы не можем найти более подходящего возвращения, чем то, которое как

в пространстве, так и во времени возвращает Солнце к одному и тому же положению относительно [местного] горизонта или полуденного круга, или относительно длительностей суток². На круге, проходящем через середины зодиакальных созвездий, не существует никаких других подходящих начальных точек, кроме естественно определяемых точками равноденствий и солнцеворотов. И если рассмотреть этот вопрос с физической точки зрения, то мы не найдем более подходящего [периодического] возвращения [связанного с движением Солнца по наклонному кругу], чем возвращение к одинаковому состоянию воздуха или к тому же самому времени солнечного года. И не существует никаких других начальных точек, кроме только тех, при помощи которых различаются времена года. Определять же год по наблюдаемому возвращению к тем же неподвижным звездам представляется нам нелепым и по другим причинам, главным же образом по той, что и сама сфера неподвижных звезд совершает на небе некоторое правильное движение в направлении последовательности знаков зодиака. При таком положении ничто не могло бы нам препятствовать, если бы мы захотели определить годичный промежуток времени как такой, в который Солнце возвращается, например, к Сатурну или к какой-нибудь другой планете. Таким образом, мы получили бы много различных годовых промежутков. На основании этих соображений мы полагаем наиболее подходящим считать солнечным годом тот, который определяется при помощи наблюдений возможно большего количества возвращений от какого-нибудь солнцеворота или равноденствия к нему же самому³. 194

Поскольку же Гиппарха как-то смущало некоторое неравенство, которое можно было предполагать при использовании последовательно производимых наблюдений возвращения к одной и той же точке, мы постараемся кратко показать, что это не может вызвать никаких недоумений. Доказательство того, что эти промежутки времени не являются неодинаковыми, мы получили на основе последовательных наблюдений солнцеворотов и равноденствий, произведенных нами при помощи инструментов. Действительно, мы нашли, что они ничем существенным не отличаются от упомянутой прибавки в четверть дня; лишь иногда замечались отличия, почти не превосходящие тех ошибок, которые можно ожидать от устройства и положения инструментов. И из самих вычислений Гиппарха мы также убедились в том, что относящиеся к неравенству погрешности принадлежат скорее наблюдениям. Действительно, изложив в сочинении «О смещении солнцеворотных и равноденственных точек» представлявшие ему наиболее точными последовательные наблюдения зимнего и летнего солнцеворотов, он и сам соглашается, что в них не содержится настолько больших различий, чтобы на этом основании можно было признать некоторое неравенство года. Заканчивает же он так: «Из этих наблюдений ясно, что вообще различия в продолжительности разных годов невелики. Но что касается солнцеворотов, то я не теряю надежды, что мы с Архимедом и в наблюдениях, и в вычислениях не допустили ошибок, превышающих четверть дня⁴. Вообще же неравенства годовых промежутков могут быть точно определены при помощи наблюдений на установленном в Александрии медном круге в так называемой квадратной стое. На этом круге день равноденствия видимо отмечается тем, что его вогнутая поверхность начинает освещаться с обеих сторон» [рис. 3-А]⁵. 195

После этого он приводит сначала наблюдаемые им с самой большой точностью времена осенних равноденствий. В 17 году третьего периода

Калиппа, 30-го Месоре при заходе Солнца⁶, затем через 3 года, в 20 году, в первый день эпагомен утром⁷, когда оно должно было быть в полдень, так что получается разница в $\frac{1}{4}$ часть дня. Через 1 год, в 21 году, [равноденствие наблюдалось] в 6 часов⁸, что согласовалось с предыдущим наблюдением. Через 11 лет, в 32 году, оно было в полночь с 3-го на 4-й день эпагомен⁹, а должно было быть утром, так что опять получилась разница в $\frac{1}{4}$ дня. Через 1 год, в 33 году, в 4-й день эпагомен оно было утром¹⁰, что также было согласно с предыдущим наблюдением. Через 3 года, в 36 году, в 4-й день эпагомен оно было вечером¹¹, а должно было быть в полночь, так что опять получается разница в $\frac{1}{4}$ [дня].

196

Далее он приводит также точно наблюдаемые им весенние равноденствия. В 32 году третьего периода Калиппа 27-го Мехира утром¹². И круг, говорит он, который в Александрии, был одинаково освещен с обеих сторон около 5-го часа. Таким образом, уже различные наблюдения одного и того же равноденствия дали разницу приблизительно в 5 часов¹³. А следующие, говорит он, вплоть до 37 года согласовались с избытком в $\frac{1}{4}$ дня¹⁴. А через 11 лет [после наблюдения в 32 году], в 43 году, 29-го Мехира после полуночи, предшествующей 30-му, он говорит, было весеннее равноденствие¹⁵, которое соответствовало наблюдению в 32 году. Как он утверждает, оно опять согласовалось с наблюдениями последних лет вплоть до 50 года. Тогда оно произошло в первый день Фаменота около захода Солнца приблизительно на $1\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ день позже, чем в 43 году, что согласуется с 7 промежуточными годами¹⁶.

197

Таким образом, в этих наблюдениях не обнаружилось никаких существенных различий, хотя вполне возможно, что не только в наблюдениях солнцеворотов, но и в наблюдениях равноденствий могла получиться некоторая ошибка, доходящая до $\frac{1}{4}$ дня. Действительно, если установка и градуировка инструментов отличаются от точных только на $\frac{1}{3600}$ часть круга, проходящего через полюсы равноденственного, то это отклонение Солнца по склонению около равноденственных точек приводит к перемещению на наклонном круге по долготе на $\frac{1}{4}$ градуса, так что разница может доходить приблизительно до $\frac{1}{4}$ дня¹⁷.

Далее эта ошибка была бы гораздо больше, если пользоваться не инструментами, установленными для данного единичного наблюдения и исправляемыми на основании самих наблюдений, но просто прикрепленными однажды к поддерживающим поверхностям, чтобы в течение долгого времени сохранять одно и то же положение. С течением времени у них наблюдаются некоторые незаметные перемещения, как у нас с медными кольцами, установленными на палестре. Они кажутся сохраняющими положение в плоскости равноденственного круга. Но согласно нашим наблюдениям у них

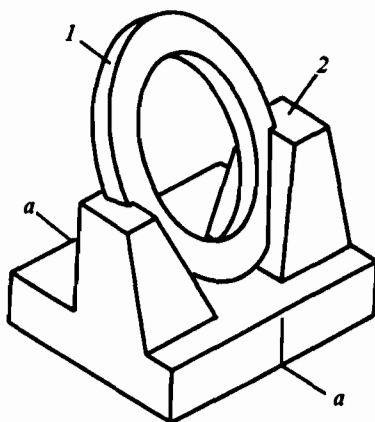


Рис. 3-А

(особенно у большего и более древнего) замечается настолько большое изменение положения, что иногда вогнутые их поверхности одновременно освещаются два раза во время одного и того же равноденствия¹⁸.

Но из всего этого и сам Гиппарх не заключает, что имеет место что-нибудь достоверное, позволяющее подозревать неравенство годовых промежутков времени. Однако, производя вычисления на основании некоторых затмений Луны, он говорит, что нашел неравенство годовых промежутков времени. По сравнению со средним оно составляет не более $1/2 1/4$ дня. Это, конечно, уже заслуживало бы некоторого внимания, если бы дело обстояло действительно так и не было опровергнуто тем, из чего он это получил. Действительно, производя вычисления при помощи некоторых лунных затмений, наблюдавшихся вблизи некоторых неподвижных звезд, он находит, на сколько для каждого затмения звезда, называемая Колосом¹⁹, предшествовала точке осеннего равноденствия. На основании этих вычислений он, как ему представлялось, нашел, что в его время расстояние между ними равнялось в некоторых случаях самое большее $6 1/2$ градусам, а в других самое меньшее $5 1/4$ градусам. Отсюда он заключает, что, поскольку Колос не мог в такое короткое время продвинуться на такое большое расстояние, вероятно, Солнце, по которому Гиппарх определял положения неподвижных звезд, не совершает свои возвращения в одинаковое время. Но он не заметил, что вычисления никоим образом нельзя было вести, если не предположить известным место Солнца во время затмения, тогда как сам он при вычислении каждого затмения брал в основу точно им наблюденные в это время положения точек равноденствий и солнцеворотов. Этим он ясно показывает, что при сравнении продолжительностей различных годов не было никакой разницы, превышающей избыток в $1/4$ дня.

Действительно, например, из наблюдения затмения в 32 году третьего периода Калиппа он, как он утверждает, установил, что Колос предшествовал точке осеннего равноденствия на $6 1/2$ градусов, на основании же наблюдения затмения в 43 году того же периода он предшествовал на $5 1/4$ градусов. Как и в других подобных случаях в основу упомянутых вычислений он берет точные наблюдения весенних равноденствий этих лет, чтобы с их помощью определить положения Солнца для затмений, имевших место в соответствующем промежутке времени, а по положениям Солнца найти положения Луны, по лунным же — положения звезд. Он говорит, что в 32 году равноденствие имело место утром 27-го Мехира, а в 43 году — 29-го Мехира, после полуночи перед 30-м, т.е. почти на $2 1/2 1/4$ дня позже по сравнению с равноденствием 32 года, что дает для каждого из 11 промежуточных годов прибавление только в $1/4$ дня [по сравнению с величиной в 365 дней]. Таким образом, если Солнце свои возвращения по отношению к упомянутым равноденствиям совершало во время, не большее и не меньшее упомянутого избытка в $1/4$ дня, и Колос не мог в такое небольшое количество годов продвинуться на $1 1/4$ градус, то разве не будет слепым основанные на таких начальных данных вычисления использовать для опорочивания самих же оснований, на которых они базируются? Причину же невозможности такого движения Колоса приписывать не чему иному (хотя эта ошибка могла получиться от многих других причин), как только положенным в основу равноденствиям, которые будто бы в одно и то же время наблюдали и хорошо и плохо? Действительно, пожалуй, гораздо более возможным кажется, что или для этих затмений были несколько

неточно определены расстояния Луны до ближайших звезд, или в вычислениях был неверно или неточно взят параллакс Луны для определения ее видимых положений, или неправильно определено движение Солнца от равноденствий до момента середины затмения²⁰.

Но я полагаю, что и сам Гиппарх признал, что во всем этом нет ничего достоверного для приписывания Солнцу какого-нибудь второго неравенства, и только ради любви к истине не хотел умолчать о некоторых обстоятельствах, могущих внушить какое-либо подозрение. Действительно, относительно Солнца и Луны он и сам пользовался гипотезами, допускающими для Солнца только одно, неизменное неравенство, которое восстанавливается в течение годового промежутка [времени] между равноденствиями или солнцеворотами. Если приписываемые Солнцу [годовые] периоды предположить одинаковыми по времени, то мы никогда не увидим, чтобы совершающиеся при затмениях явления чем-нибудь существенным отличались от вычисленных на основании рассматриваемой гипотезы. Однако если предположить, что [неравенство годовых периодов существует и что] мы не учли поправки на изменение продолжительности года, даже если они не превышали одного градуса, соответствующего приблизительно двум равноденственным часам, то разница была бы вполне ощутимой²¹.

Так вот, из всего этого и из наших последовательных наблюдений над движением Солнца при определении времени его возвращений мы не нашли никакого неравенства в продолжительности года, если, конечно, относить ее к одной и той же точке, а не иногда к точкам солнцеворотов и равноденствий, иногда к неподвижным звездам. Для определения возвращений мы не видим также никакого другого, более удобного способа, кроме перемещения Солнца к той же самой точке от какой-либо точки солнцеворота или равноденствия или вообще от какой-нибудь другой [фиксированной] точки круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий. Вообще мы считаем уместным объяснять явления при помощи наиболее простых предположений, если только наблюдения не противоречат существенно выдвинутой гипотезе²².

А то, что определяемая по возвращению к точкам солнцеворотов и равноденствий продолжительность года будет меньше 365 дней с добавлением четверти, стало для нас ясно и на основании доказательств Гиппарха. Насколько же она будет меньше, мы не можем определить с полной надежностью, так как добавление в одну четверть дня останется в течение многих лет неизменным для наших чувств вследствие незначительности разницы.

Поэтому, только сравнивая наблюдения, разделенные сравнительно большим промежутком времени, мы можем получить добавочное количество дней, которое нужно будет распределить между всеми заключающимися в промежутке [между наблюдениями] годами и считать эту добавку одинаковой как для большого, так и для малого количества годов. Период такого возвращения определится тем точнее, чем более длинный промежуток времени окажется между сравниваемыми наблюдениями. И это имеет место не только для рассматриваемого, но и вообще для всякого периодического возвращения.

Действительно, погрешность, получающаяся вследствие ненадежности самих наблюдений, даже если они и проводились старательно, будет небольшой и приблизительно постоянной как для долговременных, так и

для кратковременных наблюдений. Будучи распределенной на небольшое количество годов, она дает большую годовичную погрешность. Если же мы сравниваем наблюдения за большой промежуток времени, то, распределив ее на большое количество годов, получаем меньшую погрешность²³.

Поэтому следует считать вполне достаточным, если мы попытаемся 203 подойти к определению периодичности настолько близко, насколько позволяет это сделать величина промежутка времени между нами и теми наблюдениями, которые одновременно и достаточно древние, и достаточно точные, и мы не будем отказываться от необходимой для дела старательной проверки. Что же касается утверждений, относящихся к вечности или к промежутку времени, значительно большему, чем охватываемый этими наблюдениями, то мы предоставляем их другим людям, которые проведут их, руководствуясь любовью к науке и истине.

Теперь, что касается древности [наблюдений], то следовало бы сравнить данные наблюдений летнего солнцеворота, проведенных Метоном и Евктемоном, а также проведенных после них Аристархом с нашими²⁴. Однако вследствие того, что наблюдения солнцеворотов не являются достаточно точными и, кроме того, данные упомянутых лиц должны рассматриваться лишь как приблизительные (так, по-видимому, думал и Гиппарх), мы опустили их. Для предложенного сравнения мы взяли наблюдения равноденствий, а из них, ради их большей точности, — сделанные Гиппархом, а именно те, которые он считал наиболее надежными. Кроме того, мы взяли и данные наблюдений, проведенных нами самими при помощи описанных в начале этого сочинения самых надежных инструментов, предназначенных для этой цели.

На основании этих наблюдений мы установили, что по прошествии 300 204 годов солнцевороты и равноденствия стали происходить на день раньше, чем следовало бы, если считать год равным 365 дням с избытком в $\frac{1}{4}$ дня. Действительно, наблюдение осеннего равноденствия в 32 году третьего периода Калиппа Гиппарх считает наиболее точно выполненным и говорит, что, согласно вычислениям, оно произошло в 3-й день эпагомен в полночь перед 4-м днем²⁵. Этот год — 178 после смерти Александра. Через 285 лет, в третий год Антонина, 463 после смерти Александра, мы снова точнейшим образом наблюдали осеннее равноденствие, произошедшее 9 Атира приблизительно через один час после восхода Солнца²⁶. Следовательно, в течение 285 египетских годов (по 365 дней) возвращение равноденствия потребовало 70 целых дней с $\frac{1}{4}$ и примерно с $\frac{1}{20}$ вместо требуемых $71\frac{1}{4}$ дня, соответствующих прибавке в $\frac{1}{4}$ дня для указанного промежутка годов. Таким образом, по сравнению с требуемой прибавкой в $\frac{1}{4}$ дня возвращение равноденствия произошло раньше приблизительно на один день без $\frac{1}{20}$ части.

Далее, Гиппарх говорит также, что в упомянутом 32 году третьего периода Калиппа весеннее равноденствие, которое наблюдалось самым 205 точнейшим образом, произошло 27-го Мехира утром²⁷. Этот год был 178 после смерти Александра. Мы же точно так же через 285 годов, в 463 год после смерти Александра, нашли, что весеннее равноденствие произошло 7-го Пахона, приблизительно через 1 час после полудня²⁸, так что соответствующий период охватывает такое же число дней: $70\frac{1}{4}$ и еще примерно $\frac{1}{20}$ вместо $71\frac{1}{4}$ дня, обусловленного прибавкой в $\frac{1}{4}$ дня за 285

годов. Следовательно, и в этом случае возвращение весеннего равноденствия произошло ранее обусловленного прибавкой в $\frac{1}{4}$ дня на 1 день без $\frac{1}{20}$.

Таким образом, поскольку 300 годов имеют к 285 такое же отношение, как 1 день к 1 дню без $\frac{1}{20}$, получится, что в течение приблизительно 300 годов возвращение Солнца к равноденственным точкам совершается на 1 день ранее, чем требуется прибавкой в $\frac{1}{4}$ дня. И если мы из-за древности сравним данные наших наблюдений, вычисленные с наибольшей возможной точностью, с данными наблюдений летнего солнцеворота, полученными Метонем и Евктемоном (записанными довольно поверхностно), то мы получим то же самое.

206 Действительно, запись того наблюдения была произведена в Афинах в архонтат Апсевда утром 21-го числа египетского месяца Фаменота²⁹. Мы же в упомянутом 463 году после смерти Александра с достаточной точностью вычислили, что солнцеворот имел место 11-го Месоре приблизительно через 2 часа после полуночи на 12-е число³⁰. От записанного при Апсевде наблюдения летнего солнцеворота до наблюденного Аристархом в 50 год первого периода Калиппа³¹ прошло, как говорит Гиппарх, 152 года. От упомянутого же 50 года, который был 44 после смерти Александра, до 463 года нашего наблюдения прошло 419 лет. Следовательно, за промежуток [времени] в 571 год, если летний солнцеворот, который наблюдал Евктемон, имел место в начале 21-го дня Фаменота, содержалось, кроме целых египетских годов, приблизительно $140\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ дней вместо $142\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, которые должны были бы прибавиться за 571 год, если считать добавку в $\frac{1}{4}$ дня. Таким образом, упомянутое возвращение произошло ранее вычисленного по избытку в $\frac{1}{4}$ дня на 2 дня без $\frac{1}{12}$. Следовательно, и так оказалось, что в течение целых 600 годов продолжительность годового промежутка времени на целых 2 дня опережает тот, который получился бы при счете с добавкой в $\frac{1}{4}$ дня. То же самое мы получили и из многих других наблюдений.

207 Мы видим также, что и Гиппарх неоднократно соглашался с тем же. Действительно, в книге «О продолжительности года» Гиппарх, сравнивая наблюденный Аристархом летний солнцеворот в конце 50 года первого периода Калиппа с точно наблюденным им самим в конце 43 года третьего периода Калиппа³², говорит так: «Итак, ясно, что по прошествии 145 лет солнцеворот произошел скорее вычисленного по прибавке в $\frac{1}{4}$ дня на половину промежутка времени, равного вместе взятым дню и ночи». Затем в книге «О вставных месяцах и днях» он, сказав сначала, что согласно Метону и Евктемону год содержит $365\frac{1}{4}$ дней и $\frac{1}{76}$ дня, а согласно Калиппу только $365\frac{1}{4}$ дней, дословно поясняет так: «Что касается целых месяцев, содержащихся в 19 годах, то мы нашли то же число, как и они; но год будет меньше [величины 365 и] $\frac{1}{4}$ дня приблизительно на $\frac{1}{300}$ часть дня, так что в течение 300 лет у года Метона будет недоставать 5 дней, у года Калиппа же — 1 дня». Затем, подводя итог своим рассуждениям и почти дословно излагая собственные сочинения³³, он говорит так: «Я составил одну книгу о продолжительности года, в которой показываю, что солнечный год представляет собой то время, в течение которого Солнце возвращается от одного солнцеворота к тому же самому солнцевороту или от одного равноденствия к тому же самому равноденствию. Он содержит 365 дней и приблизительно на $\frac{1}{300}$ часть меньше $\frac{1}{4}$ промежутка времени, охватывающего

день и ночь. И не нужно, как полагают математики, прибавлять к упомянутому количеству [365] дней целую четверть»³⁴.

Теперь, как я полагаю, вполне выяснилось, что все данные проведенных до сих пор наблюдений относительно величины годового промежутка времени вполне совпадают с вышеупомянутой величиной периода возвращения Солнца к тем же самым точкам равноденствия или солнцеворота. В этом нас убеждает полное согласие настоящих наблюдений с более ранними. Если же так, то, распределив один день на 300 годов, получим, что на каждый год придется 12 вторых шестидесятых дня. Если вычесть их из 365;15 дней, получающихся согласно прибавке в четверть дня, то для искомой величины года будем иметь 365;14,48 дней. Вот каково число дней, которое мы должны приблизительно принять как наиболее соответствующее современным наблюдениям³⁵.

Для определения положений Солнца и других [светил] в произвольный момент времени вполне естественно и удобно составить подробные таблицы. Мы полагаем, что для математика основная задача в конечном счете — показать, что все небесные явления можно описать с помощью равномерных и круговых движений. В соответствии с этим мы считаем наиболее удобным так составить таблицы, чтобы элементарные равномерные движения были отделены от видимой неравномерности, которая получается вследствие наличия гипотетических круговых движений. Такой способ составления таблиц покажет, каким образом наблюдаемые периодические движения светил получаются из соединения вместе обоих указанных [движений]³⁶.

Чтобы дать более удобное для практики изложение и иметь под рукой все нужное для самих доказательств, представим в дальнейшем отдельные равномерные движения Солнца следующим образом.

Если мы показали, что для одного возвращения требуется 365;14,48 дней, то, разделив на это число 360 градусов одного кругового оборота, мы получим среднее суточное перемещение Солнца, равное приблизительно 0;59,8,17,13,12,31 градусов. При делении упомянутых величин вполне достаточно будет ограничиться указанным [шестиразрядным] порядком шестидесятых долей.

Взяв 24-ю часть суточного перемещения, получим часовое, равное 0;2,27,50,43,3,1 градусов. Точно так же, умножив суточное движение на 30 дней, соответствующих одному месяцу, получим среднее месячное движение Солнца, равное 29;34,8,36,36,15,30 градусам. Для 365 дней одного египетского года получим среднее годовое движение 359;45,24,45,21,8,35 градусов. Затем, умножив годовое движение на 18 годов (тогда при написании таблиц мы получим большую соразмерность) и отбросив полные круговые обороты, мы получим приращения за каждые 18 годов, равные 355;37,25,36,20,34,30 градусам³⁷.

Мы составили три таблицы среднего движения Солнца, каждую в 45 строк и 2 столбца. Первая таблица содержит среднее движение по восемнадцатилетиям, вторая — сначала годовые, а потом часовые; третья — сначала месячные, а под ними суточные. Численные величины промежутков времени помещаются в первых столбцах, а приращения в градусах, получающиеся соответствующим суммированием, — во вторых столбцах. Таблицы эти таковы³⁸.

210-215

2. Таблицы средних движений Солнца

Расстояние [по аномалии] от апогея в начальную эпоху: 265;15°.

Средняя долгота в начальную эпоху: 0;45° Рыб

18-летние периоды	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
18	355	37	25	36	20	34	30
36	351	14	51	12	41	9	0
54	346	52	16	49	1	43	30
72	342	29	42	25	22	18	0
90	338	7	8	1	42	52	30
108	333	44	33	38	3	27	0
126	329	21	59	14	24	1	30
144	324	59	24	50	44	36	0
162	320	36	50	27	5	10	30
180	316	14	16	3	25	45	0
198	311	51	41	39	46	19	30
216	307	29	7	16	6	54	0
234	303	6	32	52	27	28	30
252	298	43	58	28	48	3	0
270	294	21	24	5	8	37	30
288	289	58	49	41	29	12	0
306	285	36	15	17	49	46	30
324	281	13	40	54	10	21	0
342	276	51	6	30	30	55	30
360	272	28	32	6	51	30	0
378	268	5	57	43	12	4	30
396	263	43	23	19	32	39	0
414	259	20	48	55	53	13	30
432	254	58	14	32	13	48	0
450	250	35	40	8	34	22	30
468	246	13	5	44	54	57	0
486	241	50	31	21	15	31	30
504	237	27	56	57	36	6	0
522	233	5	22	33	56	40	30
540	228	42	48	10	17	15	0
558	224	20	13	46	37	49	30
576	219	57	39	22	58	24	0
594	215	35	4	59	18	58	30
612	211	12	30	35	39	33	0
630	206	49	56	12	0	7	30
648	202	27	21	48	20	42	0
666	198	4	47	24	41	16	30
684	193	42	13	1	1	51	0
702	189	19	38	37	22	25	30
720	184	57	4	13	43	0	0
738	180	34	29	50	3	34	30
756	176	11	55	26	24	9	0
774	171	49	21	2	44	43	30
792	167	26	46	39	5	18	0
810	163	4	12	15	25	52	30

Простые годы								Египет- ские месяцы							
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''		°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	359	45	24	45	21	8	35	30	29	34	8	36	36	15	30
2	359	30	49	30	42	17	10	60	59	8	17	13	12	31	0
3	359	16	14	16	3	25	45	90	88	42	25	49	48	46	30
4	359	1	39	1	24	34	20	120	118	16	34	26	25	2	0
5	358	47	3	46	45	42	55	150	147	50	43	3	1	17	30
6	358	32	28	32	6	51	30	180	177	24	51	39	37	33	0
7	358	17	53	17	28	0	5	210	206	59	0	16	13	48	30
8	358	3	18	2	49	8	40	240	236	33	8	52	50	4	0
9	357	48	42	48	10	17	15	270	266	7	17	29	26	19	30
10	357	34	7	33	31	25	50	300	295	41	26	6	2	35	0
11	357	19	32	18	52	34	25	330	325	15	34	42	38	50	30
12	357	4	57	4	13	43	0	360	354	49	43	19	15	6	0
13	356	50	21	49	34	51	35	Сутки							
14	356	35	46	34	56	0	10								
15	356	21	11	20	17	8	45								
16	356	6	36	5	38	17	20		1	0	59	8	17	13	31
17	355	52	0	50	59	25	55		2	1	58	16	34	26	25
18	355	37	25	36	20	34	30		3	2	57	24	51	39	37
Часы								4	3	56	33	8	52	50	4
								5	4	55	41	26	6	2	35
								6	5	54	49	43	19	15	6
	1	0	2	27	50	43	3	7	6	53	58	0	32	27	37
	2	0	4	55	41	46	6	8	7	53	6	17	45	40	8
	3	0	7	23	32	9	9	9	8	52	14	34	58	52	39
4	0	9	51	22	52	12	5	10	9	51	22	52	12	5	10
5	0	12	19	13	35	15	6	11	10	50	31	9	25	17	41
6	0	14	47	4	18	18	7	12	11	49	39	26	38	30	12
7	0	17	14	55	1	21	9	13	12	48	47	43	51	42	43
8	0	19	42	45	44	24	10	14	13	47	56	1	4	55	14
9	0	22	10	36	27	27	11	15	14	47	4	18	18	7	45
10	0	24	38	27	10	30	12	16	15	46	12	35	31	20	16
11	0	27	6	17	53	33	14	17	16	45	20	52	44	32	47
12	0	29	34	8	36	36	15	18	17	44	29	9	57	45	18
13	0	32	1	59	19	39	16	19	18	43	37	27	10	57	49
14	0	34	29	50	2	42	18	20	19	42	45	44	24	10	20
15	0	36	57	40	45	45	19	21	20	41	54	1	37	22	51
16	0	39	25	31	28	48	20	22	21	41	2	18	50	35	22
17	0	41	53	22	11	51	21	23	22	40	10	36	3	47	53
18	0	44	21	12	54	54	23	24	23	39	18	53	17	0	24
19	0	46	49	3	37	57	24	25	24	38	27	10	30	12	55
20	0	49	16	54	21	0	25	26	25	37	35	27	43	25	26
21	0	51	44	45	4	3	27	27	26	36	43	44	56	37	57
22	0	54	12	35	47	6	28	28	27	35	52	2	9	50	28
23	0	56	40	26	30	9	29	29	28	35	0	19	23	2	59
24	0	59	8	17	13	12	31	30	29	34	8	36	36	15	30

3. О гипотезах, касающихся равномерного кругового движения

216 Так как после этого следует показать видимую неравномерность движения Солнца, то вообще нужно предварительно иметь в виду, что и перемещения планет в направлении последовательности знаков зодиака на небе, и движение всего неба против этого направления являются равномерными и круговыми по своей природе. Иными словами, прямые, на которых воображают двигающимися светила или их круги, у всех светил в равные времена описывают равные углы при центрах каждого из круговращений. Кажущиеся же в этих движениях неравномерности получаются в зависимости от мест светил и расположения на сферах тех кругов, по которым эти движения совершаются. Существующая только в представлении беспорядочность явлений не прибавляет по самой природе ничего чуждого свойственной им вечности. Причины же кажущейся неравномерности можно объяснить главным образом с помощью двух первоначальных и простых гипотез.

Действительно, если их движение усматривается происходящим по окружности, имеющей один центр с центром мира и находящейся в одной плоскости с кругом, проходящим через середины зодиакальных созвездий, а наш глаз без большой погрешности можно считать находящимся в центре мира, то для объяснения неравномерности [их движения] следует допустить следующее. Либо они совершают равномерные движения не вокруг центра мира, либо, хотя и вокруг этого центра, но не просто по этим окружностям, а по перемещаемым ими другим окружностям, называемым эпициклами. Какую бы из этих гипотез мы ни приняли, окажется, что для наших глаз в одинаковые промежутки времени они будут проходить неодинаковые дуги по окружности, проходящей через середины зодиакальных созвездий и имеющей один центр с миром.

Действительно, если в гипотезе с эксцентром³⁹ мы вообразим эксцентрический круг $AB\Gamma\Delta$, по которому равномерно движется светило, имеющий центр E и диаметр AED , а в точке Z будет помещаться наш глаз [рис. 3.1], так что в точке апогея A светило будет дальше всего, а в точке перигея Δ ближе всего, то ясно, что, отложив равные дуги AB и $\Delta\Gamma$ и проведя соединительные прямые BE , BZ , GE и GZ , мы сразу же увидим, что светило, прошедшее в одинаковое время каждую из дуг AB и $\Delta\Gamma$, покажется нам прошедшим неравные дуги по описанной вокруг центра Z окружности. Действительно, при равенстве углов BEA и GED угол BZA будет меньше каждого из них, а угол $GZ\Delta$ — больше.

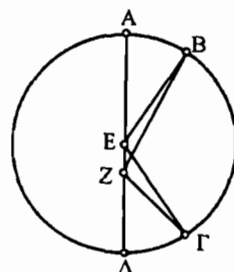


Рис. 3.1

218 Если же в гипотезе с эпициклом мы вообразим круг $AB\Gamma\Delta$ [рис. 3.2], концентрический с проходящим через середины зодиакальных созвездий и имеющий центр E и диаметр AEG ⁴⁰, и по этому кругу будет перемещаться эпицикл $ZH\Theta K$ (по которому движется само светило) имеющий центр в A , то и в этом случае будет ясно, что при равномерном прохождении круга $AB\Gamma\Delta$ эпициклом, например, от A к B , и таком же движении светила по эпициклу в положениях Z и Θ светило будет казаться нам как бы совпадающим с центром A эпицикла, в других же положениях — нет. Если, например, оно будет находиться в H , то оно покажется опередившим

равномерное движение на дугу АН, а если в К, то отставшим от него на дугу АК.

При упомянутой гипотезе с эксцентром наименьшее движение будет всегда получаться в апогее, а наибольшее — в перигее, так как угол AZB [см. рис. 3.1] будет всегда меньше угла $\Delta Z\Gamma$.

При движении же по эпициклу может иметь место и то, и другое. Действительно, если эпицикл перемещается по небу в направлении последовательности знаков [зодиака], положим от А к В [рис. 3.2], а светило по нему движется так, что от апогея оно движется также в направлении последовательности [этих] знаков, т.е. от Z к Н, то окажется, что в апогее оно будет иметь наибольшее перемещение, так как в этом случае и светило, и эпицикл движутся в одном и том же направлении. Если же светило от апогея будет двигаться в направлении, противоположном движению эпицикла, т.е. от Z к К, то, наоборот, в апогее будет иметь место наименьшее перемещение,

потому что в этом случае светило будет перемещаться в сторону, противоположную движению эпицикла.

Установив это, мы должны еще принять предварительно следующее. Для светил, имеющих две аномалии, допускается соединять вместе обе эти гипотезы, как мы покажем в соответствующих местах⁴¹. Для светил же, имеющих только одно неизменное неравенство, будет достаточна одна какая-либо из этих гипотез. Все наблюдавшиеся явления могут быть совершенно одинаково объяснены при помощи обеих гипотез, если в них имеют место одинаковые соотношения, т.е. если в гипотезе с эксцентром расстояние между глазом и центром эксцентра имеет такое же отношение к радиусу эксцентра, какое в гипотезе с эпициклом имеет радиус эпицикла к радиусу несущего его круга, а также если время, в течение которого светило перемещается по неподвижному эксцентру в направлении последовательности знаков [зодиака], равно тому времени, в течение которого эпицикл проходит круг с центром в точке, где находится наблюдатель, двигаясь тоже в направлении последовательности знаков, а светило с такой же скоростью перемещается по эпициклу, двигаясь, однако, от апогея против последовательности знаков⁴².

При этих условиях наблюдаемые явления будут одинаковы для каждой из этих гипотез. Это мы кратко покажем сначала на основании самих условий, а затем при помощи основанного на них вычисления неравенства Солнца.

Прежде всего я утверждаю, что в каждой из этих гипотез наибольшая разность между равномерным и видимым неравномерным движениями, которая определяет среднее движение светил, имеет место тогда, когда видимое расстояние [светила] от апогея составляет четверть окружности и время движения от апогея до упомянутого среднего положения будет больше времени движения от этого среднего положения до перигея. Отсюда получается, что при гипотезе с эксцентром всегда, а при гипотезе с эпициклом тогда, когда перемещения светил от апогея идут в направлении, обратном последовательности знаков, время перехода от места с наименьшим движением к среднему будет больше времени движения от места со средним движением к месту с наибольшим движением. Это объясняется тем, что в

219

220

221

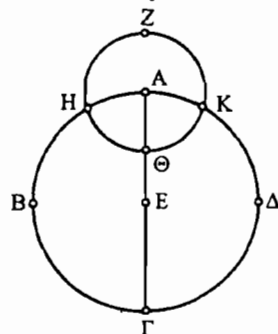


Рис. 3.2

каждой из этих гипотез наименьшее движение получается в апогее. В гипотезе же с эпициклами, когда движения светил по эпициклам происходят от апогея в направлении последовательности знаков, наоборот, время перемещения от места с наибольшим движением к среднему будет больше времени движения от места со средним к месту с наименьшим движением, так как в этом случае апогею будет соответствовать наибольшее перемещение⁴³.

Пусть сначала АВГД [рис. 3.3] будет окружностью эксцента светила, имеющей центр Е и диаметр АЕГ, на котором возьмем центр зодиакального круга, т.е. точку нашего наблюдения. Пусть это будет Z. Проведя затем из Z под прямым углом к АЕГ прямую ВZД, предположим, что светило находится в точках В и Д, так что его видимое расстояние по обе стороны от апогея А равняется четверти окружности. Требуется доказать, что в точках В и Д имеет место наибольшая разность между равномерным и неравномерным движениями.

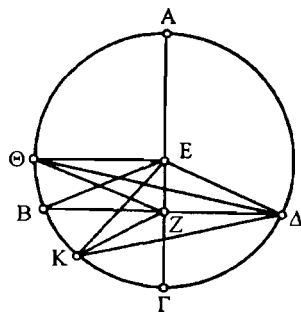


Рис. 3.3

222 Проведем прямые EB и ED. Сразу же становится ясно, что отношение угла EBZ к четырем прямым равно отношению дуги, соответствующей аномалии, ко всей окружности. Действительно, угол AEB стягивает дугу равномерного движения, а угол AZB — видимого неравномерного; разность же этих углов — угол EBZ.

Итак, я утверждаю, что на прямой EZ нельзя при окружности круга АВГД построить другой угол, который был бы больше каждого из этих углов.

223 Действительно, построим в точках Θ и К углы EΘZ и EKZ и проведем соединяющие их прямые ΘД и КД. Поскольку во всяком треугольнике большая сторона стягивается большим углом и ΘZ больше ZД, то угол EДZ будет больше ΔOZ. Но угол EДΘ равен EΘД, так как EΘ равна ED. Значит, и весь угол EДZ, т.е. EBA, будет больше угла EΘZ. Далее, так как ΔZ больше KZ, то и угол ZKД будет больше угла ZAK. Но угол EKД равен всему EДK, так как прямая EK тоже равна ED. Значит, и остающийся угол EДZ, т.е. EBZ, будет больше угла EKZ. Следовательно, невозможно построить указанным образом углы, большие тех, которые образуются в точках В и Д.

Одновременно доказано, что дуга АВ, соответствующая времени перехода от места с наименьшим движением к месту со средним [движением], будет больше дуги ВГ, соответствующей времени перехода от места среднего движения к месту с наибольшим. Разность же этих дуг равна удвоенной дуге, определяющей неравенство. Действительно угол AEB будет больше прямого угла EZB на угол EBZ, а BEГ меньше прямого угла на тот же угол.

Для доказательства того, что это же самое получается и при другой гипотезе, возьмем концентрический с центром мира круг АВГ, имеющий центр в Δ, а диаметр АДВ [рис. 3.4], и в той же самой плоскости движущийся по нему эпицикл EZH с центром в А. Предположим, что когда светило кажется нам отстоящим на четверть окружности от точки апогея, оно находится в Н. Проведем соединяющие прямые АН и ΔНГ.

Я утверждаю, что линия $\Delta\Gamma$ касается эпицикла. При этом разность между равномерным и неравномерным движениями наибольшая.

224

Действительно, так как равномерное движение от апогея определяется углом $ЕАН$ (ибо и светило по эпициклу, и эпицикл по кругу $АВГ$ движутся с одинаковыми скоростями), а разность между равномерным и видимым движениями определяется углом $АДН$, то ясно, что разность углов $ЕАН$ и $АДН$, т.е. угол $АНД$, определяет видимое расстояние светила от апогея. Поскольку же предположено, что оно равно четверти окружности, угол $АНД$ будет прямым, и вследствие этого линия $\Delta\Gamma$ будет касательной к эпициклу EZH . Следовательно, дуга $АГ$, заключающаяся между центром

A и касательной, соответствует наибольшей величине неравенства.

На том же основании дуга $ЕН$, которая, согласно сделанному предположению о направлении движения по эпициклу, определяет время перехода от места с наименьшим движением к месту со средним, будет на удвоенную дугу $АГ$ больше дуги $НЗ$, определяющей время перехода от места со средним к месту с наибольшим движением, так как, если продолжить прямую ΔH до Θ и под прямым углом к EZ провести

225

$AK\Theta$, угол $КАН$ будет равен углу $АДГ$ ⁴⁴, а дуга $КН$ подобна $АГ$ ⁴⁵. Именно на эту величину дуга $ЕКН$ будет больше, а $ЗН$ будет меньше четверти окружности, что и требовалось доказать.

Из следующих рассуждений легко можно убедиться, что и при рассмотрении движений в промежуточных положениях при любой гипотезе все явления, относящиеся к равномерному и видимому движениям, будут совершаться в одинаковые времена, а также будут равны их разности, т.е. неравенства, происходящие от неравномерности [наблюдаемого движения]⁴⁶.

Пусть $АВГ$ будет кругом [рис. 3.5], гомоцентрическим с проходящим через середины зодиакальных созвездий и имеющим центр в Δ , EZH — равный гомоцентру $АВГ$ эксцентру с центром в Θ , а $ЕАДГ$ — их общий диаметр, проходящий через центры Θ и Δ и апогей $Е$. Отложив на гомоцентре какую-нибудь дугу $АВ$, из центра B радиусом, равным $\Delta\Theta$, опишем

эпицикл KZ и проведем соединительную прямую $KB\Delta$.

Я утверждаю, что при обоих видах движений [т.е. при движении по эксцентру или по эпициклу] светило всегда в одно и то же время придет в точку Z пересечения эксцентриа и эпицикла, иными словами, что будут подобны друг другу три дуги, а именно дуга EZ эксцентриа, дуга $АВ$ гомоцентриа и дуга KZ эпицикла, а также, что в обеих гипотезах разности между равномерным и неравномерным движениями и видимое перемещение светила будут одними и теми же.

226

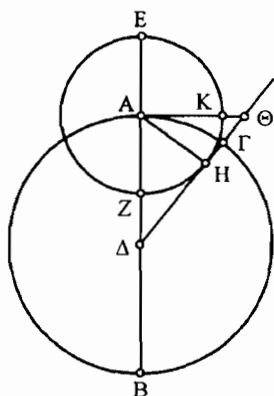


Рис. 3.4

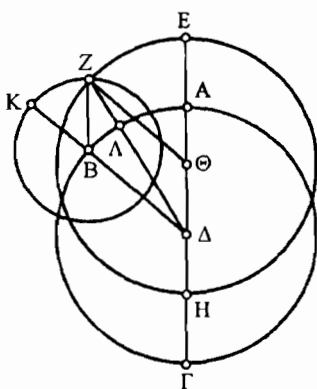


Рис. 3.5

Проведем соединяющие прямые $Z\Theta$, BZ и ΔZ . Так как в четырехугольнике $B\Delta\Theta Z$ противоположные стороны равны, а именно $Z\Theta$ равна $B\Delta$, а BZ равна $\Delta\Theta$, то четырехугольник $B\Delta\Theta Z$ — параллелограмм. Следовательно, будут равны три угла ΘZ , ΔB и ZBK . Так как эти углы центральные, то стягиваемые ими дуги подобны. Это дуги EZ эксцента, AB гомоцентра и KZ эпицикла. Следовательно, в обоих движениях светило в одно и то же время придет в Z и в видимом движении пройдет от апогея одну и ту же дугу $А\Lambda$ зодиакального круга. В соответствии с этим

227 происходящая от неравномерности разность в обеих гипотезах будет одной и той же, ибо мы доказали, что получается одна и та же разность, а именно угол $\Delta Z\Theta$ в гипотезе с эксцентром и угол $B\Delta Z$ в гипотезе с эпициклом; они будут равными и накрест лежащими, так как по доказанному $Z\Theta$ будет параллельна $B\Delta$.

Ясно, что то же самое будет получаться и при всех других расстояниях, так как четырехугольник $\Theta\Delta BZ$ — всегда параллелограмм, и [поэтому] эксцентрический круг будет описываться самим светилом при его движении по эпициклу, если, конечно, в обеих гипотезах соответствующие отношения будут подобны, а их составляющие равны⁴⁷. Но даже если бы они были только подобными, но не равными по величине, то получится опять то же самое⁴⁸. Это можно объяснить следующим образом.

Пусть точно так же $AB\Gamma$ — гомоцентрический с миром круг, имеющий центр Δ и диаметр $А\Delta\Gamma$, соединяющий места перигея и апогея светила [рис. 3.6]. Пусть эпицикл с центром B на некоторую дугу AB отстоит от апогея A , а светило в своем движении пройдет дугу EZ , которая, конечно,

228 должна быть подобна дуге AB вследствие изохронности возвращений у обоих кругов. Проведем соединяющие прямые ΔBE , BZ и ΔZ .

А то, что угол ΔDE всегда равен углу ZBE и светило видимо в направлении ΔZ , при этой гипотезе очевидно.

Я утверждаю теперь, что и в гипотезе эксцента [независимо от того], будет эксцентр больше или меньше гомоцентра $AB\Gamma$, если только предположить подобие соответствующих отношений и изохронность возвращений, светило опять будет видимо в том же направлении ΔZ . Построим больший упомянутого [гомоцентра] эксцентр $H\Theta$, имеющий центр K на прямой $А\Gamma$, и меньший [эксцентр] ΛM с центром N на той же прямой $[A\Gamma]$. Далее, продолжив $\Delta MZ\Theta$ и $\Delta\Lambda H$, проведем соединяющие прямые ΘK и MN . Поскольку как ΔB относится к BZ , так будет относиться и ΘK к $K\Delta$, и MN к $N\Delta$, а угол $BZ\Delta$ равен углу $\Delta M\Lambda N$ вследствие параллельности $\Delta\Lambda$ и BZ , все три треугольника $[Z\Delta B, \Delta\Theta K, \Delta M\Lambda N]$ равноугольны и стягиваемые пропорциональными сторонами углы $B\Delta Z$, $\Delta\Theta K$ и $\Delta M\Lambda N$ равны, то, следовательно, прямые $B\Delta$, ΘK и MN параллельны. Таким образом, и углы $\Delta\Delta B$, $\Delta K\Theta$ и $\Delta N M$ равны. И поскольку эти углы

229

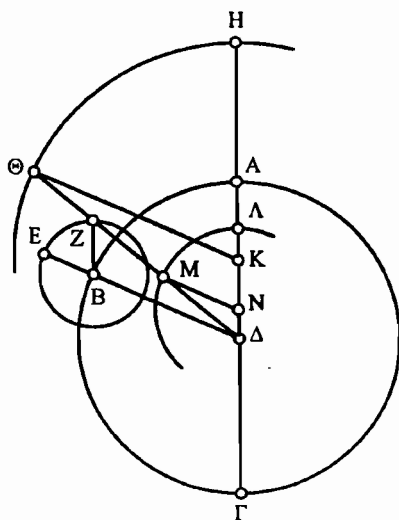


Рис. 3.6

в кругах центральные, то стягиваемые ими дуги AB , $H\Theta$ и ΛM подобны. Следовательно, не только эпицикл проходит дугу AB , а светило дугу EZ в одинаковое время, но и на эксцентах светило пройдет дуги $H\Theta$ и ΛM в то же самое время, а вследствие этого оно всегда видимо по одной и той же прямой $\Delta MZ\Theta$. По эпициклу оно придет в точку Z , по большему эксцентру — в Θ , а по меньшему — в M . То же самое будет иметь место и во всех других положениях.

К этому добавляется еще, что, когда в видимом движении светило оказывается на одинаковых расстояниях от апогея и перигея, появляющееся в обоих положениях из-за неравномерности [движения] неравенство будет

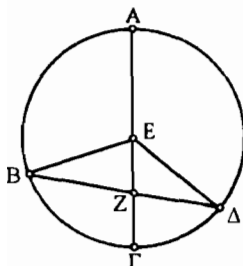


Рис. 3.7

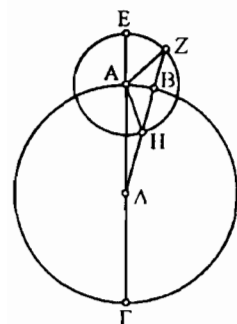


Рис. 3.8

одним и тем же. Действительно, опишем согласно гипотезе эксцента эксцентрический круг $AB\Gamma\Delta$ с центром E и проходящим через апогей A диаметром AEG [рис. 3.7], причем наш глаз предполагается находящимся на этом диаметре в точке Z . Возьмем затем проходящую через Z какую-нибудь прямую $BZ\Delta$, проведем соединяющие линии EB и ED . Тогда видимые перемещения светил будут равны и [диаметрально] противоположны. Иными словами, угол AZB от апогея будет равен углу $\Gamma Z\Delta$ от перигея, и появляющаяся вследствие неравномерности [движения] разность будет одной и той же в силу равенства прямых BE и ED и углов EBZ и EDZ . Таким образом, в видимых перемещениях, т.е. в дугах, заключенных в углах AZB и $\Gamma Z\Delta$, дуга от апогея A будет больше дуги, пройденной в равномерном движении, а дуга от перигея Γ будет меньше пройденной в равномерном движении на ту же самую величину вследствие того, что угол AEB больше угла AZB , а угол GED соответственно меньше $\Gamma Z\Delta$.

В гипотезе эпицикла, если мы также начертим гомоцентрический круг $AB\Gamma$ с центром Δ и диаметром $A\Delta\Gamma$ и эпицикл EZH с центром A [рис. 3.8], а затем, взяв какую-нибудь прямую $\Delta H B Z$, проведем соединительные линии AZ и AH , то получающаяся

вследствие неравномерности разность — дуга AB — будет опять той же самой в обоих положениях, т.е. если светило будет в Z или в H . Светило будет казаться нам одинаково отстоящим по зодиакальному кругу от точки апогея, когда оно будет в Z , или от перигея, когда оно будет в H , так как пройденная в видимом движении от апогея дуга содержится в угле ΔZA (ибо было доказано, что она является избытком равномерного движения над происходящим неравномерным); точно так же видимая дуга, начинающаяся в перигее, содержится в угле ZHA , ибо она равна той же самой разности равномерного движения от перигея и соответствующего неравномерного. Но угол ΔZA равен углу ZHA вследствие равенства AZ и AH ; таким образом, отсюда опять получается, что на ту же самую разность, т.е. на угол $\Delta H\Gamma$, среднее движение у апогея будет больше видимого (т.е. угол EAZ больше угла $AZ\Delta$), а у перигея среднее движение будет меньше такого же видимого, т.е. угол $HA\Delta$ меньше угла $AH Z$. Это и требовалось доказать.

4. О видимом неравенстве движения Солнца

Изложив все это указанным образом, мы должны предварительно заняться видимым неравенством движения Солнца. Так как это неравенство является единственным и время перехода от места с наименьшим движением к месту со средним движением всегда больше, чем время перехода от места со средним движением к месту с наибольшим (мы нашли, что все это действительно согласуется с наблюдающимися явлениями), то оно может быть получено с помощью каждой из приведенных гипотез. В частности, его можно получить при помощи гипотезы с эпициклом, если на дуге последнего около апогея движение Солнца будет совершаться против последовательности знаков зодиака. Однако было бы, пожалуй, разумнее привлечь к объяснению гипотезу с эксцентром, так как она проще и требует только одного, а не двух движений⁴⁹.

Прежде всего нужно найти величину эксцентриситета солнечного круга, иными словами, определить, как расстояние между центрами эксцента и находящегося в точке нашего наблюдения центра зодиакального круга относится к радиусу эксцента. Затем, какому месту зодиакального круга соответствует точка апогея эксцента. Все это тщательно показал Гиппарх. Положив в основу время движения [Солнца] от весеннего равноденствия до летнего солнцеворота, равное $94\frac{1}{2}$ дням, а от летнего солнцеворота до осеннего равноденствия — $92\frac{1}{2}$ дням, он, используя только эти данные, нашел, что длина прямой между упомянутыми центрами составляет примерно $\frac{1}{24}$ радиуса эксцента и что апогей предшествует точке летнего солнцеворота приблизительно на $24\frac{1}{2}$ градуса, каких во всем зодиакальном круге содержится 360. Мы также нашли, что продолжительности упомянутых четвертей периода и величины указанных отношений являются приблизительно такими же и в настоящее время, так что обнаруживается, таким образом, что эксцентр Солнца всегда сохраняет то же самое положение относительно точек солнцеворота и равноденствий⁵⁰. Однако чтобы не пройти мимо этого столь важного места, но разъяснить его, опираясь на наши вычисления, мы тоже дадим вывод всего относящегося к эксцентру, исходя из тех же самых данных наблюдений. А именно из того, что, как мы сказали, время от весеннего равноденствия до летнего солнцеворота равно $94\frac{1}{2}$ дням, а от летнего солнцеворота до осеннего равноденствия — $92\frac{1}{2}$ дням. Действительно, при помощи точнейших наблюдений равноденствий и летнего солнцестояния, произведенных нами в 463 году после смерти Александра, мы получили количество дней, вполне согласное с указанным. Действительно, поскольку, как мы сказали, осеннее равноденствие имело место 9-го Атира после восхода Солнца⁵¹, а весеннее — 7-го Пахона после полудня⁵², соответствующий промежуток [между ними] получается равным $178\frac{1}{4}$ дням. Летний же солнцеворот произошел в ночь с 11-го на 12-е Месоре, после полуночи⁵³. Так как указанный промежуток [времени], т.е. от весеннего равноденствия до летнего солнцеворота, содержит $94\frac{1}{2}$ дня, то для промежутка времени от летнего солнцеворота до следующего за ним осеннего равноденствия остается приблизительно $92\frac{1}{2}$ дня⁵⁴.

Пусть АВГД — зодиакальный круг с центром Е [рис. 3.9]. Проведем в нем через точки солнцеворотов и равноденствий два взаимно перпендикулярных диаметра, АГ и ВД. Предположим, что А — точка весеннего

поскольку квадранты $O\Sigma$ и ΣN содержат каждый по 90 градусов, дуги OA и ON равны каждая $2;10$ градусам, а $M\Sigma$ составляет $0;59$ градусов, дуга AM будет иметь $86;51$ градусов, а $M\Theta$ — $88;49$ градусов. Но $86;51$ градусов Солнце проходит равномерным движением за $88\frac{1}{8}$ дней, а $88;49$ градусов приблизительно за $90\frac{1}{8}$ дней. Таким образом, Солнце в видимом движении пройдет дугу $\Gamma\Delta$, заключающуюся между осенним равноденствием и зимним солнцеворотом, за $88\frac{1}{8}$ дней, а дугу $A\Delta$ между зимним солнцеворотом и весенним равноденствием — приблизительно за $90\frac{1}{8}$ дней. Таким образом, изложенное нами вполне согласуется с утверждениями Гиппарха⁵⁵.

На основании этих числовых данных определим сначала, чему равна наибольшая разность между равномерным и неравномерным движениями и в каких точках это будет иметь место.

Пусть $AB\Gamma$ — эксцентрический круг с центром Δ и проведенным через точку апогея A диаметром $A\Delta\Gamma$ [рис. 3.10]. Пусть на нем в точке E будет центр зодиакального круга. Под прямым углом к $A\Gamma$ проведем EB и соединительную прямую ΔB . Так как в радиусе ΔB содержится 60 частей, каких в расстоянии ΔE между центрами в соответствии с отношением 24 к 1 содержится $2;30$, то, значит, прямая ΔE будет содержать приблизительно 5 таких частей, каких в гипотенузе содержится 120, и построенная на ней дуга — приблизительно $4;46$ таких градуса, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ΔBE , содержится 360. Таким образом, угол ΔBE , соответствующий самой большой разности вследствие неравномерности, содержит $4;46$ градуса, каких в двух прямых углах 360, или $2;23$ таких, каких 360 в четырех прямых углах. Прямой угол $BE\Delta$ имеет 90 таких же градусов, и, следовательно, угол $B\Delta A$, равный сумме упомянутых [углов], равен $92;23$. И так как оба эти угла находятся при центрах, а именно угол $B\Delta A$ эксцентра, а $BE\Delta$ зодиакального круга, то наибольшая разность от неравномерности составит $2;23$ градуса. Что же касается дуг, на которых это имеет место, то в равномерном движении по эксцентру дуга будет равна $92;23$ градусам от апогея, а в видимом неравномерном движении по зодиакальному кругу — 90 градусам (четверти круга), как мы уже показали ранее. Из вышеизложенного также ясно, что на противоположном полуокружности среднее видимое перемещение и наибольшая разность от неравномерности будут соответствовать 270 градусам, а в равномерном движении по эксцентру — $267;37$ градусам⁵⁶.

Чтобы показать, как те же самые числовые характеристики определяются согласно гипотезе с эпициклом, если все отношения, как мы сказали, остаются теми же, возьмем круг $AB\Gamma$ с центром Δ и диаметром $A\Delta\Gamma$ [рис. 3.11], гомоцентрический с кругом, проходящим через середины знаков зодиака, и эпицикл EZH с центром A . Из центра Δ проведем касательную к эпициклу прямую ΔZB и соединительную [прямую] AZ . Тогда из

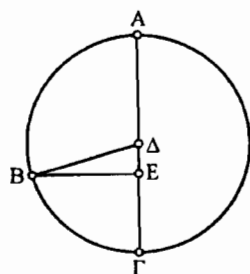


Рис. 3.10

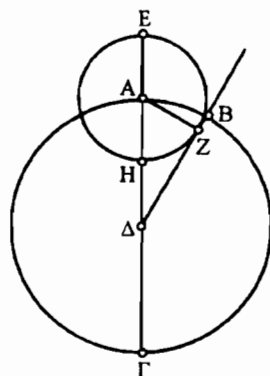


Рис. 3.11

[рассмотрения] прямоугольного треугольника $АДZ$ точно так же следует, что $АД$ будет в двадцать четыре раза больше AZ . Таким образом, каких частей в гипотенузе $АД$ имеется 120, таких в AZ окажется 5, и построенная на ней дуга содержит 4;46 таких градусов, каких описанный около прямоугольного треугольника $АДZ$ круг содержит 360. И, следовательно, угол $АДZ$ равен 4;46 таким градусам, каких в двух прямых содержится 360, или 2;23 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Следовательно, наибольшая разность от неравномерности, т.е. дуга AB , в этом случае также равна 2;23 градусам. Дуга неравномерного движения, заключенная в прямом угле $AZΔ$, равна 90 градусам, а дуга равномерного движения, заключенная в угле EAZ , также содержит 92;23 градуса.

5. Об определении значений неравенства для различных положений

Чтобы получить возможность определять неравномерные движения в различных местах [солнечной орбиты], покажем, как в обеих гипотезах по заданной одной из упомянутых дуг определить и все остальные⁵⁷.

Пусть сначала круг $ABΓ$ будет гомоцентричен зодиакальному и имеет центр в $Δ$, а EZH — эксцентр с центром в $Θ$ и $EAΘH$ — диаметр, проходящий через оба эти центра и апогей E [рис. 3.12]. Взяв произвольную дугу EZ , проведем соединяющие прямые $ZΔ$ и $ZΘ$. Пусть сначала дана дуга EZ , содержащая, например, 30 градусов. Проведя $ZΘ$, опустим на нее из $Δ$ перпендикуляр $ΔK$. Если дуга EZ предполагается равной 30 градусам, то угол $EΘZ$ или $ΔΘK$ будет равен 30 таким градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 60 таким, 360 которых составляют два прямых угла. Следовательно, построенная на $ΔK$ дуга составит 60 таких градусов, каких круг, описанный около прямоугольного треугольника $ΔΘK$, содержит 360. Дуга же, построенная на $ΘK$, содержит недостающие до полуокружности 120 градусов. Следовательно, стягивающие их прямые содержат для $ΔK$ 60

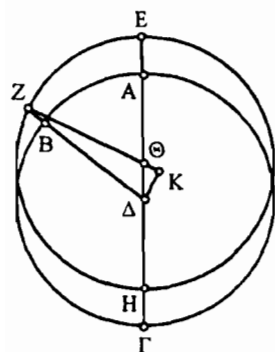


Рис. 3.12

таких частей, каких в гипотенузе $ΔΘ$ 120, а для $ΘK$ — 103;55 такие же части. Таким образом, если прямая $ΔΘ$ равна 2;30 частям, а радиус $ZΘ$ — 60, то $ΔK$ содержит 1;15 такую часть, $ΘK$ — 2;10, а вся $KΘZ$ — 62;10. И так как квадраты на них, вместе взятые, дают квадрат на $ZΔ$, то гипотенуза $ZΔ$ будет равна приблизительно 62;11 таким же частям. И, следовательно, если принять $ZΔ$ за 120 частей, то прямая $ΔK$ будет иметь 2;25 таких части, а построенная на ней дуга — 2;18 части, каких описанный около прямоугольного треугольника $ZΔK$ круг содержит 360. Таким образом, угол $ΔZK$ будет равен 2;18 градусам, 360 которых составляют два прямых угла, и 1;9 такому градусу, 360 которых соответствуют четырем прямым углам. Такова разность вследствие неравномерности. Но угол $EΘZ$ равен 30 таким частям. Следовательно, получающийся в остатке угол $АДВ$, т.е. дуга AB зодиакального круга, равен 28;51 градусам.

Если дан какой-нибудь другой из этих углов [вместо угла $EΘZ$], то можно считать известными и другие. Это сразу же ясно, если на том же

чертеже [рис. 3.13] из Θ опустить на $Z\Delta$ перпендикуляр $\Theta\Lambda$. Если предположим заданной дугу AB зодиакального круга, т.е. угол $\Theta\Delta\Lambda$, то вследствие этого будет задано и отношение $\Delta\Theta$ к $\Theta\Lambda$ ⁵⁸. Если же дано отношение $\Delta\Theta$ к ΘZ , то задано и отношение ΘZ к $\Theta\Lambda$. Вследствие этого будут известны и угол $\Theta Z\Lambda$, соответствующий разности вследствие неравномерности [движения], и угол $E\Theta Z$, т.е. дуга EZ эксцентра.

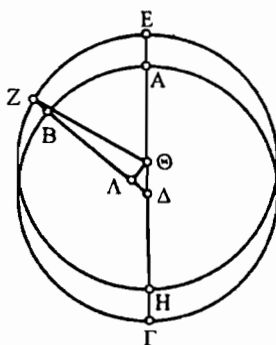


Рис. 3.13

Если же предположить, что задана разность в результате неравномерности [движения], т.е. угол $\Theta Z\Delta$, то получится и все остальное в обратном порядке, так как вследствие этого будет известно отношение ΘZ к $\Theta\Lambda$, а отношение ΘZ к $\Theta\Delta$ было дано с самого начала. Поэтому будет известно отношение $\Delta\Theta$ к $\Theta\Lambda$, а вследствие этого и угол $\Theta\Delta\Lambda$, т.е. дуга AB зодиакального круга, а также угол $E\Theta Z$, т.е. дуга EZ эксцентра.

Пусть теперь круг $AB\Gamma$ с центром Δ и диаметром $A\Delta\Gamma$ [рис. 3.14] будет гомоцентрическим с проходящим через середины знаков зодиака, а $EZH\Theta$ с центром в A — построенный с соблюдением тех же самых отношений эпицикл [рис. 3.14]. Взяв дугу EZ , проведем соединительные прямые $ZB\Delta$ и ZA . Предположим опять, что дуга EZ составляет те же самые 30 градусов, и проведем из Z к AE перпендикуляр KZ .

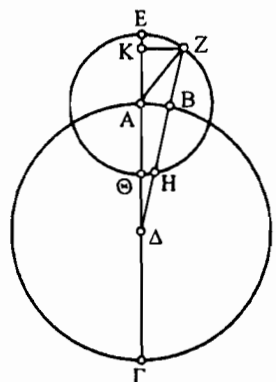


Рис. 3.14

Так как дуга EZ составляет 30 градусов, то угол EAZ равен 30 таким градусам, 360 которых дают четыре прямых угла, и 60 таким, 360 которых равны двум прямым углам. Таким образом, дуга на ZK будет равна 60 таким частям, которых круг, описанный около прямоугольного треугольника AZK , содержит 360, а дуга на AK — остальным 120 градусам, недостающим до полуокружности. Следовательно, стягивающие их прямые будут равны: ZK — 60 таким частям, каких диаметр AZ содержит 120, а KA — 103;55 таким же частям. Таким образом, если гипотенуза AZ равна 2;30, а радиус $A\Delta$ — 60 частям, то прямая ZK будет содержать 1;15 такую часть, а KA — 2;10 и вся $K\Delta$ — 62;10. И так как квадраты на них, вместе взятые, составляют квадрат на $ZB\Delta$, то длина $Z\Delta$ будет равна 62;11 таким частям, каких в ZK содержится 1;15. И, следовательно, если принять гипотенузу ΔZ за 120 [частей], то прямая ZK будет равна 2;25, а построенная на ней дуга — 2;18 градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ΔZK , будет 360. Таким образом, угол ΔZK будет равен 2;18 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 1;9 градусу, каких в четырех прямых углах 360. Такова для дуги AB разность вследствие неравномерности. Но угол EAZ равнялся 30 таким градусам; следовательно, остающийся угол $AZ\Delta$, т.е. видимая дуга зодиакального круга, равна 28;51 градусам, что вполне согласуется с величиной, полученной на основе гипотезы эксцентра.

Подобно этому, если дан какой-нибудь другой угол [вместо угла EAZ], то могут быть получены и остальные углы, если на том же чертеже опустим

из A на ΔZ перпендикуляр $АЛ$ [рис. 3.15]. Если мы вновь возьмем видимую дугу зодиакального круга, т.е. угол $AZ\Delta$, то вследствие этого будет дано и отношение ZA к $АЛ$, а так как с самого начала дано отношение ZA к $А\Delta$, то будет дано и отношение ΔA к $АЛ$. Вследствие этого даны и угол $А\Delta B$, т.е. дуга AB , представляющая разность, возникающую из-за неравномерности, и угол EAZ , т.е. дуга EZ эпицикла. Если же мы предположим заданной разность, происходящую от неравномерности, т.е. угол $А\Delta B$, то будет известно и отношение $А\Delta$ к $АЛ$, и так как с самого начала было задано отношение ΔA к AZ , то будет известно и отношение AZ к $АЛ$, а вследствие этого определяется и угол $AZ\Delta$, т.е. видимая дуга зодиака, и угол EAZ , т.е. дуга EZ эпицикла.

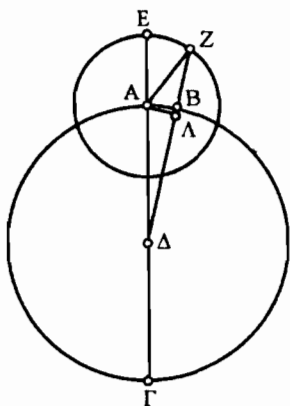


Рис. 3.15

Теперь на приведенном выше чертеже эксцентрического круга [рис. 3.16] отложим от перигея H эксцентра дугу HZ , которую мы положим равной тем же самым 30 градусам, проведем соединительные прямые ΔZB и $Z\Theta$ и из Δ опустим на ΘZ перпендикуляр ΔK .

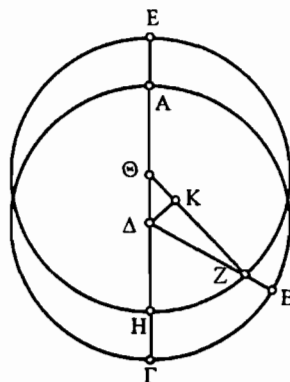


Рис. 3.16

Так как дуга ZH равна 30 градусам, то угол $Z\Theta H$ равен 30 таким градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 60 таким, 360 которых составляют два прямых угла. Таким образом, дуга на прямой ΔK равна 60 градусам, каков круг, описанный около прямоугольного треугольника $\Delta\Theta K$, содержит 360. Дуга же на $K\Theta$ равна остальным 120 частям полуокружности. Следовательно, стягивающие их прямые будут равны: ΔK — 60 таким частям, каков диаметр $\Delta\Theta$ содержит 120, а $K\Theta$ — 103;55 таким же частям. И, следовательно, если гипотенузу $\Delta\Theta$ взять равной 2;30, а радиус ΘZ — 60, то прямая ΔK будет равна 1;15 такой части, ΘK — 2;10, а KZ — получающимся в остатке 57;50 [частям]. Так как вместе взятые их квадраты дают квадрат на ΔZ , то длина последней будет равна приблизительно 57;51 таким частям, каков в ΔK содержится 1;15. И, значит, если гипотенуза ΔZ равна 120, то ΔK будет равна 2;34 таким же частям⁵⁹; построенная на ней дуга составит 2;27 градуса, каков в круге, описанном около прямоугольного треугольника ΔZK , содержится 360. Таким образом, угол ΔZK будет равен 2;27 таким градусам, каков в двух прямых углах содержится 360, и приблизительно 1;14 градусу, каков в четырех прямых углах будет 360. Такова будет величина разности вследствие неравномерности. И так как по предположению [рассматриваемый] угол равен 30 таким градусам, то весь угол $\Delta\Gamma$, т.е. дуга ΓB , равен 31;14 градусу.

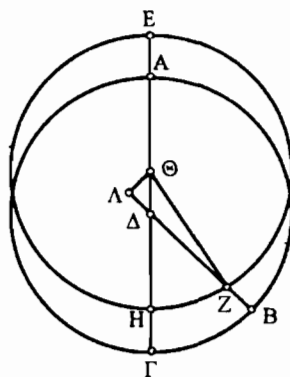


Рис. 3.17

На тех же основаниях [рис. 3.17], если продолжить прямую ВД и опустить на нее перпендикуляр $\Theta\Lambda$, можно в случае заданной дуги ГВ зодиакального круга, т.е. по углу $\Theta\Delta\Lambda$, считать заданным и отношение $\Delta\Theta$ и $\Theta\Lambda$. Но так как с самого начала было дано отношение $\Delta\Theta$ к ΘZ , то будет известно и отношение $Z\Theta$ к $\Theta\Lambda$. Вследствие этого мы будем иметь данными: угол $\Theta Z\Delta$, т.е. разность вследствие неравномерности, и угол $Z\Theta\Delta$, т.е. дугу НZ эксцентра. Если же задать угол $\Theta Z\Delta$ — разность вследствие неравномерности, — то снова вследствие того же будет задано и отношение $Z\Theta$ к $\Theta\Lambda$, а при заданном с самого начала отношении $Z\Theta$ к $\Delta\Theta$ будет известно и отношение $\Delta\Theta$ к $\Theta\Lambda$. Вследствие этого будут заданы угол $\Theta\Delta\Lambda$ или дуга ГВ зодиакального круга и угол $Z\Theta\Lambda$ или дуга НZ эксцентра.

Таким же образом на приведенном выше чертеже гомоцентрического круга с эпициклом [рис. 3.18] отложим от перигея Θ дугу $\Theta\Lambda$ тоже в 30 градусов, проведем соединительные прямые АН и $\Delta\Lambda$ и опустим из Н на АД перпендикуляр НК. Так как дуга $\Theta\Lambda$ опять равна 30 градусам, то угол $\Theta\Lambda\Delta$ равен 30 таким градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 60 таким, каких 360 составляют два прямых угла. Таким образом, дуга над прямой НК равна 60 градусам, каких круг, описанный около прямоугольного треугольника НКА, содержит 360, а дуга над АК равна остальным 120 градусам [дополняющим] до полуокружности. И, следовательно, из стягивающих эти дуги прямых НК содержит 60 частей, каких в гипотенузе АН 120, а АК содержит 103;55 такие же части. И, следовательно, если положить прямую АН равной 2;30 частям, а радиус АД — 60, то НК будет содержать 1;15 такую часть, АК — 2;10, а КД — остальные 57;50. И так как квадраты на них, вместе взятые, дают квадрат на $\Delta\Lambda$, то длина последней будет равна приблизительно 57;51 частям, каких в прямой КН было 1;15. И, следовательно, если гипотенуза $\Delta\Lambda$ равна 120 частям, то в прямой НК таких частей будет 2;34, а в построенной на ней дуге — 2;27 градуса, каких описанный около $\Delta\Lambda\Lambda$ круг имеет 360. Таким образом, угол $\Lambda\Delta\Lambda$ равен 2;27 градусам, каких в двух прямых углах 360, или приблизительно 1;14 градусу, каких 360 в четырех прямых углах. Следовательно, такую именно величину будет иметь обусловленная неравномерностью разность, т.е. дуга АВ. И так как по предположению угол $\Lambda\Delta\Lambda$ содержит 30 таких же градусов, то, значит, весь угол ВНА, который содержит видимую дугу зодиака, будет равняться 31;14 градусу. Это вполне согласуется с числовыми данными, полученными на основе гипотезы эксцентра.

На том же основании, если мы проведем прямую АА, перпендикулярную к $\Delta\Lambda$ [рис. 3.19], то по заданной дуге зодиакального круга, т.е. по углу $\Lambda\Delta\Lambda$, определится и отношение НА к АА, а так как с самого начала было дано и отношение НА к АД, то будет задано и отношение $\Delta\Lambda$ к АА.

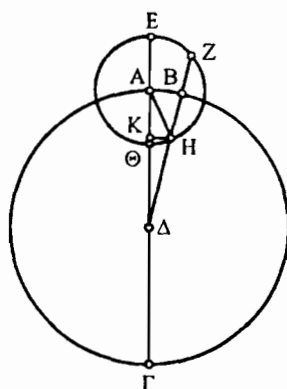


Рис. 3.18

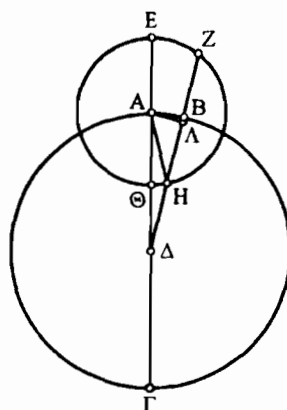


Рис. 3.19

Вследствие же этого будет известен угол $\Delta\Delta B$, т.е. дуга AB , соответствующая обусловленной неравенством разности, и угол ΘAN , т.е. дуга ΘN эпицикла. Если же мы зададим дугу AB разности, обусловленной неравенством, т.е. угол $\Delta\Delta B$, то снова вследствие этого таким же образом окажется задано и отношение ΔA к AL . А так как отношение ΔA к AN было дано с самого начала, то будет задано и отношение NA к AL . Вследствие же этого будут известны угол ANL , т.е. соответствующая дуга зодиакального круга, и угол ΘAN , т.е. дуга ΘN эпицикла. Таким образом, доказано все, что мы собирались доказать.

Рассмотренные выше теоремы позволяют самыми различными способами построить таблицы соответствующих дуг для выделения обусловленных неравномерностью видимых движений, но мы для большего удобства получения величин уравнения для произвольных положений сочли наилучшей таблицу, в которой дуги равномерного движения сопоставляются с обусловленными неравномерностью разностями. Это соответствует и самим гипотезам, и наиболее просто и удобоприменимо для вычисления в каждом отдельном случае. Поэтому, следуя первым, доведенным нами до числовых результатов теоретическим рассуждениям для частных значений дуг, мы вычислили геометрически совершенно так же, как и было показано выше, для каждой дуги равномерного движения необходимую поправку на неравномерность. Как для Солнца, так и для остальных светил, квадранты, прилегающие к апогеям, мы делим на 15 частей, так что прибавка для них дается через 6 градусов. Квадранты же, прилегающие к перигеям, мы делим на 30 частей, так что для них прибавки даются через 3 градуса, поскольку для перигеев разности величин поправок на неравномерность, которые следует прибавлять к дугам равномерного движения, будут больше, чем для апогеев.

Таблицу неравенства Солнца мы опять расположим в 45 строках и трех столбцах. Из них два первых содержат числа, соответствующие 360 градусам равномерного движения. Первые 15 строк охватывают два квадранта, прилегающих к апогею, а остальные 30 относятся к перигею. Третий же столбец для каждого численного значения дуги равномерного движения дает число прибавляемых градусов простафереза, обусловленного неравномерностью. И таблица эта такова⁶⁰.

6. Таблица солнечной аномалии

См. с. 99

7. Об эпохе среднего движения Солнца

Для определения в каждом частном случае положения Солнца нам остается установить начальную эпоху его равномерного движения. Соответствующее определение мы сделали как для Солнца, так и для других светил вообще, опираясь на сделанные нами точнейшие наблюдения и восходя в установлении этих эпох при помощи найденных выше средних движений вплоть до начала царствования Набонассара. Начиная с этого времени мы имеем большое число древних наблюдений, сохранившихся и до сих пор⁶¹.

Итак, пусть $AB\Gamma$ [рис. 3.20] будет кругом, концентричным с проходящим через середины знаков зодиака и имеющим центр в Δ , а EZH — эксцентрическим кругом Солнца с центром Θ . Через оба упомянутых центра и апогей E проведен диаметр $EAH\Gamma$. Предположим, что точка B

зодиакального круга соответствует осеннему равноденствию. Проведем соединительные прямые ВЗД и ЗӨ и из точки Ө опустим перпендикуляр ӨК на продолжение ЗД.

255 Так как точка В осеннего равноденствия соответствует началу Клешиной, а перигей Г находится на $5\frac{1}{2}$ градусах Стрельца, то дуга ВГ будет, следовательно, равна $65;30$ градусам. Значит, угол ВДГ или ӨДК будет иметь $65;30$ градусов, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 131 таких, 360 которых равняются двум прямым углам. Таким образом, дуга на прямой ӨК будет равна 131 градусу, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ДӨК, имеется 360. Стягивающая же эту дугу прямая ӨК будет иметь $109;12$ частей, каких в диаметре ДӨ будет 120. Следовательно, если прямая ДӨ равна 5, а гипотенуза ЗӨ — 120, то ӨК будет равна $4;33$ таким частям, а построенная на ней дуга равна $4;20$ градусам, каких в описанном около прямоугольного треугольника ӨЗК круге 360. Таким образом, угол ӨЗК будет равен $4;20$ градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или $2;10$ таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но угол ВДГ был равен $65;30$ таким же градусам и, следовательно, остающийся угол ЗӨН (или дуга ЗН эксцентра) будет равен $63;20$ градусам. Следовательно, когда Солнце находится в точке осеннего равноденствия, то оно в среднем движении на $63;20$ градуса предшествует перигею, т.е. $5\frac{1}{2}$ градусам Стрельца. От апогея же, т.е. от $5\frac{1}{2}$ градусов Блинецов, оно в своем среднем движении будет отстоять на $116;40$ градусов в направлении последовательности знаков зодиака⁶².

256 После этих теоретических соображений будет ясно, что если в первых наблюденных нами равноденствиях одно из установленных с наибольшей точностью, а именно осеннее, произошло в 17 году Адриана, 7-го числа египетского месяца Атир, приблизительно через 2 равноденственных часа после полудня⁶³, то в это время Солнце в среднем движении отстояло от апогея по эксцентру на $116;40$ градусов в направлении последовательности знаков зодиака. Но от начала царствования Набонассара до смерти Александра прошло 424 египетских года. От смерти же Александра до начала царствования Августа прошло 294 года, от первого же года Августа, который по египетскому счету начинается в полдень 1-го Тота (так как мы отсчитываем эпохи от полудня), до двух равноден-

Общие числа		Простатерезы
Квадранты у апогея		
6°	354°	0° 14'
12	348	0 28
18	342	0 42
24	336	0 56
30	330	1 9
36	324	1 21
42	318	1 32
48	312	1 43
54	306	1 53
60	300	2 1
66	294	2 8
72	288	2 14
78	282	2 18
84	276	2 21
90	270	2 23
Квадранты у перигея		
93	267	2 23
96	264	2 23
99	261	2 22
102	258	2 21
105	255	2 20
108	252	2 18
111	249	2 16
114	246	2 13
117	243	2 10
120	240	2 6
123	237	2 2
126	234	1 58
129	231	1 54
132	228	1 49
135	225	1 44
138	222	1 39
141	219	1 33
144	216	1 27
147	213	1 21
150	210	1 14
153	207	1 7
156	204	1 0
159	201	0 53
162	198	0 46
165	195	0 39
168	192	0 32
171	189	0 24
174	186	0 16
177	183	0 8
180	180	0 0

какого-либо места его пересечения с горизонтом или меридианом опять в это же самое место. Сутки же представляют собой просто период
 259 возвращения Солнца из места пересечения с горизонтом или меридианом в то же самое место. Вследствие этого средние сутки получаются одинаковой длительности, если считать, что они представляют собой продолжительность одного оборота равноденственного круга на 360 временных градусов и еще приблизительно на 0;59 временных градусов — на угол, на который в рассматриваемое время перемещается Солнце в своем среднем движении [по зодиакальному кругу]. Истинными же (неодинаковой продолжительности) сутками мы называем время одного оборота 360 временных градусов равноденственного круга и еще некоторой дуги, конец которой восходит или проходит через меридиан одновременно с Солнцем в неравномерном его движении.

Вот эта дополнительная сверх 360 градусов дуга равноденственного круга будет необходимо неодинаковой вследствие видимого неравенства движения Солнца, а также вследствие того, что равные отрезки круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, не в одинаковые времена проходят через горизонт или через меридиан. Правда, каждая из этих причин в течение одних суток производит незаметную разницу между средним и истинным временем оборота, но она становится очень заметной, если взять большее количество суток⁶⁸.

Наибольшая величина [суммарной] разности [между средним и истинным временем] вследствие солнечного неравенства получается в промежутках при переходе Солнца от одного места, где его [истинная] скорость равняется средней скорости, к другому. Получаемые таким образом
 260 сутки в сумме отличаются от средних приблизительно на $4\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ временных градуса, а между собой — на вдвое больший промежуток $9\frac{1}{2}$ градусов, так как в полукруге, содержащем апогей, видимое движение Солнца отстает от среднего на $4\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градуса, а в окружности с перигеем на столько же опережает⁶⁹. Наибольшая же [суммарная] разность [между средним и истинным временем], обусловленная неравенством времен восходов или заходов равных дуг зодиакального круга, получается в полуокружностях, ограничиваемых солнцеворотами.

Действительно, поэтому времена восхода каждой из этих полуокружностей [зодиакального круга] отличаются от теоретических 180 временных градусов равномерного движения на величину разности между наибольшим или наименьшим днем и равноденственным, а между собой — на величину
 261 разности между наибольшим и наименьшим днем или ночью⁷⁰.

Вследствие же неравенства [времен] при прохождении [равных дуг зодиакального круга] через меридиан наибольшая [суммарная] разность получается на интервалах, содержащих два знака зодиака и имеющих с какой-либо стороны точку равноденствия или солнцеворота. Сумма [времен восхода в прямой сфере] двух таких знаков у какой-либо точки солнцеворота отличается от средней величины приблизительно на $4\frac{1}{2}$ градуса времени, по отношению же ко времени [прохождения] двух таких знаков у равноденственных точек разность доходит до 9 временных градусов вследствие того, что [при прохождении через меридиан] одни [части зодиакального круга] отстают от средних суток, другие же примерно на такую же величину их опережают⁷¹.

Поэтому в [астрономическом] определении эпох [суток] мы считаем их начало от прохождения Солнца через меридиан, а не от его восхода или захода, так как [в последнем случае] усматриваемая на горизонте разница

[между средним и истинным временем] может доходить до нескольких часов и не будет везде одной и той же, изменяясь вследствие разности между наибольшим и наименьшим днями для разных наклонов сферы. На меридиане же разность будет одной и той же для всех климатов и не превышает разности времен, получающейся от солнечного неравенства⁷².

Наибольшая [суммарная] величина разности [между средним и истинным временем] получается от соединения обеих причин: разности от неравенства солнечного движения и разности времен при прохождении через меридиан [равных дуг зодиакального круга], и имеет место в тех частях зодиакального круга, где упомянутые [максимальные] разности прибавляются или вычитаются. Вычитаются они главным образом на промежутке от середины Водолея до [конца] Клешиной, прибавляются от Скорпиона до середины Водолея. На каждой из упомянутых частей зодиакального круга получается наибольшее прибавление или убавление: от солнечного неравенства — приблизительно $3\frac{2}{3}$ градуса, а от разности времен при прохождении через меридиан — приблизительно $4\frac{2}{3}$ градуса⁷³. Таким образом, из вышеуказанного соединения на каждом из этих отрезков получается наибольшая разность с равномерным движением в $8\frac{1}{3}$ временных градусов, или $\frac{1}{2}\frac{1}{18}$ часть часа, а между собой — вдвое больше, т.е. $16\frac{2}{3}$ временных градусов, или $1\frac{1}{9}$ час. Если мы пренебрежем такой величиной при наблюдении Солнца или других светил, то это, пожалуй, и не произведет заметного вреда при исследовании происходящих с ними явлений. Что же касается Луны, то вследствие быстроты ее движения это дает уже заметную разность, достигающую трех пятых одного градуса⁷⁴.

Таким образом, если мы хотим представить какой-нибудь промежуток времени, выраженный в [истинных] сутках (подразумеваю — от [истинного] полудня или полуночи опять до [истинного] полудня или полуночи), в средних [сутках], то прежде всего определим для начального и конечного моментов заданного промежутка времени в солнечных сутках, на каком градусе круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, находится Солнце и в среднем, и в неравномерном движениях. Потом для неравномерного, т.е. видимого движения, мы берем разность в градусах между первым и вторым видимыми положениями, вносим ее в таблицу восхождений прямой сферы и смотрим, в одно время с какими градусами равноденственного круга проходят через полуденную линию упомянутые градусы перемещения в неравномерном движении. Взяв разность найденных временных градусов и градусов соответствующего перемещения в равномерном движении, вычисляем, какую часть равноденственного часа составляет разность этих временных градусов. Если она окажется большей, чем время равномерного движения, то мы прибавляем ее к заданному числу суток, если же меньшей, то вычитаем из него, и таким образом получаем время, выраженное в средних сутках. Им, в частности, мы и пользуемся при определении средних движений Луны, помещенных в таблицах.

Очевидно, что промежуток времени, выраженный в средних сутках, можно также перевести в истинные, наблюдаемые в действительности, произведя в обратном порядке прибавление или вычитание временных градусов, выраженных в часах⁷⁵.

Во взятую нами эпоху, т.е. в первый год Набонассара, 1-го числа египетского месяца Тот, в полдень Солнце в равномерном движении, как мы указали немного выше, находилось на $0;45$ градусов Рыб, в неравномерном же — примерно на $3;8$ градусах Рыб⁷⁶.

Книга IV

1. На каких наблюдениях следует строить теорию Луны

Изложив в предыдущей книге все явления, замечаемые в движении Солнца, мы начинаем в естественной последовательности изучение теории Луны; прежде всего мы полагаем, что в качестве исходных должно пользоваться не просто случайными наблюдениями, но для полного представления брать главным образом те доказательства, которые можно получить не только из наблюдений в течение достаточно большого промежутка времени, но в особенности из наблюдений лунных затмений. Действительно, только из этих наблюдений точно определяются положения Луны; в других же наблюдениях, получаемых или по прохождениям Луны по отношению к неподвижным звездам, или посредством инструментов, или по солнечным затмениям, можно очень сильно ошибиться вследствие параллактических смещений Луны¹. Что же касается частных, то их исследование уже можно производить и на основании других наблюдений. Действительно, поскольку расстояние, на котором от центра Земли находится сфера Луны, не настолько велико, чтобы по сравнению с ним можно было рассматривать Землю как точку, как это делается для зодиакального круга, то прямую, проведенную из центра Земли, т.е. из центра косого круга, и продолжаемую через центр Луны до делений круга через середины знаков зодиака, по отношению к которому определяются истинные положения светил, никак нельзя всегда отождествлять с наблюдаемой прямой, идущей от какого-нибудь места на земной поверхности, т.е. от точки нахождения наблюдателя, через центр Луны, по отношению к которой определяются видимые положения. Только когда Луна находится прямо над головой наблюдателя, совпадают обе эти прямые, именно от центра Земли и от [точки] местонахождения наблюдателя, продолженные через центр Луны до зодиака. Если же Луна как-нибудь отклоняется от места прямо над головой, то упомянутые прямые будут иметь разные наклоны, а вследствие этого видимое движение не будет совпадать с истинным, и при различных положениях глаза наблюдателя положения [светил], наблюдаемые [по линии] из центра Земли, будут отличаться от измеренных с поверхности Земли пропорционально величинам углов наклона².

Вот почему при солнечных затмениях, получающихся при прохождении Луны под Солнцем, когда Луна загораживает его, попадая в конус, идущий от нашего глаза к Солнцу, и производя при прохождении затемнения, последние ни по величине, ни по длительности не бывают везде одними и теми же, и даже подобными, поскольку Луна по упомянутым причинам не для всех наблюдателей одинаково заслоняет Солнце; и [даже для тех, для кого это имеет место] затемняемые места Солнца бывают разными³. Что же касается лунных затмений, то никакой разницы [в затемнениях] вследствие

параллактических смещений не получается, так как наблюдаемое затемнение [Луны] никак не зависит от положения наблюдателя [на поверхности Земли]. Действительно, Луна светит, освещаемая Солнцем; занимая диаметрально противоположное положение по отношению к Солнцу, она всегда кажется нам сияющей полностью, так как ее освещенное полушарие тогда целиком обращено к нам. Когда же она в таком диаметрально противоположном положении попадает в конус земной тени, который движется всегда прямо противоположно Солнцу, то перестает освещаться в зависимости от величины затмения, так как Земля задерживает свет, идущий от Солнца. Поэтому во всех частях Земли во время затмения она наблюдается одинаково затемненной как по величине, так и по продолжительности затмения. 268

Для построения нашей общей теории мы нуждаемся в определении истинных, а не видимых положений Луны, а их только и нужно учитывать, так как неупорядоченному и неравномерному всегда нужно предпочитать упорядоченное и равномерное. Поэтому мы говорим, что не следует пользоваться другими наблюдениями, в которых положения Луны зависят от местонахождения наблюдателя. Нужно пользоваться только наблюдениями ее затмений, так как в них для определения положения Луны место наблюдения не имеет никакого значения. Действительно, часть круга через середины зодиакальных созвездий, в которой находится Солнце в соответствующее середине затмения время, когда центр Луны по долготе диаметрально противоположен центру Солнца, эта часть во время середины затмения будет, конечно, лежать совершенно точно на одном диаметре с центром Луны.

2. О периодах лунных движений

Этого краткого изложения вполне достаточно для того, чтобы мы уяснили, по каким наблюдениям следует вообще определять все необходимое для теории движения Луны. Попробуем теперь изложить, каким методом древние пользовались при своих попытках представления движения Луны, а также какой метод и мы сами считаем наиболее полезным для установления гипотез, наиболее соответствующих наблюдениям. 269

Так как Луна кажется нам движущейся неравномерно как по широте, так и по долготе, т.е. она не всегда в одинаковые времена проходит круг через середины зодиакальных созвездий и совершает возвращение к той же широте, то без определения времени, необходимого для восстановления ее аномалии, невозможно найти и другие периоды ее движений [по долготе и широте]. Согласно произведенным подробным наблюдениям она может иметь наибольшие, наименьшие и средние [скорости] движения во всех частях зодиака, и точно так же во всех частях зодиака она бывает и самой северной, и самой южной, и находящейся на самом круге, проходящем через середины зодиакальных созвездий; поэтому естественно, что древние математики⁴ старались найти некоторый промежуток времени, в течение которого Луна всегда совершала бы одинаковое движение по долготе, так как только по истечении этого промежутка могла бы быть восстановленной аномалия. По вышеизложенным причинам, сопоставляя наблюдения лунных затмений, они пытались определить интервал, содержащий целое число месяцев, такой, что, каким бы способом ни отсчитывать это число месяцев, расстояние, пройденное [Луной] по долготе, будет всегда одним и тем же, т.е. будет содержать равное число целых оборотов [по долготе], или с добавлением каких-нибудь равных дуг. 270

Более древние вообще считали, что этот промежуток времени содержит $6585\frac{1}{3}$ дней; в течение этого промежутка времени, как они установили, совершается примерно 223 месячных обращения, 239 возвращений аномалии, 242 возвращения к той же широте, 241 оборот по долготе и что, кроме того, Солнце в течение этого промежутка к своим 18 круговым обращениям добавляет еще $102\frac{2}{3}$ градусов, если относить все возвращения к неподвижным звездам. Этот промежуток они называли «периодическим» как первый возвращающий в исходное состояние почти все различия движений⁵. А для получения целого числа дней они утроили эти $6585\frac{1}{3}$ дней и получили число дней, равное 19 756, которое они называли экселигмосом. Утраивая также и остальные числа, они получили 669 [синодических] месяцев, 717 восстановлений аномалии, 726 возвращений к той же широте, 723 оборота по долготе и, кроме того, 32 градуса, которые Солнце добавляет к 54 своим полным обращениям⁶.

Однако Гиппарх, производя вычисления на основании халдейских и собственных наблюдений, показал, что все это не совсем точно. Действительно, на основании приведенных им наблюдений он показывает, что 271 наименьшее число дней, определяющее период затмений, по истечении которых количество месяцев и величина [лунного] движения будут всегда одинаковы, равно 126 007 дням с 1 равноденственным часом. В течение этого времени он находит 4267 [синодических] месяцев, 4573 полных возвращения аномалии, 4612 обращений по зодиаку без $7\frac{1}{2}$ градусов, которых недостает Солнцу для совершения 345 полных оборотов по отношению к неподвижным звездам. Он сразу же находит, что средняя продолжительность месяца, получаемая делением приведенного выше числа дней на 4267 месяцев, будет приблизительно содержать 29;31,50,8,20 дней⁷. Он показывает затем, что соответствующий интервал от одного лунного затмения до другого будет всегда в точности тем же на протяжении этого промежутка [в $126\,007^d1^h$]. Таким образом, становится ясным, что аномалия восстанавливается, так как этот промежуток времени всегда содержит одинаковое число [синодических] месяцев [с какого бы затмения он ни начинался], и что к одинаковым 4611 обращениям по долготе прибавляются равные дуги в $352\frac{1}{2}$ градуса, как требуют времена соединений с Солнцем.

Если же искать число месяцев, не [покрывающих всегда тот же временной интервал] между соответствующими лунными затмениями, но только от одного полнолуния или новолуния до другого соединения того 272 же типа, то время возвращения аномалии оказалось бы еще меньшим, и для количества месяцев, если взять только их общий делитель — семнадцатую часть, получим 251 месяц и 269 восстановлений аномалии.

Однако указанное время [$126\,007^d1^h$] не может дать целое число возвращений к той же широте; действительно, возвращение затмений, по-видимому, сохраняет только равенство периодов по времени и по долготе, но не по величине и одинаковости [обстоятельств] затмений, по которым определяется широта. Найдя предварительно время возвращения аномалии, Гиппарх опять стал сравнивать промежутки времени, содержащие [целое] число месяцев и имеющие на каждом конце затмения, совершенно одинаковые как по величине, так и по продолжительности, для которых не имеется никакого различия в аномалии, так что вследствие этого получалось и возвращение к той же широте; он показал, что такой период содержит 5458 [синодических] месяцев и 5923 возвращения по широте⁸.

Вот каким методом пользовались наши предшественники при проведении подобных исследований. Что он не был ни простым, ни удобным, но требовал не какого-нибудь, а большого внимания, мы можем видеть из следующего. Если допустить, что продолжительности [двух] промежутков [между парами затмений] оказались точно равными друг другу, то прежде всего это не даст нам ничего полезного, если только в каждом из этих периодов не будет никакой разницы в аномалии Солнца или она всегда одинаковая. Если же это не так, но, как я сказал, имеется разница в его аномалии, то и само оно не сделает одинаковых обращений в равные промежутки времени, а также, конечно, и Луна. Действительно, если, например, каждый из сравниваемых промежутков, кроме целых и равных друг другу годов, будет содержать половину продолжительности года, то Солнце, двигаясь в течение этого времени в первом промежутке от среднего положения в Рыбах, а во втором — от среднего положения в Деве, пройдет в первом промежутке расстояние приблизительно на $4\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градуса меньше полуокружности, а во втором — на столько же больше полуокружности; таким же образом и Луна в равные времена пройдет в первом промежутке кроме целых кругов еще $175\frac{1}{4}$ градусов, а во втором — еще $184\frac{3}{4}$ градуса. Поэтому прежде всего следует сказать, что промежутки по отношению к Солнцу должны быть такими, чтобы они или содержали целое число полных его обращений, или чтобы в одном из промежутков прибавлялась полуокружность от апогея, а в другом — от перигея, или чтобы в каждом из промежутков начало было в одном и том же месте, или чтобы для первого затмения в одном промежутке и для второго в другом получались с обеих сторон одинаковые расстояния от перигея и апогея. Только при таких условиях в каждом промежутке или совсем не получится разницы в аномалии, или разница будет одинаковой, так что добавляемые дуги окажутся равными или между собой, или и между собой, и с дугами равномерного движения⁹.

Во-вторых, мы полагаем, что с подобным же вниманием следует отнестись к движениям Луны. Действительно, если на это не обратить внимания, то опять окажется, что Луна часто может проходить равные дуги по долготе и в одинаковые времена без полного восстановления ее аномалии. Последнее будет иметь место: если в каждом из промежутков она будет начинать свое движение с одинаковой скоростью, увеличивающейся или уменьшающейся, но не будет заканчивать движение с той же скоростью; если в одном промежутке она начнет движение с наибольшей скоростью и закончит с наименьшей, а в другом начнет с наименьшей и кончит с наибольшей; если в обоих промежутках места с начальной скоростью одного и с конечной скоростью другого будут равноотстоять от одного и того же места с наименьшей или наибольшей скоростью. В каждом из этих случаев или не будет никакой разницы [в движении по долготе], или же разница будет одинаковой, и вследствие этого получатся по долготе одинаковые дуги, но аномалия никогда не будет восстановленной. Следовательно, в выбираемых промежутках не должно иметь места ни одно из этих явлений, если нужно, чтобы они содержали период восстановления аномалии¹⁰. Наоборот, нам нужно выбирать промежутки [между затмениями] так, чтобы возможно лучше можно было показать их неравенство [с периодом аномалии], а именно чтобы они не содержали целых периодов

восстановления аномалии. Это будет иметь место, когда интервалы не только начинаются от мест с различными скоростями, но сами скорости различаются наибольшим образом по величине или по воздействию. По «величине», если в одном промежутке движение начнется с наименьшей скоростью и закончится не на наибольшей, а в другом, если начнется с наибольшей и закончится не на наименьшей скорости. Таким образом, получится наибольшая разница в дугах, пройденных по долготе, если будут описаны не полные круги аномалии, но с добавлением лучше всего одной или трех четвертей кругов аномалии, так как тогда промежутки будут отличаться на удвоенную [максимальную] разность в аномалии. По «воздействию» же, если в обоих промежутках движение начнется со средней скоростью, но не с той же самой, а именно в одном промежутке с возрастающей, а в другом с убывающей; и в этом случае приращения долгот будут больше всего различаться между собой, если до восстановления аномалии опять будет недоставать одной или трех четвертей кругов аномалии, так что получается двойная разница в аномалии, а для полукруга — четверная¹¹.

Мы видим, что, учитывая это, и Гиппарх проявлял величайшую осторожность при выборе промежутков в таком исследовании; для Луны он пользовался двумя промежутками, из которых в одном движение начиналось в точке с наибольшей скоростью и заканчивалось не в точке с наименьшей, а в другом движение начиналось в точке с наименьшей скоростью, но заканчивалось не в точке с наибольшей. Он также исправлял разницу, получающуюся от солнечного неравенства, хотя она была и небольшой, поскольку Солнцу не хватает до целого числа оборотов приблизительно $\frac{1}{4}$ двенадцатой части зодиака; причем в каждом из двух промежутков эта часть бывает различной и производящей разное уравнение аномалии¹².

Мы говорим это не для того, чтобы оспаривать предложенный метод получения периодических восстановлений, но чтобы настоятельно подчеркнуть, что предложенный способ можно принять лишь при должном внимании и соответствующем вычислении; если же опустить какую-нибудь из изложенных характерных особенностей, то можно очень сильно ошибиться в искомом определении; я хочу показать также, насколько трудно добиться соблюдения всех этих необходимых условий, даже если очень умно сделать выбор соответствующих наблюдений.

Так вот, для указанных периодических возвращений, вычисленных согласно методу Гиппарха, оказалось, что для периода [содержащего целое число синодических] месяцев, как мы сказали, при возможно более точном вычислении не получалось никакой заметной разницы с истинной величиной. Но для периодов [возвращения] по аномалии и широте получалась очень заметная ошибка, что мы и выяснили при помощи наиболее простых и удобных методов, употребляющихся для подобного исследования; мы это сейчас покажем при определении величины лунной аномалии. Сначала, что будет очень полезно для дальнейшего, мы приведем отдельные средние движения по долготе, широте и аномалии в соответствии с вышеуказанными периодами их возвращений, а также [периоды и соответствующие средние движения] полученные после исправления тем методом, который мы изложим в дальнейшем¹³.

3. О частных значениях средних движений Луны

278

Если найденное выше среднее суточное движение Солнца, равное приблизительно 0;59,8,17,13,12,31 градусов, мы умножим на число дней в одном месяце 29;31,50,8,20 и прибавим к полученному произведению 360 градусов одного круга, то получим приблизительно 389;6,23,1,24,2,30,57 градусов, которые Луна проходит по долготе в течение одного месяца. Если мы разделим их на данное выше число дней месяца, то получим среднее суточное движение Луны по долготе, равное приблизительно 13;10,34,58,33,30,30 градусам.

Затем, если 269 кругов аномалии мы умножим на 360 градусов одного круга, то получим количество градусов, равное 96 840. Если мы разделим это число на количество дней в 251 месяце, а именно на 7412;10,44,51,40, то получим среднее суточное движение по аномалии, равное 13;3,53,56,29,38,38 градусам.

Точно так же, умножив 5923 возвращения широты на 360 градусов одного круга, мы получим количество градусов, равное 2 132 280. Разделив это число на количество дней в 5458 месяцах, равное 161177;58,58,3,20, мы получим среднее суточное движение по широте, равное 13;13,45,39,40,17,19 градусам. 279

Далее, отняв от суточного движения Луны по долготе среднее суточное движение Солнца, получим среднее суточное движение по элонгации, равное 12;11,26,41,20,17,59 градусам. Однако при помощи методов исследования, которые, как мы сказали, будут изложены нами дальше, среднее суточное движение по долготе получится почти совпадающим с приведенным выше; то же самое будет, конечно, справедливо и для движения по элонгации; но движение по аномалии будет меньше на 0;0,0,0,11,46,39 градусов и, следовательно, равным 13;3,53,56,17,51,59 градусам, а движение по широте — большим на 0;0,0,0,8,39,18, так что оно оказывается равным 13;13,45,39,48,56,37 градусам¹⁴.

Если от этого суточного движения мы возьмем двадцать четвертую часть, то получим среднее часовое движение:

- по долготе — 0;32,56,27,26,23,46,15 градусов,
- по аномалии — 0;32,39,44,50,44,39,57,30 градусов,
- по широте — 0;33,4,24,9,32,21,32,30 градусов,
- по элонгации — 0;30,28,36,43,20,44,57,30 градусов. 280

Если умножим суточные движения на тридцать и отбросим полные обороты, то получим среднее месячное прибавление:

- долготы — 35;17,29,16,45,15 градусов,
- аномалии — 31;56,58,8,55,59,30 градус,
- широты — 36;52,49,54,28,18,30 градусов,
- элонгации — 5;43,20,40,8,59,30 градусов.

Затем, если суточные движения мы умножим на 365 дней египетского года и отбросим полные обороты, то получим среднее годовое прибавление:

- долготы — 129;22,46,13,50,32,30 градусов,
- аномалии — 88;43,7,28,41,13,55 градусов,
- широты — 148;42,47,12,44,25,5 градусов,
- элонгации — 129;37,21,28,29,23,55 градусов.

Наконец, умножив годовые движения на восемнадцать, что, как мы говорили, очень удобно при составлении таблиц, и отбросив целые круги, получим среднее восемнадцатилетнее прибавление:

долготы	— 168;49,52,9,9,45 градусов,
аномалии	— 156;56,14,36,22,10,30 градусов,
широты	— 156;50,9,49,19,31,30 градусов,
элонгации	— 173;12,26,32,49,10,30 градуса.

281 Теперь, как и для Солнца, составим опять три таблицы, содержащие по 45 строк и по 5 столбцов каждая. Из столбцов первый будет содержать соответствующие времена: в первой таблице — восемнадцатилетия, во второй — годы и за ними часы, в третьей — месяцы и за ними сутки; четыре остальных столбца будут давать соответствующие прибавления градусов, а именно: второй по долготе, третий по аномалии, четвертый по широте и пятый по элонгации; расположение таблиц будет таково.

282–293

4. Таблицы средних движений Луны

См. с. 110—115

294

5. О том, что при простой гипотезе о движении Луны, будет она гипотезой эксцентра или эпицикла, видимые явления будут одними и теми же

Теперь следует показать характер и величину лунного неравенства; здесь мы дадим его теорию в предположении, что имеется только одно неравенство, единственное, которое, по-видимому, только и заметили почти все наши предшественники; я подразумеваю то, период которого соответствует указанному времени восстановления аномалии. После этого мы покажем, что Луна обладает еще и вторым неравенством, зависящим от расстояния до Солнца; оно бывает наибольшим в обеих квадратурах, дважды за месяц совершает обращение и становится равным нулю в новолуние и полнолуние.

Такую последовательность проведения доказательств мы принимаем вследствие того, что это последнее неравенство, будучи тесно связано с первым, вообще никак не может быть без него обнаружено, тогда как первое можно рассматривать и без второго, поскольку оно определяется из наблюдений лунных затмений, когда зависящее от положения Солнца второе неравенство не дает никакой заметной разницы. При этом предварительном рассмотрении мы будем следовать тем теоретическим методам доказатель-

295 ства, которые, как мы знаем, применял Гиппарх¹⁵. Мы также возьмем три лунных затмения и определим наибольшее отклонение [Луны по долготе] сравнительно со средним движением и время, когда Луна будет в апогее, полагая, что одно только это [первое] неравенство и имеет место и что оно порождается эпициклической гипотезой, хотя все явления будут такими же, если мы привлечем гипотезу эксцентра; эту гипотезу, однако, лучше использовать при исследовании второго неравенства, зависящего от положения относительно Солнца, когда мы придем к объединению обоих неравенств.

Однако при каждой из приведенных гипотез явления будут теми же самыми независимо от того, будут времена обоих возвращений, а именно восстановления аномалии и возвращения Луны к той же точке круга, проходящего через середины знаков зодиака, одинаковыми, как мы показали

18-летние периоды	Прибавление долготы [В начальную эпоху]: 12;22°							Прибавление аномалии [В начальную эпоху]: 268;49°						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
18	168	49	52	9	9	45	0	156	56	14	36	22	10	30
36	337	39	44	18	19	30	0	313	52	29	12	44	21	0
54	146	29	36	27	29	15	0	110	48	43	49	6	31	30
72	315	19	28	36	39	0	0	267	44	58	25	28	42	0
90	124	9	20	45	48	45	0	64	41	13	1	50	52	30
108	292	59	12	54	58	30	0	221	37	27	38	13	3	0
126	101	49	5	4	8	15	0	18	33	42	14	35	13	30
144	270	38	57	13	18	0	0	175	29	56	50	57	24	0
162	79	28	49	22	27	45	0	332	26	11	27	19	34	30
180	248	18	41	31	37	30	0	129	22	26	3	41	45	0
198	57	8	33	40	47	15	0	286	18	40	40	3	55	30
216	225	58	25	49	57	0	0	83	14	55	16	26	6	0
234	34	48	17	59	6	45	0	240	11	9	52	48	16	30
252	203	38	10	8	16	30	0	37	7	24	29	10	27	0
270	12	28	2	17	26	15	0	194	3	39	5	32	37	30
288	181	17	54	26	36	0	0	350	59	53	41	54	48	0
306	350	7	46	35	45	45	0	147	56	8	18	16	58	30
324	158	57	38	44	55	30	0	304	52	22	54	39	9	0
342	327	47	30	54	5	15	0	101	48	37	31	1	19	30
360	136	37	23	3	15	0	0	258	44	52	7	23	30	0
378	305	27	15	12	24	45	0	55	41	6	43	45	40	30
396	114	17	7	21	34	30	0	212	37	21	20	7	51	0
414	283	6	59	30	44	15	0	9	33	35	56	30	1	30
432	91	56	51	39	54	0	0	166	29	50	32	52	12	0
450	260	46	43	49	3	45	0	323	26	5	9	14	22	30
468	69	36	35	58	13	30	0	120	22	19	45	36	33	0
486	238	26	28	7	23	15	0	277	18	34	21	58	43	30
504	47	16	20	16	33	0	0	74	14	48	58	20	54	0
522	216	6	12	25	42	45	0	231	11	3	34	43	4	30
540	24	56	4	34	52	30	0	28	7	18	11	5	15	0
558	193	45	56	44	2	15	0	185	3	32	47	27	25	30
576	2	35	48	53	12	0	0	341	59	47	23	49	36	0
594	171	25	41	2	21	45	0	138	56	2	0	11	46	30
612	340	15	33	11	31	30	0	295	52	16	36	33	57	0
630	149	5	25	20	41	15	0	92	48	31	12	56	7	30
648	317	55	17	29	51	0	0	249	44	45	49	18	18	0
666	126	45	9	39	0	45	0	46	41	0	25	40	28	30
684	295	35	1	48	10	30	0	203	37	15	2	2	39	0
702	104	24	53	57	20	15	0	0	33	29	38	24	49	30
720	275	14	46	6	30	0	0	157	29	44	14	47	0	0
738	82	4	38	15	39	45	0	314	25	58	51	9	10	30
756	250	54	30	24	49	30	0	111	22	13	27	31	21	0
774	59	44	22	33	59	15	0	268	18	28	3	53	31	30
792	228	34	14	43	9	0	0	65	14	42	40	15	42	0
810	37	24	6	52	18	45	0	222	10	57	16	37	52	30

18-летние периоды	Прибавление широты [В начальную эпоху]: 354;15°							Прибавление элонгации [В начальную эпоху]: 70;37°						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
18	156	50	9	49	19	31	30	173	12	26	32	49	10	30
36	313	40	19	38	39	3	0	346	24	53	5	38	21	0
54	110	30	29	27	58	34	30	159	37	19	38	27	31	30
72	267	20	39	17	18	6	0	332	49	46	11	16	42	0
90	64	10	49	6	37	37	30	146	2	12	44	5	52	30
108	221	0	58	55	57	9	0	319	14	39	16	55	3	0
126	17	51	8	45	16	40	30	132	27	5	49	44	13	30
144	174	41	18	34	36	12	0	305	39	32	22	33	24	0
162	331	31	28	23	55	43	30	118	51	58	55	22	34	30
180	128	21	38	13	15	15	0	292	4	25	28	11	45	0
198	285	11	48	2	34	46	30	105	16	52	1	0	55	30
216	82	1	57	51	54	18	0	278	29	18	33	50	6	0
234	238	52	7	41	13	49	30	91	41	45	6	39	16	30
252	35	42	17	30	33	21	0	264	54	11	39	28	27	0
270	192	32	27	19	52	52	30	78	6	38	12	17	37	30
288	349	22	37	9	12	24	0	251	19	4	45	6	48	0
306	146	12	46	58	31	55	30	64	31	31	17	55	58	30
324	303	2	56	47	51	27	0	237	43	57	50	45	9	0
342	99	53	6	37	10	58	30	50	56	24	23	34	19	30
360	256	43	16	26	30	30	0	224	8	50	56	23	30	0
378	53	33	26	15	50	1	30	37	21	17	29	12	40	30
396	210	23	36	5	9	33	0	210	33	44	2	1	51	0
414	7	13	45	54	29	4	30	23	46	10	34	51	1	30
432	164	3	55	43	48	36	0	196	58	37	7	40	12	0
450	320	54	5	33	8	7	30	10	11	3	40	29	22	30
468	117	44	15	22	27	39	0	183	23	30	13	18	33	0
486	274	34	25	11	47	10	30	356	35	56	46	7	43	30
504	71	24	35	1	6	42	0	169	48	23	18	56	54	0
522	228	14	44	50	26	13	30	343	0	49	51	46	4	30
540	25	4	54	39	45	45	0	156	13	16	24	35	15	0
558	181	55	4	29	5	16	30	329	25	42	57	24	25	30
576	338	45	14	18	24	48	0	142	38	9	30	13	36	0
594	135	35	24	7	44	19	30	315	50	36	3	2	46	30
612	292	25	33	57	3	51	0	129	3	2	35	51	57	0
630	89	15	43	46	23	22	30	302	15	29	8	41	7	30
648	246	5	53	35	42	54	0	115	27	55	41	30	18	0
666	42	56	3	25	2	25	30	288	40	22	14	19	28	3
684	199	46	13	14	21	57	0	101	52	48	47	8	39	0
702	356	36	23	3	41	28	30	275	5	15	19	57	49	30
720	153	26	32	53	1	0	0	88	17	41	52	47	0	0
738	310	16	42	42	20	31	30	261	30	8	25	36	10	30
756	107	6	52	31	40	3	0	74	42	34	58	25	21	0
774	263	57	2	20	59	34	30	247	55	1	31	14	31	30
792	60	47	12	10	19	6	0	61	7	28	4	3	42	0
810	217	37	21	59	38	37	30	234	19	54	36	52	52	30

Простые годы	Прибавление долготы							Прибавление аномалии						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	129	22	46	13	50	32	30	88	43	7	28	41	13	55
2	258	45	32	27	41	5	0	177	26	14	57	22	27	50
3	28	8	18	41	31	37	30	266	9	22	26	3	41	45
4	157	31	4	55	22	10	0	354	52	29	54	44	55	40
5	286	53	51	9	12	42	30	83	35	37	23	26	9	35
6	56	16	37	23	3	15	0	172	18	44	52	7	23	30
7	185	39	23	36	53	47	30	261	1	52	20	48	37	25
8	315	2	9	50	44	20	0	349	44	59	49	29	51	20
9	84	24	56	4	34	52	30	78	28	7	18	11	5	15
10	213	47	42	18	25	25	0	167	11	14	46	52	19	10
11	343	10	28	32	15	57	30	255	54	22	15	33	33	5
12	112	33	14	46	6	30	0	344	37	29	44	14	47	0
13	241	56	0	59	57	2	30	73	20	37	12	56	0	55
14	11	18	47	13	47	35	0	162	3	44	41	37	14	50
15	140	41	33	27	38	7	30	250	46	52	10	18	28	45
16	270	4	19	41	28	40	0	339	29	59	38	59	42	40
17	39	27	5	55	19	12	30	78	13	7	7	40	56	35
18	168	49	52	9	9	45	0	156	56	14	36	22	10	30

Часы	Прибавление долготы							Прибавление аномалии						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	0	32	56	27	26	23	46	0	32	39	44	50	44	40
2	1	5	52	54	52	47	32	1	5	19	29	41	29	20
3	1	38	49	22	19	11	18	1	37	59	14	32	14	0
4	2	11	45	49	45	35	5	2	10	38	59	22	58	40
5	2	44	42	17	11	58	51	2	43	18	44	13	43	20
6	3	17	38	44	38	22	37	3	15	58	29	4	28	0
7	3	50	35	12	4	46	23	3	48	38	13	55	12	40
8	4	23	31	39	31	10	10	4	21	17	58	45	57	20
9	4	56	28	6	57	33	56	4	53	57	43	36	42	0
10	5	29	24	34	23	57	42	5	26	37	28	27	26	40
11	6	2	21	1	50	21	28	5	59	17	13	18	11	20
12	6	35	17	29	16	45	15	6	31	56	58	8	56	0
13	7	8	13	56	43	9	1	7	4	36	42	59	40	39
14	7	41	10	24	9	32	47	7	37	16	27	50	25	19
15	8	14	6	51	35	56	33	8	9	56	12	41	9	59
16	8	47	3	19	2	20	20	8	42	35	57	31	54	39
17	9	19	59	46	28	44	6	9	15	15	42	22	39	19
18	9	52	56	13	55	7	52	9	47	55	27	13	23	59
19	10	25	52	41	21	31	38	10	20	35	12	4	8	39
20	10	58	49	8	47	55	25	10	53	14	56	54	53	19
21	11	31	45	36	14	19	11	11	25	54	41	45	37	59
22	12	4	42	3	40	42	57	11	58	34	26	36	22	39
23	12	37	38	31	7	6	43	12	31	14	11	27	7	19
24	13	10	34	58	33	30	30	13	3	53	56	17	51	59

Простые годы	Прибавление широты							Прибавление элонгации						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	148	42	47	12	44	25	5	129	37	21	28	29	23	55
2	297	25	34	25	28	50	10	259	14	42	56	58	47	50
3	86	8	21	38	13	15	15	28	52	4	25	28	11	45
4	234	51	8	50	57	40	20	158	29	25	53	57	35	40
5	23	33	56	3	42	5	25	288	6	47	22	26	59	35
6	172	16	43	16	26	30	30	57	44	8	50	56	23	30
7	320	59	30	29	10	55	35	187	21	30	19	25	47	25
8	109	42	17	41	55	20	40	316	58	51	47	55	11	20
9	258	25	4	54	39	45	45	86	36	13	16	24	35	15
10	47	7	52	7	24	10	50	216	13	34	44	53	59	10
11	195	50	39	20	8	35	55	345	50	56	13	23	23	5
12	344	33	26	32	53	1	0	115	28	17	41	52	47	0
13	133	16	13	45	37	26	5	245	5	39	10	22	10	55
14	281	59	0	58	21	51	10	14	43	0	38	51	34	50
15	70	41	48	11	6	16	15	144	20	22	7	20	58	45
16	219	24	35	23	50	41	20	273	57	43	35	50	22	40
17	8	7	22	36	35	6	25	43	35	5	4	19	46	35
18	156	50	9	49	19	31	30	173	12	26	32	49	10	30

Часы	Прибавление широты							Прибавление элонгации						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	0	33	4	24	9	32	22	0	30	28	36	43	20	45
2	1	6	8	48	19	4	43	1	0	57	13	26	41	30
3	1	39	13	12	28	37	5	1	31	25	50	10	2	15
4	2	12	17	36	38	9	26	2	1	54	26	53	23	0
5	2	45	22	0	47	41	48	2	32	23	3	36	43	45
6	3	18	26	24	57	14	9	3	2	51	40	20	4	30
7	3	51	30	49	6	46	31	3	33	20	17	3	25	15
8	4	24	35	13	16	18	52	4	3	48	53	46	46	0
9	4	57	39	37	25	51	14	4	34	17	30	30	6	45
10	5	30	44	1	35	23	35	5	4	46	7	13	27	30
11	6	3	48	25	44	55	57	5	35	14	43	56	48	15
12	6	36	52	49	54	28	18	6	5	43	20	40	9	0
13	7	9	57	14	4	0	40	6	36	11	57	23	29	44
14	7	43	1	38	13	33	2	7	6	40	34	6	50	29
15	8	16	6	2	23	5	23	7	37	9	10	50	11	14
16	8	49	10	26	32	37	45	8	7	37	47	33	31	59
17	9	22	14	50	42	10	6	8	38	6	24	16	52	44
18	9	55	19	14	51	42	28	9	8	35	1	0	13	29
19	10	28	23	39	1	14	49	9	39	3	37	43	34	14
20	11	1	28	3	10	47	11	10	9	32	14	26	54	59
21	11	34	32	27	20	19	32	10	40	0	51	10	15	44
22	12	7	36	51	29	51	54	11	10	29	27	53	36	29
23	12	40	41	15	39	24	15	11	40	58	4	36	57	14
24	13	13	45	39	48	56	37	12	11	26	41	20	17	59

Месяцы	Прибавление долготы							Прибавление аномалии						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
30	35	17	29	16	45	15	0	31	56	58	8	55	59	30
60	70	34	58	33	30	30	0	63	53	56	17	51	59	0
90	105	52	27	50	15	45	0	95	50	54	26	47	58	30
120	141	9	57	7	1	0	0	127	47	52	35	43	58	0
150	176	27	26	23	46	15	0	159	44	50	44	39	57	30
180	211	44	55	40	31	30	0	191	41	48	53	35	57	0
210	247	2	24	57	16	45	0	223	38	47	2	31	56	30
240	282	19	54	14	2	0	0	255	35	45	11	27	56	0
270	317	37	23	30	47	15	0	287	32	43	20	23	55	30
300	352	54	52	47	32	30	0	319	29	41	29	19	55	0
330	28	12	22	4	17	45	0	351	26	39	38	15	54	30
360	63	29	51	21	3	0	0	23	23	37	47	11	54	0

Сутки	Прибавление долготы							Прибавление аномалии						
	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''	°	'	''	'''	''''	'''''	''''''
1	13	10	34	58	33	30	30	13	3	53	56	17	51	59
2	26	21	9	57	7	1	0	26	7	47	52	35	43	58
3	39	31	44	55	40	31	30	39	11	41	48	53	35	57
4	52	42	19	54	14	2	0	52	15	35	45	11	27	56
5	65	52	54	52	47	32	30	65	19	29	41	29	19	55
6	79	3	29	51	21	3	0	78	23	23	37	47	11	54
7	92	14	4	49	54	33	30	91	27	17	34	5	3	53
8	105	24	39	48	28	4	0	104	31	11	30	22	55	52
9	118	35	14	47	1	34	30	117	35	5	26	40	47	51
10	131	45	49	45	35	5	0	130	38	59	22	58	39	50
11	144	56	24	44	8	35	30	143	42	53	19	16	31	49
12	158	6	59	42	42	6	0	156	46	47	15	34	23	48
13	171	17	34	41	15	36	30	169	50	41	11	52	15	47
14	184	28	9	39	49	7	0	182	54	35	8	10	7	46
15	197	38	44	38	22	37	30	195	58	29	4	27	59	45
16	210	49	19	36	56	8	0	209	2	23	0	45	51	44
17	223	59	54	35	29	38	30	222	6	16	57	3	43	43
18	237	10	29	34	3	9	0	235	10	10	53	21	35	42
19	250	21	4	32	36	39	30	248	14	4	49	39	27	41
20	263	31	39	31	10	10	0	261	17	58	45	57	19	40
21	276	42	14	29	43	40	30	274	21	52	42	15	11	39
22	289	52	49	28	17	11	0	287	25	46	38	33	3	38
23	303	3	24	26	50	41	30	300	29	40	34	50	55	37
24	316	13	59	25	24	12	0	313	33	34	31	8	47	36
25	329	24	34	23	57	42	30	326	37	28	27	26	39	35
26	342	35	9	22	31	13	0	339	41	22	23	44	31	34
27	355	45	44	21	4	43	30	352	45	16	20	2	23	33
28	8	56	19	19	38	14	0	5	49	10	16	20	15	32
29	22	6	54	18	11	44	30	18	53	4	12	38	7	31
30	35	17	29	16	45	15	0	31	56	58	8	55	59	30

Месяцы	Прибавление широты							Прибавление элонгации						
	°	'	"	'''	''''	'''''	''''''	°	'	"	'''	''''	'''''	''''''
30	36	52	49	54	28	18	30	5	43	20	40	8	59	30
60	73	45	39	48	56	37	0	11	26	41	20	17	59	0
90	110	38	29	43	24	55	30	17	10	2	0	26	58	30
120	147	31	19	37	53	14	0	22	53	22	40	35	58	0
150	184	24	9	32	21	32	30	28	36	43	20	44	57	30
180	221	16	59	26	49	51	0	34	20	4	0	53	57	0
210	258	9	49	21	18	9	30	40	3	24	41	2	56	30
240	295	2	39	15	46	28	0	45	46	45	21	11	56	0
270	331	55	29	10	14	46	30	51	30	6	1	20	55	30
300	8	48	19	4	43	5	0	57	13	26	41	29	55	0
330	45	41	8	59	11	23	30	62	56	47	21	38	54	30
360	82	33	58	53	39	42	0	68	40	8	1	47	54	0

Сутки	Прибавление широты							Прибавление элонгации						
	°	'	"	'''	''''	'''''	''''''	°	'	"	'''	''''	'''''	''''''
1	13	13	45	39	48	56	37	12	11	26	41	20	17	59
2	26	27	31	19	37	53	14	24	22	53	22	40	35	58
3	39	41	16	59	26	49	51	36	34	20	4	0	53	57
4	52	55	2	39	15	46	28	48	45	46	45	21	11	56
5	66	8	48	19	4	43	5	60	57	13	26	41	29	55
6	79	22	33	58	53	39	42	73	8	40	8	1	47	54
7	92	36	19	38	42	36	19	85	20	6	49	22	5	53
8	105	50	5	18	31	32	56	97	31	33	30	42	23	52
9	119	3	50	58	20	29	33	109	43	0	12	2	41	51
10	132	17	36	38	9	26	10	121	54	26	53	22	59	50
11	145	31	22	17	58	22	47	134	5	53	34	43	17	49
12	158	45	7	57	47	19	24	146	17	20	16	3	35	48
13	171	58	53	37	36	16	1	158	28	46	57	23	53	47
14	185	12	39	17	25	12	38	170	40	13	38	44	11	46
15	198	26	24	57	14	9	15	182	51	40	20	4	29	45
16	211	40	10	37	3	5	52	195	3	7	1	24	47	44
17	224	53	56	16	52	2	29	207	14	33	42	45	5	43
18	238	7	41	56	40	59	6	219	26	0	24	5	23	42
19	251	21	27	36	29	55	43	231	37	27	5	25	41	41
20	264	35	13	16	18	52	20	243	48	53	46	45	59	40
21	277	48	58	56	7	48	57	256	0	20	28	6	17	39
22	291	2	44	35	56	45	34	268	11	47	9	26	35	38
23	304	16	30	15	45	42	11	280	23	13	50	46	53	37
24	317	30	15	55	34	38	48	292	34	40	32	7	11	36
25	330	44	1	35	23	35	25	304	46	7	13	27	29	35
26	343	57	47	15	12	32	2	316	57	33	54	47	47	34
27	357	11	32	55	1	28	39	329	9	0	36	8	5	33
28	10	25	18	34	50	25	16	341	20	27	17	28	23	32
29	23	39	4	14	39	21	53	353	31	53	58	48	41	31
30	36	52	49	54	28	18	30	5	43	20	40	8	59	30

это для Солнца¹⁶, или, как у Луны, они будут неравными при сохранении отношений [размеров орбит]. Мы сможем увидеть это из следующего, производя анализ лунного движения с помощью упомянутой выше единственной аномалии.

Так как возвращение к той же точке круга через середины знаков Луна производит быстрее, чем при восстановлении аномалии, то при гипотезе эпицикла последний при движении по концентрическому с зодиаком кругу в одинаковые, конечно, времена всегда пройдет дугу, большую, чем подобная той¹⁷, которую Луна опишет по эпициклу. При гипотезе же эксцента Луна по эксцентру пройдет дугу, подобную той, которая была описана на эпицикле, в то время как эксцентр, сдвигаясь в одну сторону с Луной вокруг центра зодиака, пройдет дугу, равную той, на какую движение по долготе превосходит движение по аномалии. А это соответствует тому, на сколько дуга, получающаяся на эксцентрическом круге, будет больше соответствующей дуги эпицикла. Действительно, только таким образом в обеих гипотезах можно сохранить равенство не только отношений [размеров орбит], но и периодов обоих этих движений [по долготе и аномалии]¹⁸.

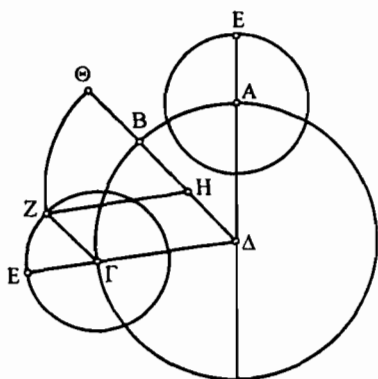


Рис. 4.1

Итак, предполагая, что все это необходимо вытекает из сделанных предпосылок, возьмем [на рис. 4.1] круг АВГ, концентрический с проходящим через середины знаков зодиака, имеющий центр Δ и радиус¹⁹ АΔ, и эпицикл EZ вокруг центра Γ. Предположим, что при нахождении эпицикла в А, а Луны в апогее Е эпицикла в одинаковые времена эпицикл прошел дугу АГ, а Луна — EZ; проведем соединительные прямые ЕΔ и ГZ. Так как дуга АГ больше, чем дуга EZ, то отложим ВГ, подобную EZ, и соединим В и Δ. Ясно, что в одно и то же время эксцентр повернется на угол АΔВ, представляющий разность обоих движений [АГ и ВГ], а его центр и апогей окажутся на прямой ВΔ. Если же это так, то возьмем ΔН, равную ГZ, и соединим ZH, затем из центра Н радиусом НZ опишем эксцентрический круг ZΘ. Я утверждаю, что отношение ZH к НΔ будет таким же, как отношение ΔГ к ГZ, и что по этой гипотезе Луна будет в точке Z, т.е. дуга ZΘ будет подобной EZ.

Действительно, так как угол ВΔГ равен ЕГZ, то прямая ГZ будет параллельна ΔН; но ГZ равна ΔН; следовательно, ZH будет равной и параллельной ГΔ, и отношение ZH к НΔ будет таким же, как у ΔГ к ГZ. Далее, так как ΔГ параллельна НZ, то угол ГΔВ будет равен ZHΘ. Но по предположению угол ГΔВ равнялся ЕГZ, так что и дуга ZΘ будет подобна EZ. Следовательно, при каждой из гипотез Луна приходит в точку Z в одно и то же время, так как она прошла дугу EZ эпицикла и ZΘ эксцента, которые, как показано, подобны; при этом центр эпицикла прошел дугу АГ, а центр эксцента — дугу АВ, соответствующую разности между АГ и [подобной] EZ. Это и требовалось доказать.

Более того, даже если члены отношений будут не равными и не тождественными и если эксцентр не будет равен концентрическому кругу, то будет иметь место то же самое, если только отношения [размеров орбит] подобны; это мы уясним себе так.

Сделаем чертежи отдельно для каждого из предположений. Пусть $AB\Gamma$ — круг, концентрический проходящему через середины созвездий зодиака [рис. 4.2], имеющий центр в Δ , радиус AD и эпицикл EZ с центром в Γ , Луна же находится в Z . Пусть также эксцентрическим кругом будет $H\Theta K$ около центра Λ и с диаметром $\Theta\Lambda M$, на котором находится центр M зодиака [рис. 4.3]. Пусть Луна будет в точке K . На первом чертеже проведем соединительные прямые $\Delta\Gamma E$, ΓZ , ΔZ , а на втором HM , KM , ΛK . Предположим, что отношение $\Delta\Gamma$ к ΓE будет таким же, как у $\Theta\Lambda$ к ΛM , и пусть в одно и то же время эпицикл передвинется на угол $AD\Gamma$, а Луна — на EGZ , эксцентр же — на угол $H\Lambda M$, а Луна — на $\Theta\Lambda K$. Следовательно, на основании предположенного равенства отношений движений угол EGZ будет равен $\Theta\Lambda K$, а угол $AD\Gamma$ — вместе взятым углом $H\Lambda M$ и углу $\Theta\Lambda K$.

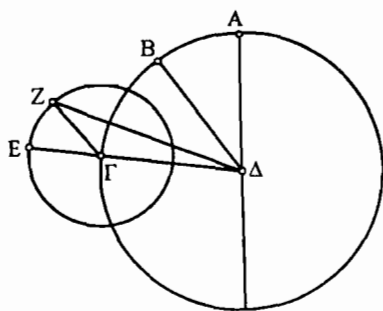


Рис. 4.2

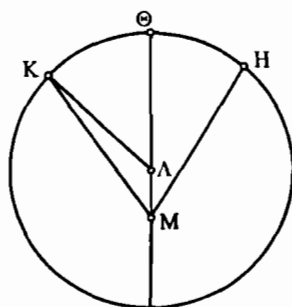


Рис. 4.3

Если так, то я опять утверждаю, что при каждой гипотезе в одно и то же время Луна покажется прошедшей равные дуги, иными словами, что угол ADZ будет равен углу HMK . В начале рассматриваемого промежутка времени Луна находилась в апогее и усматривалась по прямым ΔA и MH , в конце же, находясь в точках Z и K , усматривалась по $Z\Delta$ и MK .

Возьмем дугу $B\Gamma$, подобную каждой из ΘK и EZ , и проведем соединительную прямую $B\Delta$. Поскольку теперь как $\Delta\Gamma$ относится к ΓZ , так будет относиться и ΛK к ΛM , и у равных углов при точках Γ и Λ стороны пропорциональны, то треугольник $\Gamma\Delta Z$ будет равноугольным с ΛKM и углы, стягиваемые пропорциональными сторонами, будут равны. Следовательно, угол $\Gamma Z\Delta$ будет равен углу ΛMK . Но так как по предположению углы $Z\Gamma E$ и $B\Delta E$ одинаковы, то вследствие параллельности сторон ΓZ и $B\Delta$ и угол $B\Delta Z$ будет также равен $\Gamma Z\Delta$. Значит, и угол $Z\Delta B$ будет равен углу ΛMK . Но по предположению угол $AD\Gamma$ — разность этих движений — равняется углу $H\Lambda M$ движения эксцентра; следовательно, и весь угол ADZ будет равным углу KMH , что и требовалось доказать.

6. Определение первого, или простого лунного неравенства

Вот это должны мы были предварительно рассмотреть. Теперь произведем определение упомянутого лунного неравенства при помощи гипотезы эпицикла по указанной выше причине²⁰. Сначала из имеющихся у нас

самых древних затмений выберем три, кажущиеся нам тщательно записанными; затем из современных возьмем еще три затмения, наблюденные нами с наибольшей точностью. Таким образом, мы проведем исследование, простирающееся на возможно больший промежуток времени, и, кроме того, покажем, что величина [максимального] неравенства в обоих рядах наблюдений будет приблизительно одной и той же, а приращение средних движений — соответствующим получаемому по установленным продолжительностям периодов с нашими поправками²¹.

Для определения первого и могущего быть рассмотренным независимо неравенства²² при помощи гипотезы эпицикла мы будем рассуждать так. В сфере Луны вообразим круг, концентрический и расположенный в одной плоскости с кругом, проходящим через середины знаков зодиака. Другой круг [того же диаметра], имеющий к первому наклон, соответствующий величине [максимального] отклонения Луны по широте, представим равномерно вращающимся против последовательности знаков вокруг центра круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, и перемещающимся [по этому кругу] настолько, насколько движение по широте превосходит движение по долготе. Предположим, что по этому наклонному кругу движется так называемый эпицикл, так же равномерно, но уже в направлении последовательности знаков в соответствии с законом восстановления широты. Этот круг, рассматриваемый по отношению к восходящему через середины знаков, определит, конечно, [среднее] движение по долготе. По этому эпициклу будет двигаться Луна на дуге, прилегающей к апогею, против последовательности знаков в соответствии с восстановлением аномалии²³. Однако для предлагаемого вычисления нам не нужно затруднять себя ни движением по широте, ни перемещением самого наклонного круга, поскольку этот наклон не производит никакой заметной разницы в движении по долготе²⁴.

Из выбранных нами трех древних затмений, наблюденных в Вавилоне, первое, согласно записи, произошло в первый год Мардокемпада, с 29-го на 30-е число египетского месяца Тот. Затмение, как говорят, началось после восхода Луны, когда прошло уже более часа, и было полным²⁵. Так как Солнце находилось в конце Рыб и ночь равнялась приблизительно 12 равноденственным часам, то начало этого затмения имело, очевидно, место за $4\frac{1}{2}$ равноденственных часа до полуночи, средняя же фаза, поскольку затмение было полным, — за $2\frac{1}{2}$ часа до полуночи. Следовательно, в Александрии, к меридиану которой мы относим начало отсчета времени (этот меридиан отстоит от вавилонского примерно на $\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственного часа к западу), средняя фаза упомянутого затмения имела место за $3\frac{1}{3}$ равноденственного часа до полуночи; в этот час, согласно произведенным нами вычислениям, истинное положение Солнца было приблизительно на $24\frac{1}{2}$ градусах Рыб²⁶.

Второе из этих затмений, согласно записи, произошло во 2 год того же Мардокемпада, в ночь с 18-го на 19-е число египетского месяца Тот. Затмилось, как говорят, на 3 пальца с юга в самую полночь²⁷. Так как средняя фаза по наблюдению была в Вавилоне в самую полночь, то в Александрии она должна была произойти за $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ часа до полуночи; в этот час положение Солнца было в точности на $13\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Рыб²⁸.

Третье из этих затмений, согласно записи, было в тот же самый 2 год Мардокемпада, в египетский месяц Фаменот с 15-го на 16-е число. Начало затмения было, как передают, после восхода, и Луна затмилась с севера более чем на половину²⁹. Так как Солнце было в начале Девы и продолжительность ночи в Вавилоне равнялась приблизительно 11 равноденственным часам, то половина ночи составляла $5\frac{1}{2}$ часов. Следовательно, начало затмения было самое большее за 5 равноденственных часов до полуночи, так как оно началось после восхода, а средняя фаза — за $3\frac{1}{2}$ часа. Поскольку продолжительность затмения таких размеров должна равняться приблизительно 3 часам, в Александрии средняя фаза затмения опять закончилась за $4\frac{1}{3}$ равноденственных часа до полуночи; в этот час истинное положение Солнца было приблизительно на $3\frac{1}{4}$ градусах Девы³⁰.

Теперь ясно, что в промежутке времени от средней фазы первого затмения до средней фазы второго Солнце, а также и Луна, прошли, если отбросить полные обороты, $349;15$ градусов, а от средней фазы второго затмения до средней фазы третьего — $169;30$ градусов. Но промежуток времени между первым и вторым затмениями содержит 354 дня и $2\frac{1}{2}$ равноденственных часа по непосредственному наблюдению, или [354 дня и] $2\frac{1}{2}\frac{1}{15}$ часа при пересчете на средние сутки. Между вторым же и третьим затмениями прошло 176 дней и $20\frac{1}{2}$ равноденственных часов при непосредственном наблюдении, или [176 дней и]

$20\frac{1}{5}$ по точному счету³¹. Будем считать, что для рассматриваемых [малых] промежутков времени не получится заметной разницы, если использовать приближенные периоды [для определения средних движений Луны]. За 354 дня и $2\frac{1}{2}\frac{1}{15}$ равноденственных часа Луна пройдет за вычетом целых оборотов приблизительно $306;25$ градусов по аномалии, $345;51$ градусов по долготе; а в 176 дней и $20\frac{1}{5}$ равноденственных часов — по аномалии $150;26$ градусов, а по долготе приблизительно $170;7$ градусов³². Теперь ясно, что в первом интервале пройденные по эпициклу $306;25$ градусов добавили к среднему движению Луны $3;24$ градуса, а во втором интервале $150;26$ градусов отняли от среднего движения $0;37$ градусов.

Установив это, возьмем лунный эпицикл АВГ [рис. 4.4], и пусть точка А будет той, в которой Луна была в средней фазе первого затмения, а В — в которой Луна была в средней фазе второго затмения, и Г — место Луны в средней фазе третьего затмения. Представим себе, что Луна перемещается по эпициклу от В к А и от А к Г, так что дуга АВ, на которую она передвинулась от первого затмения до второго, равная $306;25$ градусам, добавляет к среднему движению $3;24$ градуса, дуга же ВАГ, на которую Луна передвинулась от второго затмения до третьего, равная $150;26$ градусам, отнимает от среднего движения $0;37$ градусов. Вследствие этого перемещение из В в А, равное $53;35$ градусам, отнимет от среднего движения

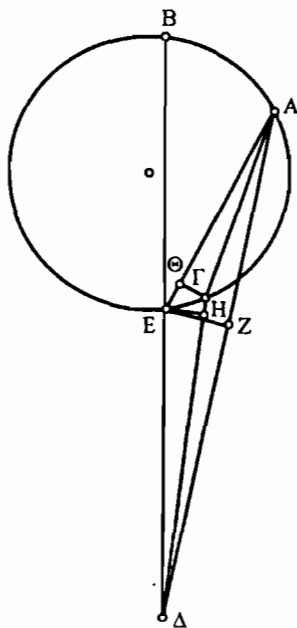


Рис. 4.4

те же самые 3;24 градуса, а перемещение из А в Г, равное 96;51 градусам, прибавит к среднему движению 2;47 градуса. Теперь ясно, что дуга ВАГ не может содержать перигей эпицикла, так как она меньше полуокружности и на ней происходит вычитание, а наибольшее движение предполагается у перигея³³.

Поскольку перигей во всяком случае должен находиться на дуге ВЕГ, возьмем центр круга, проходящего через середины знаков зодиака, который также является центром концентрического круга, по которому перемещается центр эпицикла, и пусть он будет в Δ. Проведем из него три прямые, ΔА, ΔЕВ, ΔГ, к местам трех затмений. Теперь, чтобы сделать более удобным приложение теоретических рассуждений в подобных доказательствах, будут они, как в данном случае, основаны на гипотезе эпицикла или же на гипотезе эксцента [рис. 4.5], когда центр Δ берется внутри [круга], мы дадим следующее применимое во всех случаях описание. Продолжим одну из трех соединяющих прямых [ΔА, ΔВ или ΔГ] до противоположной части окружности, как, например, в рассматриваемом случае ΔЕВ. Получаем

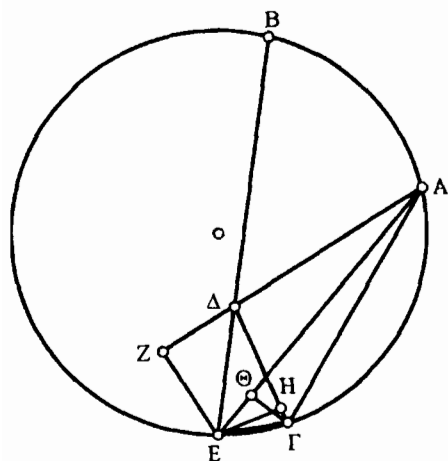


Рис. 4.5

продолженную до точки Е прямую, идущую из места В второго затмения; места же двух остальных затмений соединим прямой (АГ на нашем чертеже). Полученную точку Е сечения продолженной прямой [ВΔ с окружностью] соединим с местами двух других затмений прямыми ЕА и ЕГ. Опустим также перпендикуляры на прямые, соединяющие остальные две точки с центром зодиакального круга, а именно ЕЗ на прямую АΔ и ЕН на прямую ГΔ. Затем из одной из этих двух точек, например, из Г, опустим перпендикуляр на прямую, соединяющую другую точку (у нас А) с пересечением Е продолженной прямой (у нас перпендикуляр ГΘ на АЕ). Какое бы построение чертежа

мы ни взяли, получатся те же самые отношения определенных величин, так что выбор [исходной точки] можно делать, руководствуясь исключительно соображениями удобства³⁴.

Так как доказано, что дуга ВА стягивает 3;24 градуса круга через середины знаков зодиака, то находящийся у центра последний угол ВΔА равняется 3;24 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, или 6;48 таких, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на прямой ЕЗ будет содержать 6;48 таких градусов, каких описанный около прямоугольного треугольника ΔЕЗ круг имеет 360; сама же прямая ЕЗ равна 7;7 таким частям, каких в гипотенузе ΔЕ имеется 120. Точно так же, если дуга ВА составляет 53;35 градуса, то соответствующий ей угол ВЕА с вершиной на окружности равняется 53;35 таким градусам, каких два прямых угла содержат 360. Таких градусов в угле ВΔА было 6;48; следовательно, оставшийся угол ЕАЗ будет равен 46;47 таким же градусам. Поэтому дуга на прямой ЕЗ будет содержать 46;47 градусов, каких круг,

описанный около прямоугольного треугольника AEZ , имеет 360; сама же прямая EZ будет равна 47;38,30 частям, каких в гипотенузе EA содержится 120. Каких же частей в прямой EZ будет 7;7, а в EA — 120, таких в прямой AE будет 17;55,32. Далее, так как дуга $BA\Gamma$ стягивает 0;37 градусов зодиака, то находящийся при центре последнего угол $BA\Gamma$ содержит 0;37 градусов, каких в четырех прямых углах будет 360, или 1;14 градус, каких в двух прямых углах будет 360. Таким образом, дуга на прямой EH будет иметь 1;14 такой градус, каких круг около треугольника ΔEH содержит 360; сама же прямая EH имеет 1;17,30 такую часть, каких в гипотенузе ΔE содержится 120. Точно так же, если дуга $BA\Gamma$ равна 150;26 градусам, то угол $BE\Gamma$ с вершиной на окружности составляет 150;26 градусов, каких в двух прямых углах будет 360. Таких же градусов в угле $BA\Gamma$ было 1;14; следовательно, остающийся угол $EG\Delta$ [в треугольнике $\Delta E\Gamma$] равен 149;12 таким же градусам. Поэтому дуга на прямой EH равна 149;12 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΓEH будет 360; сама же прямая EH равна 115;41,21 частям, каких гипотенуза ΓE имеет 120. Следовательно, каких частей в прямой EH будет 1;17,30, а в ΔE — 120, таких в прямой ΓE содержится 1;20,23. Но было доказано, что в прямой EA было 17;55,32 таких частей.

Далее, так как по доказанному дуга AG равняется 96;51 градусам, то имеющий вершину на окружности угол $AE\Gamma$ содержит 96;51 градусов, каких в двух прямых углах будет 360. Таким образом, построенная на прямой $\Gamma\Theta$ дуга равняется 96;51 таким градусам, каких в круге около треугольника $\Gamma E\Theta$ будет 360, дуга же на прямой $E\Theta$ будет иметь 83;9 градуса, недостающих до полуокружности. Следовательно, прямые, стягивающие эти дуги, будут равны: $\Gamma\Theta$ — 89;46,14 частям, каких в гипотенузе ΓE будет 120, $E\Theta$ — 79;37,55 таким же частям. И, следовательно, если в прямой ΓE будет 1;20,23 часть, то в $\Gamma\Theta$ их будет 1;0,8, а в $E\Theta$ — 0;53,21. Но вся EA равнялась 17;55,32 таким частям; следовательно, остаток ΘA равняется 17;2,11 частям, каких в $\Gamma\Theta$ по доказанному было 1;0,8. Но квадрат на $A\Theta$ равен 290;14,19, а квадрат на $\Gamma\Theta$ равняется 1;0,17; сложив их, получим квадрат на AG , равный 291;14,36. Следовательно, длина AG будет равна 17;3,57 частям, каких в прямой ΔE будет 120, а в ΓE — 1;20,23. Но если диаметр эпицикла взять равным 120, то прямая AG будет содержать 89;46,14 таких частей, ибо она стягивает дугу AG , равняющуюся 96;51 градусам. Следовательно, каких частей в прямой AG содержится 89;46,14, а в диаметре эпицикла 120, таких в прямой ΔE будет 631;13,48, а в ΓE — 7;2,50; таким образом, находящаяся на ней дуга ΓE равна 7;44,1 градусам, каких весь эпицикл содержит 360. Таких же градусов по предположению в дуге $BA\Gamma$ было 150;26; и, следовательно, вся дуга $B\Gamma E$ будет равняться 157;10,1 градусам, а прямая BE под ней содержит 117;37,32 частей, каких в диаметре эпицикла будет 120, а в прямой EA — 631;13,48.

Теперь, если бы прямая BE была равной упомянутому диаметру эпицикла, то на ней, конечно, оказался бы и центр последнего и сейчас же определилось бы и отношение диаметров. Поскольку же BE меньше последнего и дуга $B\Gamma E$ меньше полуокружности, центр эпицикла, конечно, попадает вне сегмента $BA\Gamma E$.

Предположим, что он будет в точке K [рис. 4.6]. Проведем через K и центр Δ круга через середины знаков прямую $\Delta MK\Lambda$, так что точка Λ

будет апогейной точкой эпицикла, а М — перигейной. Так как прямоугольник, содержащийся между ВД и ДЕ, равен прямоугольнику между ЛД и ДМ³⁵ и мы показали, что прямая ВЕ равняется 117;37,32 частям,

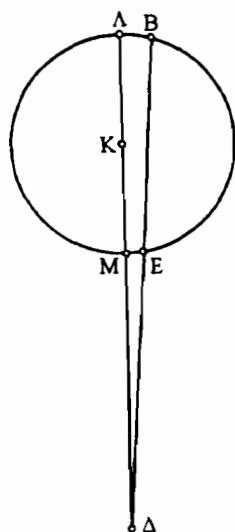


Рис. 4.6

каких в диаметре эпицикла, т.е. в прямой ЛКМ, содержится 120, а в ЕД — 631;13,48, то вся прямая ВД будет, конечно, иметь их 748;51,20. Таким образом, прямоугольник между ВД и ДЕ, т.е. между ЛД и ДМ, будет равен 472 700;5,32 частям. Далее, так как прямоугольник между ЛД и ДМ вместе с квадратом на КМ дает квадрат на ДК³⁶, а КМ, являющаяся радиусом эпицикла, имеет 60 таких же частей, то, прибавив 3600 — ее квадрат — к 472 700;5,32, получим квадрат на ДК, равный 476 300;5,32. Следовательно, длина радиуса ДК круга, несущего эпицикл и концентрического с проходящим через середины знаков зодиака, будет равна 690;8,42 таким частям, каких в радиусе КМ эпицикла будет 60. Таким образом, если радиус круга, несущего эпицикл и концентрического с глазом наблюдателя, равен 60, то радиус эпицикла будет содержать приблизительно 5;13 таких частей. 312

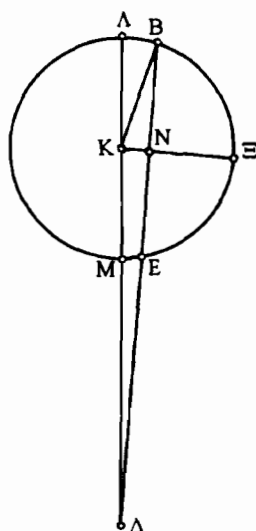


Рис. 4.7

Опустим на такой же фигуре [рис. 4.7] из центра К перпендикуляр КНЕ на ВЕ и соединим ВК. Так как теперь прямая ДК содержит 690;8,42 частей, каких в прямой ДЕ будет 631;13,48, а в НЕ — половине ВЕ — 58;48,46, то вся прямая ДЕН будет равна 690;2,34 таким частям. Следовательно, если гипотенузу ДК принять за 120, то в ДН таких частей будет 119;58,57, а в находящейся над ней дуге будет приблизительно 178;2 таких градусов, каких в описанном около прямоугольного треугольника ДНК круге будет 360. Таким образом, угол ДKN будет равен 178;2 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 89;1 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. И, следовательно, дуга ЭМ эпицикла будет равна 89;1 градусам, а дуга ЛВЕ — остальным, дополняющим до полукруга 90;59 градусам. Таких же градусов в ЭВ — половине дуги ВЕЕ — будет 78;35, так как по доказанному вся дуга ВЕ равна приблизительно 157;10 градусам. Следовательно, остающаяся дуга ЛВ эпицикла, представляющая расстояние от апогея Луны в упомянутую среднюю фазу второго затмения, будет равна 12;24 градусам. Точно так же, 313

поскольку угол ДKN равнялся, как было показано, 89;1 градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, то остающийся угол КАН, стягивающий дугу, отнимаемую от среднего движения по долготе и соответствующую неравенству на дуге ЛВ эпицикла, будет иметь недостающие до прямого угла 0;59 градусов. Следовательно, в среднем движении по долготе Луна в средней фазе второго затмения была на 14;44 градусах Девы, так как в 314

Ясно теперь, что апогей должен находиться на дуге АВ, так как он не может быть ни на ВГ, ни на ГА, поскольку каждая из них меньше полуокружности и прибавляет к долготу⁴³. Точно так же возьмем, хотя это и не является данным, центр зодиака и круга, по которому перемещается эпицикл, — пусть он будет Δ , — и проведем из него к местам трех затмений соединительные прямые ΔEA , ΔB , $\Delta \Gamma$. Затем, соединив ВГ, проведем из точки Е к В и Г прямые EB и EG , а также перпендикуляры EZ и EH на прямые BD и $\Delta \Gamma$; а также из точки Г проведем к ВЕ перпендикуляр $Г\Theta$. Так как теперь дуга АВ стягивает $7;42$ градусов круга через середины знаков зодиака, то находящийся при центре зодиака угол ΔDB равен $7;42$ таким градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $15;24$ таким, 360 которых равны двум прямым углам. Таким образом, дуга на прямой EZ будет равна $15;24$ градусам, каких в круге, описанном около треугольника ΔEZ , будет 360 , сама же прямая EZ равна $16;4,42$ таким частям, каких в гипотенузе ΔE имеется 120 . Точно так же, поскольку дуга АВ равна $110;21$ градусам, угол AEB с вершиной на окружности равняется $110;21$ таким градусам, каких в двух прямых углах будет 360 . Но так как угол ΔDB равнялся $15;24$ таким же градусам, то остающийся угол EBD будет, следовательно, равняться $94;57$ таким градусам. Поэтому дуга на прямой EZ будет равна $94;57$ градусам, каких в описанном около BEZ круге будет 360 , сама же прямая EZ равна $88;26,17$ частям, каких в гипотенузе BE содержится 120 . И, следовательно, если прямая EZ равна $16;4,42$ частям, ΔE — 120 , то в прямой BE таких частей будет $21;48,59$.

Далее, так как доказано, что дуга GEA стягивает $6;21$ градусов круга через середины знаков зодиака, то находящийся в центре зодиака угол $\Delta D\Gamma$ равняется $6;21$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 , или $12;42$ таким, каких 360 будет в двух прямых углах. Поэтому дуга на прямой EH равна $12;42$ градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ΔEH , будет 360 , сама же прямая EH будет равна $13;16,19$ частям, каких в гипотенузе ΔE содержится 120 . Подобно этому, так как дуга $AB\Gamma$ дает после сложения $191;57$ градус, то угол AEG , имеющий вершину на окружности, будет равен $191;57$ градусу, каких в двух прямых углах содержится 360 . Но угол $\Delta D\Gamma$ равнялся $12;42$ таким градусам; следовательно, остающийся угол $EГД$ будет равен $179;15$ таким градусам. Поэтому дуга на прямой EH равна $179;15$ градусам, каких в круге, описанном около треугольника $ГEH$, будет 360 , сама же прямая EH будет равна $119;59,50$ частям, каких в гипотенузе $ГE$ содержится 120 . И, следовательно, если прямая EH равна $13;16,19$ частям, а $E\Delta$, как сказано, 120 , то в прямой $ГE$ таких частей будет $13;16,20$. Прямая BE , как было показано, содержала их $21;48,59$.

Затем, так как дуга $B\Gamma$ равна $81;36$ градусу, то угол $BE\Gamma$, вершина которого лежит на окружности, равняется $81;36$ градусу, каких в двух прямых углах будет 360 . Поэтому и дуга на прямой $Г\Theta$ будет равна $81;36$ градусу, каких в круге, описанном около треугольника $ГE\Theta$, будет 360 ; дуга же на $E\Theta$ будет равна недостающим до полуокружности $98;24$ градусам. И, следовательно, из соответствующих этим дугам прямых $Г\Theta$ будет равна $78;24,37$ частям, каких в гипотенузе $EГ$ содержится 120 , а $E\Theta$ — $90;50,22$ таким же частям. Значит, если прямая $ГE$ равна $13;16,20$, то в $Г\Theta$ таких

частей будет 8;40,20, а в $E\Theta$ таких же 10;2,49. Но вся EB равнялась 21;48,59 частям; значит, остаток ΘB будет равен 11;46,10 частям, каких в $\Gamma\Theta$ было 8;40,20. Но квадрат на ΘB равен 138;31,11, а на $\Gamma\Theta$ — 75;12,27, что после сложения дает квадрат на $B\Gamma$, равный 213;43,38. Следовательно, длина $B\Gamma$ будет равна 14;37,10 частям, каких в прямой ΔE содержится 120, а в ΓE — 13;16,20. Но если диаметр эпицикла принять за 120, то прямая $ГВ$ будет равна 78;24,37 таким частям (она стягивает дугу $B\Gamma$, равную 81;36 градусу); если прямая $B\Gamma$ равна 78;24,37 частям, диаметр эпицикла — 120, то прямая ΔE будет равна 643;36,39, а ΓE — 71;11,4 таким частям. Поэтому стягиваемая ею дуга ΓE будет равна 72;46,10 градусам, каких во всем эпицикле будет 360. Но согласно предположению дуга $ГЕА$ равнялась 168;3 градусам; значит, остающаяся дуга $ЕА$ будет равна 95;16,50 градусам, а стягивающая ее прямая AE — 88;40,17 частям, каких в диаметре эпицикла — 120, а в прямой $E\Delta$ — 643;36,39.

Теперь, так как доказано, что дуга EA менее полуокружности, то ясно, что центр эпицикла окажется вне сегмента EA . Возьмем его, и пусть он будет K [рис. 4.9]; проведем соединительную прямую $\Delta MK\Lambda$ так, что точка Λ будет апогеем, а M — перигеем. Так как прямоугольник на $\Delta\Lambda$ и ΔE равен прямоугольнику на $\Lambda\Delta$ и ΔM ⁴⁴ и нами доказано, что если диаметр ΛKM эпицикла равен 120, то прямая AE равна 88;40,17 и $E\Delta$ — 643;36,39 таким частям, а вся прямая $\Delta\Lambda$ — 732;16,56, то прямоугольник на $\Delta\Lambda$ и ΔE , или на $\Lambda\Delta$ и ΔM , будет равен 471 304;46,17 таким же частям. Произведение же $\Lambda\Delta$ и ΔM вместе с квадратом на KM дает квадрат на ΔK ⁴⁵, и длина радиуса эпицикла KM равна 60, а ее квадрат — 3600. Если эти 3600 мы сложим с вышеупомянутыми 471 304;46,17, то получим квадрат на ΔK , равный 474 904;46,17 таким же частям; следовательно, длина ΔK — радиус несущего эпицикл круга, концентрического с проходящим через середины знаков зодиака, — будет равна 689;8 частям, каких в радиусе KM эпицикла содержится 60. Поэтому если расстояние между центрами круга через середины знаков и эпицикла принять за 60, то радиус эпицикла будет 5;14. Это приблизительно то же самое отношение, которое мы немного раньше нашли при помощи более древних затмений.

Теперь на том же чертеже из центра K опустим перпендикуляр KNE на прямую ΔEA и соединим AK [рис. 4.10]. Поскольку доказано, что если ΔK равна 689;8, прямая ΔE — 643;36,39 и NE — половина AE — 44;20,8, то вся прямая ΔEN будет равна 687;56,47; и, следовательно, если гипотенузу ΔK принять за 120, то ΔN будет равна 119;47,36 таким частям, а дуга на ней — приблизительно 173;17 градусам, каких в круге, описанном около

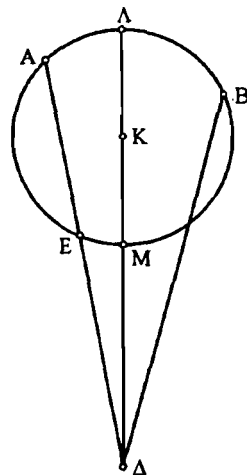


Рис. 4.9

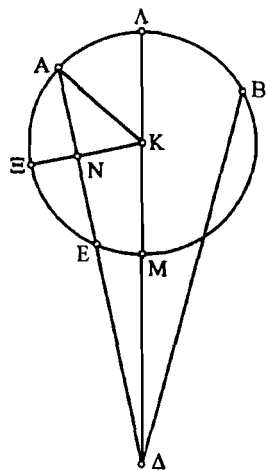


Рис. 4.10

прямоугольного треугольника ΔKN , будет 360. Таким образом, угол ΔKN будет равен $173;17$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или $86;38,30$, каких в четырех прямых углах будет 360. И, следовательно, дуга $МЕЭ$ эпицикла равна $86;38,30$ градусам, а дуга $ЛАЭ$ — недостающим до полукружности $93;21,30$ градусам. Но этих градусов в дуге $АЭ$ — половине $АЕ$ — было приблизительно $47;38,30$; и, значит, остающаяся дуга $АЛ$ равна $45;43$ градусам. Но было предположено, что вся $АВ$ равна $110;21$ таким же градусам; значит, остающаяся дуга $АВ$, на какую Луна отстояла от апогея в рассматриваемую среднюю фазу второго затмения, будет равна $64;38$ градусам. 323

Точно так же, поскольку было показано, что угол ΔKN равняется приблизительно $86;38$ градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, угол ΔKN будет равняться недостающим до одного прямого угла $3;22$ градусам. Также предположено было, что весь угол ΔDB равен $7;42$ таким же градусам, и, значит, получающийся в остатке угол ΔDB будет равен $4;20$ градусам. Этот угол стягивает отнимаемую от среднего движения по долготе дугу круга, проходящего через середины знаков зодиака, вследствие соответствующей $АВ$ аномалии эпицикла. Следовательно, по долготе среднее положение Луны в момент средней фазы второго затмения было на $29;30$ градусах Овна, поскольку истинное ее положение было на $25;10$, что соответствует числу градусов положения Солнца в Клешнях. 324

7. Об исправлении средних движений Луны по долготе и аномалии

Относительно второго из древних затмений мы показали, что Луна в момент средней фазы в своем равномерном движении по долготе находилась на $14;44$ градусах Девы, а по аномалии — на $12;24$ градусах от апогея эпицикла, во втором же из трех наших затмений было показано, что она также в среднем движении по долготе находилась на $29;30$ градусах Овна, а по аномалии — на $64;38$ градусах от апогея. Отсюда ясно, что за время, протекшее между двумя упомянутыми затмениями, Луна в своем среднем движении, за вычетом полных оборотов, прошла по долготе $224;46$ градуса, а по аномалии — $52;14$ градуса. Но время, протекшее между датой 2 года Мардокемпада, с 18-го на 19-е число Тота, за $1\frac{1}{3}$ одного равноденственного часа до полуночи и датой 19 года Адриана, со 2-го на 3-е число Хойака, за 1 равноденственный час до полуночи⁴⁶, содержит 854 египетских года, 73 дня и равноденственных часов в обычном исчислении $231\frac{1}{3}$, а в точном, отнесенном к средним суткам, — $23\frac{1}{3}$, всего же 311 783 дня и $23\frac{1}{3}$ равноденственных часа⁴⁷, которым, как мы нашли, соответствуют, за вычетом полных оборотов, прибавки согласно дневным движениям, установленным выше до исправления гипотез. Эти прибавки равны: по долготе — $224;46$ градусам, по аномалии — $52;31$ градусам⁴⁸. 325

Таким же образом из сопоставления упомянутых нами наблюдений оказывается, что прибавление по долготе остается неизменным, прибавление же по аномалии оказывается большим на 17 шестидесятых. Поэтому перед составлением таблиц мы исправили дневные движения, разделив 17 шестидесятых на упомянутое число дней, причем на каждый день пришлось $0;0,0,11,46,39$, которые следует вычесть из неисправленного среднего дневного движения по аномалии; исправленное движение мы нашли равным $13;3,53,56,17,51,59$; в соответствии с этим мы и сделали в таблицах все остальные суммирования.

8. Об эпохе средних движений Луны по долготе и аномалии

326 Чтобы установить эпохи этих движений на ту же дату — полдень 1-го числа египетского месяца Тот первого года Набонассара, — мы взяли время, протекшее с тех пор до средней фазы второго затмения из трех первых, более близких, которое, как мы сказали, произошло во 2 год Мардокемпада, с 18-го на 19-е число египетского месяца Тот⁴⁹, за $1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственного часа до полуночи; так получается 27 египетских годов, 17 дней и $11\frac{1}{6}$ часов по обычному и приблизительно столько же по точному счету⁵⁰. За это время, если опустить целые обороты, прибавление долготы будет 123;22 градуса, аномалии же — 103;35 градуса. Если мы отнимем их от соответствующих величин для средней фазы второго затмения [14;44° Девы и 12;24°], то найдем, что в первый год Набонассара в полдень 1-го числа египетского месяца Тот в среднем движении Луна находилась по долготе на 11;22 градусах Тельца, по аномалии — на 268;49 градусах от апогея, а по элонгации — на 70;37 градусах, поскольку, как было показано, Солнце в это же время находилось на 0;45 градусах Рыб.

9. Об исправлении средних движений Луны по широте и об их эпохах

327 При помощи данных выше методов мы определили периодические движения по долготе и аномалии, а также их эпохи; что же касается движений по широте, то первоначально мы вместе с Гиппархом ошиблись, предположив, что диск Луны приблизительно 650 раз укладывается в своей орбите и два с половиной раза укладывается в конусе земной тени на среднем расстоянии в сизигиях. При этих предположениях, зная величину наклона орбиты Луны, мы можем определить предельные характеристики се отдельных затмений. Итак, мы выбрали пары затмений, разделенные известным промежутком [времени], вычислили (по величине затмения в момент средней фазы) истинные расстояния Луны от какого-либо из двух узлов [вблизи которого имело место затмение], по наклонному кругу широты определили среднее положение [по широте] относительно истинного, используя уравнение аномалии как уже известное, и таким путем нашли среднее положение по широте в середине каждого затмения, а значит, и движение по широте (как избыток над целыми оборотами) за этот интервал⁵¹.

328 В настоящее время, пользуясь более удобными методами для нахождения искомого, не требующими никаких приведенных выше предположений, мы установили, что вычисленное на основании этих предположений движение по широте является неправильным, и на основании результатов, полученных в настоящее время без указанных предположений, исправили сами не соответствующие действительности предположения относительно величин и расстояний. То же самое мы сделали и с основными предположениями для Сатурна и Меркурия, несколько изменив первоначальные не вполне точные данные на основании позднейших более тщательных наблюдений⁵². Действительно, всем, подходящим к этой теории с любовью к истине и в духе исследования, подобает пользоваться новыми и оказавшимися более точными методами не только для исправления предположений древних, но также и для [исправления] собственных ошибок, если таковые имелись, не считая позорным в нашем великом и божественном призвании использование чужих, более точных исправлений, а не только своих собственных.

Каким именно образом определяется все это в каждом отдельном случае, мы укажем в соответствующих местах последующего изложения. В настоящее же время, чтобы соблюсти необходимый порядок изложения, мы обратимся к определению движения по широте, для которого имеется следующий метод⁵³.

Сначала для исправления самого среднего движения по широте мы выбрали лунные затмения из числа наиболее тщательно описанных за возможно больший промежуток времени, для которых были одинаковыми величины затмений, которые происходили вблизи одного и того же узла, причем оба или с севера, или с юга, и в которых Луна находилась на равных расстояниях [от наблюдателя]. При таких условиях в каждом затмении центр Луны будет находиться на одинаковом расстоянии и в ту же самую сторону от того же узла, и вследствие этого за промежуток времени между указанными наблюдениями истинное движение Луны будет содержать целое число оборотов по широте⁵⁴.

В качестве первого затмения мы взяли наблюдаемое в Вавилоне в 31 год Дария I, в ночь с 3-го на 4-е число египетского месяца Тиби, в середине 6-го часа [ночи], когда Луна затмилась с юга на 2 пальца⁵⁵.

В качестве второго взяли наблюдаемое в Александрии в 9 год Адриана, с 17-го на 18-е число египетского месяца Пахона, за $3\frac{3}{5}$ равноденственных часа до полуночи, когда Луна точно так же затмилась с юга на $\frac{1}{6}$ часть своего диаметра⁵⁶.

В каждом из этих затмений Луна в своем движении по широте находилась около нисходящего узла; это можно установить из самых общих соображений⁵⁷. Расстояние [до Луны] тоже было приблизительно одинаковым и несколько более близким к получающемуся в перигее, чем к среднему; все это выясняется из того, что было выше сказано относительно аномалии. Действительно, если Луна затмевается с юга, то ее центр должен лежать севернее круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий; поэтому ясно, что в каждом из обоих этих затмений центр Луны на одинаковом расстоянии предшествовал нисходящему узлу⁵⁸. Но в первом затмении Луна отстояла от апогея эпицикла [по аномалии] на 100 градусов и 19 шестидесятых. Действительно, средняя его фаза в Вавилоне имела место за полчаса до полуночи, а в Александрии за $1\frac{1}{3}$ час равноденственного времени, и время, прошедшее от эпохи Набонассара, составляло 256 лет, 122 дня и $10\frac{2}{3}$ равноденственных часов по обычному счету, или же $10\frac{1}{4}$ по среднему времени. Вследствие этого истинное положение Луны было на 5 градусов меньше вычисленного при помощи периодов. Во время второго затмения Луна находилась на 251;53 градусе от апогея эпицикла; и здесь промежуток времени от указанной эпохи до средней фазы затмения равен 871 году, 256 дням $8\frac{2}{5}$ равноденственным часам по обычному счету, или $8\frac{1}{12}$ по точному⁵⁹. Вследствие этого истинное положение было на 4;53 градуса больше, чем вычисленное по среднему движению. Следовательно, в промежуток времени между двумя этими затмениями, составляющий 615 египетских годов, 133 дня и $21\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственный час, истинное движение Луны по широте составляло целое число оборотов, а вычисленное при помощи периодов отставало от целого числа оборотов на 9;53 градусов,

получаемых при сложении обоих значений аномалии. По отношению же к средним движениям, полученным на основании предположений Гиппарха, за это же время недостаток до полного числа оборотов равнялся приблизительно $10;2$ градусам; следовательно, среднее движение по широте было на 9 шестидесятых больше, чем полученное по предположениям Гиппарха.

Разделив эту величину на число дней, содержащихся в указанном промежутке, а именно приблизительно на $224\,609$, прибавив найденные после деления $0;0,0,8,39,18$ градуса к среднему дневному движению [по широте], вычисленному на основании этих предположений, мы получим исправленное движение $13;13,45,39,48,56,37$, на основании которого при помощи последовательного сложения мы составили и остальные таблицы⁶⁰.

332 Определив таким образом раз навсегда периодическое движение по широте, переходим после этого к установлению его [значения] в начальную эпоху. Мы снова обратимся к поискам двух точно наблюдаемых затмений, в которых имело бы место все то же самое, что и в предыдущих затмениях, а именно, чтобы были приблизительно равны расстояния Луны, величины ее затемнений и чтобы последние были оба или с севера, или с юга, только узел должен быть не тем же самым, но противоположным.

И первым из этих затмений было то, которым мы уже воспользовались при определении аномалии, а именно случившееся во 2 год Мардокемпада, с 18-го на 19-е число египетского месяца Тот, бывшее в Вавилоне в полночь, а в Александрии — за $1\frac{1}{3}$ равноденственного часа до полуночи; при этом было обнаружено, что Луна затмилась с юга на 3 пальца⁶¹.

Второе затмение, которым пользовался также и Гиппарх, произошло на 20 год Дария, бывшего после Камбиза, в ночь с 28-го на 29-е число египетского месяца Эпифи, когда уже ночи прошло $6\frac{1}{3}$ равноденственных часов; тогда Луна точно так же затмилась с юга на $\frac{1}{4}$ диаметра и средняя фаза была в Вавилоне за $\frac{2}{5}$ равноденственного часа до полуночи (так как половина ночи равнялась тогда приблизительно $6\frac{1}{4}$ равноденственным часам), а в Александрии — за $1\frac{1}{4}$ равноденственный час до полуночи⁶².

333 В каждом из этих затмений Луна находилась на наибольшем расстоянии; но в первом она была в восходящем узле, а во втором — в нисходящем, так что в обоих случаях центр Луны находился на одинаковом расстоянии к северу от круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий⁶³.

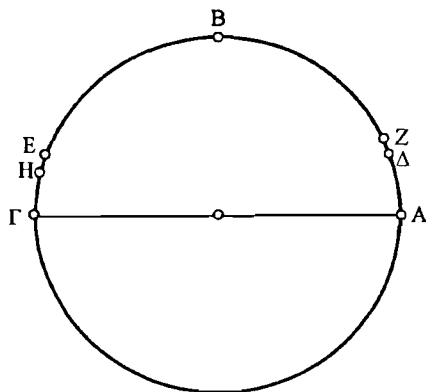


Рис. 4.11

Пусть АВГ [рис. 4.11] будет наклонным кругом Луны, имеющим диаметр АГ. Предположим, что точка А является восходящим узлом, а точка Г — нисходящим, точка же В представляет северное предельное положение; от обоих узлов, А и Г, отложим по направлению к северному пределу В равные дуги АΔ и ГЕ так, чтобы во время первого затмения центр Луны находился в Δ, а во время второго — в Е. Но для первого затмения время, протекшее

от эпохи, составляло 27 египетских годов, 17 дней и $11\frac{1}{6}$ равноденственных часов как по обычному, так и по точному счету, и вследствие этого Луна находилась на $12;24$ градусах от апогея эпицикла, причем вычисленное по периодам ее среднее движение было точно на 59 шестидесятих больше истинного. Равным образом, до второго затмения прошло 245 египетских годов, 327 дней и $10\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственных часов по обычному счету, по точному же $10\frac{1}{4}$, и вследствие этого Луна отстояла от апогея эпицикла на $2;44$ градуса; вычисленное на основании периодов ее движение было точно на 13 шестидесятих больше истинного. И прошедшее между наблюдениями время, охватывающее 218 египетских годов, 309 дней и $23\frac{1}{12}$ равноденственных часа, дает среднее движение по широте [за вычетом полных оборотов], равное $160;4$ градусам. 334

Пусть теперь на основании изложенного среднее положение центра Луны в первом затмении будет в Z, а во втором — в Н. И так как дуга ZВН равна 160 градусам и 4 шестидесятым, ΔZ — 59 шестидесятым и ЕН — 13 шестидесятым, то получается, что дуга ΔE будет равна $160;50$ градусам. Следовательно, обе дуги, АД и ЕГ, взятые вместе, составят недостающие до полуокружности $19;10$ градусов; поскольку же они равны, каждая из них будет равняться тем же самым $9;35$ градусам, на которые истинное положение Луны в первом затмении отставало от восходящего узла, а во втором опережало нисходящий. И, следовательно, вся дуга AZ равна $10;34$ градусам, остающаяся же НГ равна $9;22$ градусам. Таким образом, среднее положение Луны для первого затмения отставало на $10;34$ градусов от восходящего узла и отстояло на $280;34$ градусов от северного предела В; во втором же затмении оно опережало на $9;22$ градусов нисходящий узел и отстояло от того же северного предела на $80;38$ градусов ⁶⁴. 335

Наконец, поскольку время, прошедшее от начальной эпохи до средней фазы первого затмения, соответствует $286;19$ градусам прибавления широты, то, отняв их от $280;34$ градусов, соответствующих эпохе первого затмения (после прибавления к последним полной окружности), мы получим для первого года Набонассара, в полдень 1-го числа египетского месяца Тот в качестве эпохи периодического изменения широты $354;15$ градуса, начиная от северного предела.

Так как для вычисления новолуний и полнолуний нам не понадобится второе неравенство, которое мы еще разберем в дальнейшем, то мы при помощи геометрических расчетов составим таблицу значений для отдельных дуг [уравнения аномалии], как мы это сделали в теории движения Солнца ⁶⁵. В данном случае воспользуемся отношением [радиуса деферента к радиусу эпицикла] 60 к $5\frac{1}{4}$. Точно так же для прилегающих к апогею квадрантов примем деления по 6 градусов, а для прилегающих к перигею — по 3 градуса, так что форма этой таблицы будет такой же, как таблицы Солнца; она содержит 45 строк и 3 столбца, из которых два первых дают числа градусов аномалии, а третий — соответствующие каждой дуге простаферезы, причем вычитание при расчете долготы и широты производится, когда число, получаемое для аномалии при отсчете от апогея эпицикла, будет меньше 180 градусов, а прибавление, когда оно больше 180 градусов. И упомянутая таблица такова. 336

337

10. Таблица первого, или простого, неравенства Луны

Общие числа		Простаферезы	Общие числа		Простаферезы	Общие числа		Простаферезы
6°	354°	0° 29'	93°	267°	5° 0'	138°	222°	3° 35'
12	348	0 57	96	264	5 1	141	219	3 23
18	342	1 25	99	261	5 0	144	216	3 10
24	336	1 53	102	258	4 59	147	213	2 57
30	330	2 19	105	255	4 57	150	210	2 43
36	324	2 44	108	252	4 53	153	207	2 28
42	318	3 8	111	249	4 49	156	204	2 13
48	312	3 31	114	246	4 44	159	201	1 57
54	306	3 51	117	243	4 38	162	198	1 41
60	300	4 8	120	240	4 31	165	195	1 25
66	294	4 24	123	237	4 24	168	192	1 9
72	288	4 38	126	234	4 16	171	189	0 52
78	282	4 49	129	231	4 7	174	186	0 35
84	276	4 56	132	228	3 57	177	183	0 18
90	270	4 59	135	225	3 46	180	180	0 0

338

11. О том, что разница принятой Гиппархом величины лунного неравенства и найденной нами получается не от различия сделанных предположений, но вследствие вычислений

339

Так вот, после того, что было выше показано, пожалуй, с правом мог бы кто-нибудь спросить: по какой причине отношение [эксцентриситета], полученное Гиппархом из лунных затмений для определения указанного неравенства, не совпадает с тем, которое было найдено нами, и почему первое отношение, полученное им по теории эксцента, не совпадает со вторым, вычисленным по теории эпицикла? Действительно, в первом своем доказательстве Гиппарх находит, что отношение радиуса эксцента к расстоянию между центрами его круга и круга, проходящего через середины знаков зодиака, будет приблизительно таким же, как у 3144 к 3272 $\frac{2}{3}$, что тождественно с отношением 60 к 6;15; во втором же доказательстве он получает, что отношение радиуса круга через середины знаков зодиака (до центра эпицикла) к радиусу самого эпицикла будет таким же, как у 3122 $\frac{1}{2}$ к 247 $\frac{1}{2}$, что тождественно с отношением 60 к 4;46. Но наибольшее уравнение аномалии при отношении 60 к 6 $\frac{1}{4}$ получается равным 5;49 градусам, а при отношении 60 к 4;46 — только 4;34 градусам; по нашим же расчетам при отношении 60 к 5 $\frac{1}{4}$ соответствующая разность будет приблизительно 5 градусам⁶⁶.

А что такая погрешность получилась не вследствие несогласия основных предположений [об эпицикле и эксцентре], как полагают некоторые⁶⁷, мы выяснили в приведенных немного раньше рассуждениях, а именно [мы выяснили], что явления остаются одними и теми же при каждой из основных гипотез; а если бы мы захотели произвести расчеты на числах, то мы согласно обеим гипотезам получили бы то же самое отношение, если, конечно, для каждой гипотезы мы будем исходить из одних и тех же наблюдений, а не из различных, как это делает Гиппарх. Действительно, если взять не

одни и те же затмения, то погрешность может получиться или в самих наблюдениях, или в вычислениях промежутков времени. Действительно, мы убедимся в дальнейшем, что хотя в этих затмениях [использованных Гиппархом] сизигии были наблюдаемы правильно и вполне согласуются с определенными нами положениями о равномерном и неравномерном движениях, но вычисления промежутков времени, при помощи которых определяется количественная величина отношения, не были произведены наиболее тщательным образом⁶⁸. Докажем каждое из этих положений исходя из трех первых затмений.

Гиппарх говорит, что эти три затмения были взяты из наблюдений, полученных из Вавилона и именно там произведенных; первое затмение произошло в архонтат Фанострата в Афинах в месяце Посидеоне; Луна затмилась лишь в небольшой части диска со стороны летнего восхода, причем от ночи оставалось полчаса. «Луна, — говорит он, — закатилась еще в затмении». Это время соответствует 366 году от Набонассара, египетскому месяцу Тот, как говорит он сам, с 26-го на 27-е число, через $5\frac{1}{2}$ часов местного времени после полуночи, так как ночи еще оставалось полчаса⁶⁹. Но поскольку Солнце находилось в конце Стрельца, то в Вавилоне час ночи соответствует 18 временным градусам, ибо ночь равна $14\frac{2}{5}$ равноденственным часам; следовательно, $5\frac{1}{2}$ часов местного времени соответствуют $6\frac{3}{5}$ равноденственным часам. Таким образом, начало затмения было в $18\frac{3}{5}$ равноденственных часов после полудня 26-го числа. Поскольку же затмилась лишь небольшая часть, то все время затмения должно было равняться приблизительно $1\frac{1}{2}$ часу, и средняя фаза, очевидно, была в $19\frac{1}{3}$ равноденственных часов. Следовательно, в Александрии средняя фаза затмения была в $18\frac{1}{2}$ равноденственных часов после полудня 26-го числа. И время, прошедшее от эпохи первого года Набонассара до рассматриваемого, составляет 365 египетских годов, 25 дней и $18\frac{1}{2}$ часов по обычному счету, или $18\frac{1}{4}$ по точному. Если для этого времени мы произведем расчеты на основании принятых нами основных положений, то найдем, что истинное положение Солнца было на $28;18$ градусах Стрельца. Луна же в среднем движении находилась на $24;20$ градусах Близнецов, а в истинном — на $28;17$, так как по аномалии она отстояла на $227;43$ градусов от апогея эпицикла⁷⁰.

Далее Гиппарх говорит, что следующее затмение произошло в архонтат Фанострата в Афинах в месяце Скирофорионе, а по-египетски — в месяце Фаменот, с 24-го на 25-е число. По его словам, Луна затмилась от точки летнего восхода в течение первого часа ночи. Это время соответствует 366 году Набонассара и ночи с 24-го на 25-е число месяца Фаменот, самое большее за $5\frac{1}{2}$ часов местного времени до полуночи⁷¹. Но так как Солнце находилось тогда в конце Близнецов, то ночной час в Вавилоне равнялся тогда 12 временным градусам, следовательно, $5\frac{1}{2}$ часов местного времени дают $4\frac{2}{5}$ равноденственных часа. Значит, начало затмения было в $7\frac{3}{5}$ [$6 + (6 - 4\frac{2}{5})$] равноденственных часов после полудня 24-го числа. Но так как все время затмения равнялось, по записям, 3 часам, то, значит, средняя фаза была в $9\frac{1}{10}$ равноденственных часов. Следовательно, в Александрии она должна была произойти приблизительно через $8\frac{1}{4}$ равноденственных часов после полудня 24-го числа. И время, прошедшее от вышеупомянутой эпохи, составляет 365 египетских годов, 203 дня и $8\frac{1}{4}$ равноденственных часов по обычному счету, или $7\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ по точному. Для этого времени точное

положение Солнца, как мы нашли, было на $21;46$ градусе Близнецов, а Луна в среднем движении находилась на $23;58$ градусах Стрельца, в истинном — на $21;48$, так как по аномалии она отстояла на $27;37$ градусов от апогея эпицикла⁷². Промежуток времени, прошедший между первым и вторым затмениями, получается равным 177 дням, $13\frac{3}{5}$ равноденственным часам; число градусов, на которое передвинулось Солнце [по долготе], равно $173;28$, тогда как Гиппарх ведет свои расчеты, как будто бы указанный промежуток времени равнялся 177 дням и $13\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственным часам, что соответствует перемещению Солнца [по долготе] на 173 градуса без $\frac{1}{8}$ части.

Третье же затмение, по его словам, произошло в архонтат Эвандра в Афинах 1-го числа месяца Посидеона, по египетскому же счету с 16-го на 17-е число месяца Тот. Как он говорит, Луна затмилась полностью от летнего восхода по истечении 4 часов [ночи]⁷³. Это время соответствует 367 году Набонассара, с 16-го на 17-е число месяца Тот, самое большее за $2\frac{1}{2}$ часа до полуночи. Но так как Солнце находилось во второй трети Стрельца, то в Вавилоне ночной час равнялся приблизительно 18 временным градусам; следовательно, $2\frac{1}{2}$ часа местного времени составляют 3 равноденственных часа. Таким образом, начало затмения было через 9 равноденственных часов после полудня 16-го числа. Но так как Луна затмилась полностью, то все время затмения равнялось приблизительно 4 равноденственным часам, и, значит, средняя фаза была в 11 часов после полудня; следовательно, в Александрии средняя фаза затмения должна была произойти в $10\frac{1}{6}$ равноденственных часов после полудня 16-го числа. И время, прошедшее от принятой эпохи, составляет 366 египетских годов, 15 дней и $10\frac{1}{6}$ равноденственных часов по обычному счету, или $9\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ по точному. Для этого времени мы находим Солнце в истинном движении на $17;30$ градусах Стрельца, а Луну в среднем движении — на $17;21$ градусах Близнецов, в истинном же — на $17;28$, так как по аномалии она отстояла на $181;12$ градус от апогея эпицикла. Промежуток времени от второго до третьего затмения получается равным 177 дням и 2 равноденственным часам, или $175;44$ градусам [по долготе], тогда как Гиппарх опять предполагает, что этот промежуток времени равнялся 177 дням и $12\frac{2}{3}$ равноденственному часу, или $175\frac{1}{8}$ градусам⁷⁴. Таким образом, в вычислении промежутков времени он, по-видимому, ошибся: в днях — на $\frac{1}{6}$ и $\frac{1}{3}$ равноденственного часа в первом и втором промежутках, в градусах же — приблизительно на $\frac{3}{5}$ градуса в обоих промежутках, что может дать заметную разницу в величине отношения.

Теперь перейдем к разобранным им далее трем последним затмениям, которые, как он говорит, были наблюдаемы в Александрии. Первое из этих затмений, говорит он, произошло в 54 год второго периода Калиппа, в египетском месяце Месоре, 16-го числа, когда Луна начала затмеваться за полчаса до своего восхода и полностью очистилась в половине третьего часа⁷⁵. Таким образом, средняя фаза была в начале второго часа, за 5 часов местного времени до полуночи (за столько же и равноденственных), так как Солнце находилось в конце Девы. Таким образом, в Александрии средняя фаза затмения произошла через 7 равноденственных часов после полудня 16-го числа. Время же, прошедшее от первого года эпохи Набонассара, составляет 546 египетских годов, 345 дней и 7 равноденственных часов по обычному счету, или $6\frac{1}{2}$ по точному, в это время мы

опять нашли, что Солнце в истинном движении находилось на $26;6$ градусах Девы, а Луна в среднем движении — на 22 градусах Рыб, в истинном же — на $26;7$ градусах, так как по аномалии она отстояла на $300;13$ градусов от апогея эпицикла⁷⁶.

Следующее затмение, говорит он, произошло в 55 году того же периода⁷⁷, 9-го числа египетского месяца Мехира. Оно началось, когда уже прошло $5\frac{1}{3}$ часов ночи, и Луна затмилась полностью⁷⁸. Следовательно, начало затмения было в $11\frac{1}{3}$ равноденственных часов после полудня 9-го числа; Солнце находилось в конце Рыб; средняя фаза была через $13\frac{1}{3}$ равноденственных часов, поскольку затмение Луны было полным. И время, прошедшее от начальной эпохи до сих пор, составляет 547 египетских годов, 158 дней и приблизительно $13\frac{1}{3}$ равноденственных часов как по обычному, так и по точному счету; для этого времени мы точно так же нашли, что Солнце в истинном движении находилось на $26;17$ градусах Рыб, а Луна в среднем движении — на $1;7$ градусе Клешней, в истинном же — на $26;16$ градусах Девы, так как по аномалии она отстояла на $109;28$ градусов от апогея⁷⁹. Время же, прошедшее между первым и вторым затмениями, оказывается равным 178 дням и $6\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственным часам, или $180;11$ градусам, тогда как Гиппарх, производя свои расчеты, полагал, что этот промежуток времени равнялся 178 дням и 6 равноденственным часам, или же $180;20$ градусам.

Третье же затмение, говорит он, произошло в тот же самый 55 год второго периода Калиппа, в египетском месяце Месоре, 5-го числа; началось оно, когда уже прошло $6\frac{2}{3}$ часов ночи, и Луна затмилась полностью. И средняя фаза затмения, говорит он, была самое большее около $8\frac{1}{3}$ часов, т.е. через $2\frac{1}{3}$ часа местного времени после полуночи⁸⁰. Но так как Солнце находилось в середине Девы, то в Александрии ночной час равнялся $14\frac{2}{5}$ градусам времени; значит, $2\frac{1}{3}$ часа местного времени составляют приблизительно $2\frac{1}{4}$ равноденственного часа. Таким образом, средняя фаза была в $14\frac{1}{4}$ часов после полудня 5-го числа. И опять время, прошедшее от начальной эпохи до этого [момента], составляет 547 египетских годов, 334 дня и $14\frac{1}{4}$ равноденственных часов по обычному счету, или $13\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ по точному. Для этого времени мы нашли Солнце в истинном движении на $15;12$ градусах Девы, а Луну в среднем движении — на $10;24$ градусах Рыб, в истинном же — на $15;13$, так как по аномалии она отстояла на $249;9$ градусов от апогея эпицикла⁸¹. И промежуток времени между вторым и третьим затмениями составляет 176 дней и $\frac{2}{5}$ равноденственного часа, или же $168;55$ градусов, тогда как Гиппарх опять полагал этот промежуток равным 176 дням и $1\frac{1}{3}$ равноденственному часу, или $168;33$ градусам. И, следовательно, отсюда видно, что в градусах он ошибся приблизительно на $\frac{1}{3}\frac{1}{6}$ градуса [по долготе], а в днях — приблизительно на $\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ и на $\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{10}$ частью одного равноденственного часа⁸², а это может произвести заметную разницу в получающейся при данной гипотезе величине отношения.

Таким образом, мы выяснили причину упомянутого выше расхождения. Мы можем поэтому с еще большим доверием относиться к полученной нами величине отношения для неравенства в сизигиях Луны, тем более, что, как оказалось, все эти затмения наилучшим образом согласуются с нашими гипотезами.

Книга V

1. Об устройстве астролэбии

Поскольку для определения соединений с Солнцем, т.е. новолуний и полнолуний и совершающихся во время них затмений, оказалось вполне достаточным изложенное нами предположение о первом и простом неравенстве, мы могли бы рассматривать только одно это неравенство. Однако оно не оказывается достаточным для описания движения Луны в других положениях относительно Солнца вследствие того, что, как мы сказали, имеется и второе неравенство Луны, определяемое ее расстояниями от Солнца; оно в обоих сизигиях сливается с первым, но становится наибольшим в положениях, когда Луна делится пополам¹. К этой догадке, превратившейся потом в уверенность, мы пришли на основании наблюдаемых и записанных Гиппархом движений Луны, а также и сделанных нами самими наблюдений² при помощи построенного для этой цели прибора, который устроен следующим образом³.

Возьмем два точно обточенных кольца, поверхности которых квадратны в сечениях [рис. 5-A]. Пусть они будут иметь подходящую величину и повсюду будут равны и подобны друг другу. Соединим их по диаметру так, чтобы их поверхности были взаимно перпендикулярны; одно из них мы будем рассматривать как круг, проходящий через середины знаков зодиака [1], а другой [2] — как полуденный [круг], проходящий через полюсы зодиакального [круга] и равноденственного. На этом круге при помощи стороны вписанного квадрата устанавливаем точки, изображающие полюсы круга через середины знаков зодиака, и, вставив в них цилиндрики [e—e], выходящие с внешней и внутренней поверхностей, прикрепляем к внешним еще один круг [5], который везде своей вогнутой поверхностью точно касается выпуклой поверхности двух соединенных кругов и может вращаться по долготе вокруг упомянутых полюсов круга через середины знаков. К внутренним же цилиндрикам мы подобным же образом прикрепляем другой круг [6], который везде выпуклой своей поверхностью точно касается вогнутой поверхности обоих первых кругов и также может вращаться по долготе вокруг тех же полюсов, что и внешний

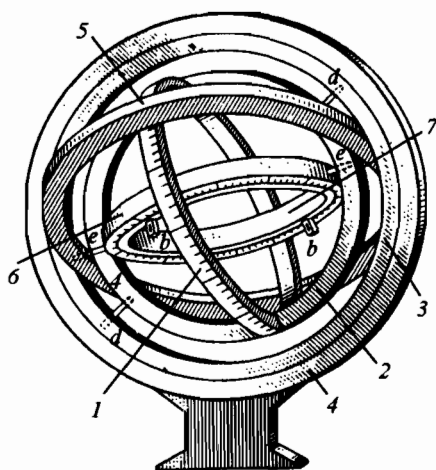


Рис. 5-A

круг. Этот внутренний круг, а также тот, который обозначает проходящий через середины знаков, делим на обычные 360 градусов окружности и, насколько это возможно, также на более мелкие подразделения. Под внутренним кругом из этих двух мы точно прилаживаем еще один тонкий малый круг [7], имеющий два диаметрально противоположных отверстия $[b-b]$, так, чтобы он мог вращаться в плоскости внутреннего круга по направлению к тому или другому из упомянутых полюсов и позволял производить наблюдения широты. Сделав все это описанным образом, на круге, который мы предполагаем проходящим через оба полюса, откладываем от каждого из полюсов круга через середины знаков зодиака дугу, равную определенной выше величине между полюсами круга через середины знаков зодиака и равноденственного. Получающиеся концы этих дуг, тоже диаметрально противоположные друг другу, прикрепляем [цилиндриками $d-d$] к описанному в начале этого сочинения полуденному кругу [3, 4] ³⁵³ для наблюдений дуг полуденного круга между тропиками таким образом, чтобы при установке его в том же положении, что и упомянутое ранее, т.е. перпендикулярно плоскости горизонта, под соответствующим данному климату поднятием полюса и, кроме того, параллельно плоскости естественного меридиана, внутренний круг [1, 2 и др.] мог совершать вращения вокруг полюсов равноденственного круга от восхода к западу в соответствии с первым движением мира⁴.

Установив описанным образом этот прибор, когда можно одновременно видеть над поверхностью Земли и Солнце, и Луну, приводим внешний круг [5] астрольбии приблизительно на тот градус, который в данный час занимает Солнце, и поворачиваем круг, проходящий через полюсы [2, $d-d$], так, чтобы соответствующее солнечному градусу сечение обоих кругов было точно обращено к Солнцу, иными словами, чтобы оба круга, т.е. [круг] через середины знаков зодиака [1] и проходящий через его полюсы [5], затеняли друг друга, или, если мы наблюдаем какую-нибудь звезду, так, чтобы, приложив один глаз к одной из сторон установленного внешнего круга [5], под соответствующим градусом проходящего через середины знаков зодиака [1], можно было с противоположной и параллельной стороны ³⁵⁴ круга видеть светило как бы приклеенным к обеим поверхностям в проходящей через них плоскости. Другой же, т.е. внутренний круг [6], астрольбии, мы поворачиваем к Луне или к другому наблюдаемому светилу так, чтобы Луну (или любой другой наблюдаемый объект) мы могли видеть через оба отверстия $[b-b]$ на внутреннем кольце [7], в то время, когда Солнце (или другое упомянутое светило) находится там [где было указано выше]⁵.

Таким образом мы можем определить соответствующий градус долготы круга через середины знаков зодиака по делению равнозначного ему круга [1] инструмента, которое находится в пересечении с внутренним кругом [6], а расстояние в градусах по направлению к северу или к югу — на круге [6], проходящем через полюсы круга [1], по делениям внутреннего круга астрольбии. Последнее [т.е. отклонение по широте] определяется расстоянием между средней точкой верхнего⁶, визирного отверстия на внутреннем вращающемся кольце [7] и линией, проведенной через центр круга [проходящего] через середины зодиакальных созвездий.

2. О гипотезах двойного неравенства Луны

355 Так как теперь [при помощи этого прибора] указанные наблюдения становятся простыми, то оказалось, что расстояния Луны от Солнца, как по записям Гиппарха, так и по нашим собственным наблюдениям, иногда согласовывались с вычисленными по изложенной выше гипотезе, иногда же расходились и отличались иногда мало, иногда же много. Когда же мы больше стали размышлять о характере этого неравенства, то заметили, что во время новолуний или полнолуний оно или дает очень мало, или совершенно не дает никакой заметной погрешности, отличной от той, которую могли бы произвести лунные параллаксы; в обоих же положениях Луны, разделенной пополам, разница бывает наименьшей или даже совершенно отсутствует, если Луна находится в апогее или перигее эпицикла, и достигает максимума, если она находится в промежуточных положениях; тогда получается самая большая разница по сравнению с первым неравенством. Если первое неравенство приходится вычитать, то в каждой из четвертей Луны разница определяется числом, меньшим того, которое получается после вычитания первого неравенства, если же его надо прибавлять, то — большим, при этом она возрастает пропорционально величине первого простафереза. Таким образом, указанные особенности позволили нам заключить, что лунный эпицикл следует предположить 356 движущимся по эксцентрическому кругу, причем он становится более удаленным от Земли в новолуниях и полнолуниях и более близким в обоих положениях Луны, разделенной пополам. Все это будет происходить [как сказано выше], если мы добавим к первой гипотезе такое исправление.

Вообразим в плоскости лунной орбиты круг, концентрический с проходящим через середины знаков и движущийся [вследствие наличия движения] по широте, как мы об этом говорили выше, против последовательности знаков вокруг полюсов круга через середины знаков, перемещаясь на столько, на сколько движение по широте опережает движение по долготе, а Луна обращается по так называемому эпициклу, двигаясь против последовательности знаков на дуге, прилегающей к апогею эпицикла, соответственно восстановлению первой аномалии. В этой наклонной плоскости мы предполагаем два равномерных движения, по направлению противоположных друг другу, совершающихся оба вокруг центра круга через середины знаков, причем одно из них увлекает центр эпицикла в направлении последовательности знаков зодиака в соответствии с движением по широте, а другое перемещает центр и апогей находящегося в той же плоскости эксцентра, на котором всегда находится центр эпицикла; это движение совершается против последовательности знаков, причем величина его будет равна разности, которая получится, если мы вычтем [средний] аргумент широты из удвоенной [средней] элонгации, т.е. из разности 357 среднего лунного движения по долготе по сравнению с солнечным. Например, если в один день центр эпицикла пройдет вследствие движения по широте приблизительно 13;14 градусов в направлении знаков, то на круге через середины знаков он покажется передвинувшимся на 13;11 градусов долготы вследствие того, что весь наклонный круг отступит против последовательности знаков на величину разности в 0;3 градусов; но апогей эксцентра в свою очередь отступит против последовательности знаков на 11;9 градусов, на которые удвоенные градусы элонгации, а именно 24;23, превышают 13;14 градусов [аргумента] широты. Таким образом, вследствие противополож-

ности обоих этих движений, совершающихся, как мы сказали, вокруг центра круга через середины знаков, движение центра эпицикла будет отличаться от движения центра эксцента на дугу, получающуюся после сложения 13;14 и 11;9 градусов, что приблизительно в два раза больше 12;11,30 градусов элонгации. И вследствие этого в течение среднего месяца эпицикл два раза обернется по эксцентру, причем возвращение к апогею эксцента предполагается совершающимся в средних теоретических новолуниях и полнолуниях⁷.

Чтобы сделать это предположение более наглядным, вообразим опять в наклонной плоскости лунной орбиты круг АВГД, концентрический с 358 проходящим через середины знаков [рис. 5.1]; пусть его центром будет

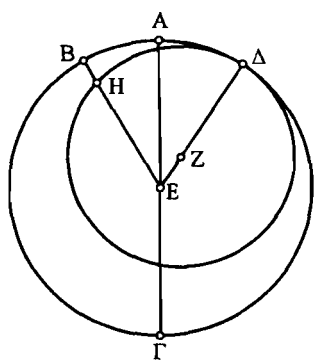


Рис. 5.1

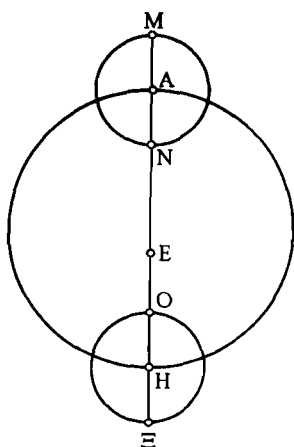


Рис. 5.2

Е и диаметром АЕГ. Одновременно предположим, что в точке А будут апогей эксцента, центр эпицикла, северный предел Луны, начало Овна и среднее положение Солнца. Теперь в дневном движении, как я говорю, вся эта плоскость передвинется от А к Δ вокруг центра Е против последовательности знаков примерно на 3 шестидесятих градуса так, что А — северная граница — окажется на 29;57 градусах Рыб. Два противоположных равномерных движения, совершаются радиусом, соответствующим прямой ЕА, вокруг точки Е — центра круга, концентрического с проходящим через середины знаков. Я имею в виду, что в течение одного дня проходящий через центр эксцента радиус, соответствующий ЕА, равномерно вращается против последовательности знаков и, переходя, например, в ЕΔ, переносит апогей эксцента в Δ⁸, причем дуга АΔ будет равной 11;9 градусам. Проходящий же через центр эпицикла радиус [соответствующий ЕА] равномерно вращается тоже вокруг Е в направлении последовательности знаков и, переходя в положение ЕВ, переносит центр эпицикла в Н и делает дугу АВ равной 13;14 градусам. Таким образом центр Н эпицикла окажется отстоящим от северного предела А на 13;14 градусов [среднего аргумента] широты, а от начала Овна — на 13;11 градусов долготы вследствие того, что северный предел А при этом переместился на 29;57 градусов Рыб; от апогея же Δ эксцента он окажется на расстоянии, равном вместе взятым дугам АΔ и АВ, т.е. 24;23 градусам, которые представляют

359

удвоенную дневную среднюю элонгацию. Так как оба эти движения возвращают [точки] В и Δ одну к другой в течение половины длины среднего [синодического] месяца, то ясно, что в четвертую часть этого же времени, а также и в три четверти, они будут диаметрально противоположными друг другу; это будет иметь место в средних теоретических квадратурах. Находящийся на ЕВ центр [Н] эпицикла, будучи диаметрально противоположным находящемуся на Е апогею эксцента, окажется в его перигее.

Очевидно, что при таком положении самого эксцента, т.е. при отсутствии подобия дуг ΔB и ΔH , не получится никаких изменений в равномерном движении, поскольку равномерное движение прямой EB отсчитывается не по дуге ΔH эксцента, но по дуге ΔB круга через середины знаков, так как вращение происходит вокруг E , а не вокруг центра Z эксцента. Если же пренебречь разницей, которая получается на самом эпицикле, когда он приближается к перигею, то уравнение от аномалии, прибавляемое или вычитаемое, всегда увеличивается вследствие увеличения угла, под которым эпицикл воспринимается глазом наблюдателя; этот угол возрастает в более близких к Земле положениях.

Таким образом, вообще не будет никакой разницы по сравнению с первой гипотезой, если центр эпицикла будет в апогее A и эпицикл будет находиться в положениях, соответствующих среднему теоретическому новолунию или полнолунию.

Если мы около точки A опишем эпицикл MN [рис. 5.2], то отношение AE к AM будет тем же самым, какое было найдено при помощи затмений; наибольшая разница будет, когда эпицикл будет проходить через наиболее близкую к Земле точку H эксцента, т.е. когда он займет положение EO . Это также будет происходить в средних теоретических положениях Луны, разделенной пополам, ибо отношение EH к HE будет наибольшим из всех получающихся в других положениях, так как, поскольку радиус EH эпицикла остается всегда одним и тем же, проведенная из центра Земли прямая EH будет меньше всех других соединяющих прямых, проведенных к эксцентру.

3. О величине неравенства Луны, зависящего от положения относительно Солнца

Чтобы определить наибольшую величину разности из-за этого неравенства, когда эпицикл в своем движении оказывается в наиболее близких к Земле местах эксцента, мы пересмотрели все те из наблюдаемых расстояний Луны от Солнца, в которых ее положения были близки к серединам промежутков [между перигеем и апогеем эпицикла], ибо в таких случаях получится наибольшая разность по сравнению с первым неравенством, а ее расстояние от Солнца в среднем равнялось приблизительно четверти окружности, когда эпицикл находился в наиболее близких к Земле местах эксцента и, кроме того, когда при наблюдении этих условий Луна не давала никакого параллакса по долготе. Если все эти условия соблюдаются и полученное из наблюдений видимое расстояние Луны по долготе совпадает с истинным, то можно было бы надежно определить искомую разность из-за второго неравенства⁹. И вот из рассмотрения таких наблюдений мы пришли к выводу, что когда эпицикл находился на самом близком расстоянии от Земли, то наибольшая разность из-за неравенства по сравнению со средним положением составляла приблизительно $72\frac{2}{3}$ градусов или, если учесть первое неравенство, отличалось от него на $22\frac{2}{3}$ градусов.

Чтобы наглядно показать, как производится это определение по одному или двум наблюдениям, мы взяли наше наблюдение Солнца и Луны во 2 год Антонина 25-го числа египетского месяца Фаменот, после восхода Солнца, за $5\frac{1}{4}$ равноденственных часов до полудня¹⁰. В то время Солнце наблюдалось на $18\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Водолея, а в середине неба находился 4

градус Стрельца, видимое положение Луны было на $92\frac{2}{3}$ градусах Скорпиона¹¹. Таким же было и ее истинное положение, поскольку в Александрии Луна, находясь в первых градусах Скорпиона и отстоя приблизительно на $1\frac{1}{2}$ час к западу от полуденного круга, не производит никакого заметного параллакса по долготе¹². И время, прошедшее от эпохи первого года Набонассара до наблюдения, составляло 885 египетских годов, 203 дня и $18\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ равноденственных часов как по обычному, так и по точному счету¹³. Для этого времени мы нашли, что Солнце в своем среднем движении находилось на $16;27$ градусах Водолея, а в истинном — на $18;50$ градусах, как и было усмотрено при помощи астрологии. И в этот час по гипотезе о первом неравенстве Луна должна была находиться в среднем движении по долготе на $17;20$ градусах Скорпиона, так что ее средняя элонгация от Солнца равнялась приблизительно четверти окружности, в движении же по аномалии она была на расстоянии $87;19$ градусов от апогея эпицикла, т.е. как раз когда получается наибольшая разность из-за неравенства¹⁴. Таким образом, истинное положение оказалось меньше среднего на $7\frac{2}{3}$ градусов вместо 5 градусов, которые получились бы вследствие первого неравенства.

Далее, чтобы показать, как в аналогичных условиях мы получили такую же разницу из наблюдений Гиппарха, мы приводим одно из них, которое, как он говорит, было сделано в 51 году третьего периода Калиппа, 16-го числа египетского месяца Эпифи¹⁵, по истечении $\frac{2}{3}$ первого часа. Он говорит, что «бег Луны был на 241 градусе¹⁶, Солнце усматривалось на $81\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ градусах Льва, а видимое положение Луны было на $12\frac{1}{3}$ градусах Тельца; приблизительно таким же было и ее истинное положение». Таким образом, наблюдаемое истинное расстояние между Солнцем и Луной было $86;15$ градусов. Но так как Солнце находилось в первых градусах Льва, то на Родосе, где производилось наблюдение, 1 дневной час равнялся $17\frac{1}{3}$ временным градусам, следовательно, $5\frac{1}{3}$ часов до полудня по местному времени составляют $6\frac{1}{6}$ равноденственных часов, так что наблюдение произошло за $6\frac{1}{6}$ часов до полудня 16-го числа, причем в середине неба стоял 9 градус Тельца. Таким образом, и тогда время, прошедшее от указанной выше эпохи до наблюдения, составляло 619 египетских годов, 314 дней и $17\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственных часов по обычному счету, а по точному — $17\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ ¹⁷. Для этого времени мы нашли согласно нашим гипотезам (поскольку Родос и Александрия лежат на одном меридиане), что Солнце в среднем движении было на $10;27$ градусах Льва, в истинном же — на $8;20$, а Луна в среднем движении по долготе находилась на $4;25$ градусах Тельца, что опять дает среднюю элонгацию приблизительно в четверть окружности, а по аномалии — на $257;47$ градусах от апогея эпицикла; на этом расстоянии разница из-за неравенства по гипотезе с эпициклом получается опять наибольшей¹⁸. Следовательно, расстояние от среднего положения Луны до истинного положения Солнца получается равным $93;55$ градусам. Наблюдаемое же расстояние от истинного положения Луны до истинного положения Солнца было $86;15$ градусов; следовательно, наблюдаемое истинное положение Луны было больше среднего опять на $7\frac{2}{3}$ градусов вместо 5, которые получились бы по первой гипотезе. Таким образом, выяснилось, что из двух этих наблюдений, сделанных в последней четверти, наше [наблюдение] по сравнению с положением, вычисленным

на основе первого неравенства, оказалось с недостатком в $22\frac{2}{3}$ градуса, а наблюдение Гиппарха — с таким же избытком; таким образом, у нас вся обусловленная аномалией разность оказалась вычитаемой, у Гиппарха же прибавляемой. Также и из многих других подобных наблюдений мы нашли, что наибольшая величина разности от аномалии оказывается приблизительно равной $72\frac{2}{3}$ градусам в тех случаях, когда эпицикл находится в перигейной части эксцента.

4. О величине отношения для эксцентриситета лунной орбиты

После того как все это установлено, возьмем эксцентрический круг Луны АВГ с центром Δ и диаметром АДГ [рис. 5.3], на котором предположим находящимся центр круга Е через середины знаков зодиака, так что точка А будет апогейной точкой эксцента, а Г — перигейной. Из центра Г опишем лунный эпицикл ЗНΘ, проведем к нему касательную ЕΘВ и соединительную прямую ГΘ.

366

Так как при нахождении Луны на направлении касательной к эпициклу получается наибольшая величина разности от аномалии, причем эта разница по вычислениям оказалась равна $72\frac{2}{3}$ градусам, то и угол ГЕΘ с вершиной в центре круга через середины знаков был бы равен $7;40$ градусам, каких в четырех прямых имеется 360, или $15;20$ градусам, каких 360 будет в двух прямых углах. Следовательно, дуга на прямой ГΘ будет равна $15;20$ градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ГЕΘ, имеется 360, а стягивающая эту дугу прямая ГΘ будет равна приблизительно 16 таким частям, каких в гипотенузе ГЕ содержится 120. Таким образом, если радиус ГΘ эпицикла равняется, как показано, $5;15$ частям, а прямая ЕА, проведенная от центра круга через середины знаков до апогея эксцента, равняется 60, то прямая ЕГ, проведенная из этого же центра к перигею эксцента, будет равна $39;22$ таким же частям. И, следовательно, весь диаметр АГ будет равняться $99;22$ таким частям, радиус ΔА эксцента — $49;41$ частям, а расстояние ЕΔ между центрами круга через середины знаков и эксцента — $10;19$ частям. Таким образом, мы продемонстрировали величину отношения, соответствующего эксцентриситу¹⁹.

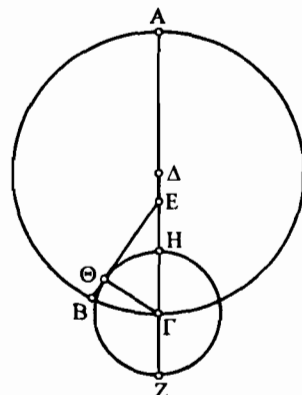


Рис. 5.3

367

5. О «наклонении» лунного эпицикла²⁰

Что касается явлений, происходящих в сизигиях, а также в положениях Луны, разделенной пополам, то до сих пор можно было бы обойтись гипотезами о ее кругах, рассмотренными выше; в отдельных же наблюдаемых ее положениях, когда она является в виде серпа, или двояковыпуклой, особенно когда эпицикл оказывается между апогеем и перигеем эксцента, мы находим в явлениях Луны некоторые особенности, зависящие от «наклонения» эпицикла²¹. В эпициклах следует предполагать вообще одну какую-нибудь, и притом одну и ту же, точку, в которой необходимо должны всегда заканчиваться [равномерные] возвращения в движениях по эпи-

циклам; назовем эту точку средним апогеем и будем отсчитывать от нее как от начала расстояния, пройденные в движениях по эпициклу. Пусть на приложенном чертеже [рис. 5.3] эта точка будет Z. Она определяется при нахождении эпицикла на линии, содержащей апогей и перигей эксцента, при помощи прямой, проведенной через все эти центры, как [это показано] на нашем чертеже ΔЕГ.

Что касается всех других гипотез [в которых используется эпицикл], то в явлениях мы не видим ничего могущего противоречить предположению, что в других положениях эпицикла [не совпадающих с линией апсид] проходящий через упомянутый апогей диаметр ZГН эпицикла всегда сохраняет одно и то же положение относительно прямой, равномерно передвигающей его центр, как в нашем случае ЕГ, и, как это необходимо следовало бы предположить, всегда направленной к центру вращения, вокруг которого в равные времена описываются равные углы равномерного движения. Но для Луны имеются явления, которые не позволяют утверждать, что в положениях эпицикла между А и Г диаметр ZН направлен к центру вращения Е и что он сохраняет то же положение относительно ЕГ. Действительно, мы нашли, что хотя упомянутое направление [диаметр ZН] остается всегда неизменным по отношению к одной и той же точке диаметра АГ, но эта точка не есть центр Е круга через середины знаков и не центр Δ эксцента, но некоторая точка, отстоящая от Е в направлении к перигею эксцента на расстояние, равное расстоянию ΔЕ между центрами²². Что дело именно так и обстоит, мы покажем опять на основании большого количества наблюдений, выбрав из них два, которые лучше всего могли бы проиллюстрировать сказанное, а именно [такие наблюдения], в которых эпицикл находился на средних расстояниях²³, а Луна была в апогее или перигее эпицикла²⁴; именно в таких положениях получается наибольшая разница упомянутых наклонов [диаметра эпицикла].

Так вот, Гиппарх пишет, что он на Родосе наблюдал при помощи инструментов Солнце и Луну²⁵ в 197 году после смерти Александра, 11-го числа египетского месяца Фармути²⁶, в начале второго часа. Он говорит, что, когда Солнце наблюдалось на $7\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Тельца, центр Луны казался находящимся на $21\frac{2}{3}$ градусе Рыб, а точно — на $21\frac{1}{3}\frac{1}{8}$ градусе²⁷. Следовательно, в описываемое время расстояние между истинными положениями Луны и Солнца составляло приблизительно 313;42 градусов в направлении последовательности знаков. Но так как наблюдение было произведено в начале второго часа, то это по местному времени соответствует приблизительно 5 часам до полудня 11-го числа; на Родосе они тогда соответствовали приблизительно $5\frac{2}{3}$ равноденственным часам. Время от установленной нами эпохи до момента наблюдения получается равным 620 египетским годам, 219 дням и $18\frac{1}{3}$ равноденственным часам по обычному счету, или же 18 — по точному. Для этого времени мы находим, что в среднем движении Солнце находилось на 6;41 градусах Тельца, а в истинном — на 7;45, Луна же в среднем движении по долготе была на 22;13 градусах Рыб, а по аномалии — на 185;30 градусах от среднего апогея эпицикла, так что расстояние среднего положения Луны от истинного положения Солнца получилось равным 314;28 градусам²⁸.

При таких предположениях пусть АВГ [рис. 5.4] будет эксцентрическим кругом Луны около центра Δ с диаметром АДГ, на котором будет центр

круга, проходящего через середины знаков. Из центра В опишем лунный эпицикл $ZH\Theta$ и будем передвигать эпицикл в направлении последовательности знаков, т.е. от В к А, а Луну по эпициклу — в направлении от Z к H и Θ ; затем проведем соединяющие прямые ΔB и $E\Theta BZ$.

371 Так как в течение среднего месяца совершается два оборота эпицикла по эксцентру и в рассматриваемом положении средняя Луна отстояла от среднего Солнца на $315;32$ градусов, то, удвоив эту величину и вычтя целую окружность, получим соответствующее этому времени расстояние эпицикла от апогея эксцентра, а именно $271;4$ градус в направлении последовательности знаков. Таким образом, угол AEB будет равняться недостающим до четырех прямых углов $88;56$ градусам. Из Δ на EB опустим перпендикуляр ΔK . Так как угол ΔEB равен $88;56$ градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $177;52$ таким, каких будет 360 в двух прямых углах, то построенная на ΔK дуга будет содержать $177;52$ градусов, каких в окружности около прямоугольного треугольника ΔEK будет 360 , а дуга на EK будет равняться остальным $2;8$ градусам, не достаемым до полуокружности. Следовательно, из стягиваемых этими дугами прямых ΔK будет содержать $119;59$ частей, а EK — $2;14$ части, каких в диаметре ΔE имеется 120 . Значит, если расстояние ΔE между центрами равно $10;19$, а проведенная из центра эксцентра прямая ΔB равна $49;41$, то в прямой ΔK таких частей будет тоже приблизительно $10;19$, а в EK — $0;12$. И так как после вычитания квадрата ΔK из квадрата ΔB получается квадрат BK , то получим, что BK равняется $48;36$ таким же частям, а вся BE — $48;48$.

372 Затем, так как расстояние средней Луны от истинного Солнца получилось равным $314;28$ градусам, а расстояние между истинными положениями по наблюдениям равнялось $313;42$, так что вычитаемая вследствие неравенства разность составляет $0;46$, а среднее положение Луны усматривалось по направлению прямой EB , то предположим, что Луна, бывшая около перигея эпицикла, находится в точке H; проведя соединительные прямые EH и BH , опустим из B на продолжение EH перпендикуляр BA . Так как угол BEA представляет разность вследствие неравенства Луны, то он будет равен $0;46$ градусов, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $1;32$ такому, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на прямой BA будет равна $1;32$ градусу, каких в окружности около прямоугольного треугольника EBA будет 360 , а стягиваемая ею прямая BA равна $1;36$ части, каких в гипотенузе EB будет 120 . Таким образом, если прямая BE равна $48;48$ частям, а радиус BH эпицикла — $5;15$, то в прямой BA таких частей будет $0;39$. И, следовательно, если радиус BH эпицикла принять за 120 , то прямая BA будет равна $14;52$ таким частям, а стягиваемая ею дуга — $14;14$ градусам, каких в описанной около
373 прямоугольного треугольника BHA окружности будет 360 . Следовательно,

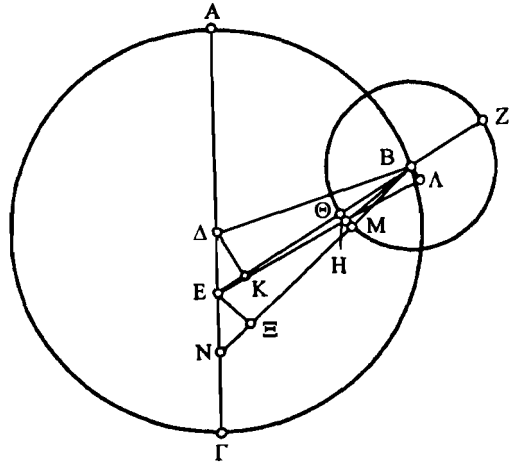


Рис. 5.4

угол ВНА будет равен 14;14 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а остающийся угол ЕВН равен 12;42 таким же градусам, или же 6;21, каких в четырех прямых углах будет 360. Следовательно, стольким градусам будет равна дуга НΘ эпицикла, представляющая расстояние Луны от истинного перигея.

Но так как в момент наблюдения Луна отстояла на 185;30 градусов от среднего апогея, то ясно, что средний перигей будет предшествовать Луне, т.е. точке Н. Тогда пусть он будет в точке М. Проведем прямую ВМN и из точки Е опустим на нее перпендикуляр ЕЕ. Так как согласно доказанному дуга ΘН равнялась 6;21 градусам, а НМ предполагается равной 5;30 градусам расстояния от перигея, так что вся дуга ΘМ получается равной 11;51 градусам, то и угол ВЕЕ будет равняться 11;51 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 23;42 таким, каких в двух прямых углах будет 360. Таким образом, и дуга на прямой ЕЕ будет равна 23;42 градусам, каких в окружности около прямоугольного треугольника ВЕЕ содержится 360, а сама прямая ЕЕ равна 24;39 частям, каких в гипотенузе ВЕ содержится 120. И, следовательно, если прямая ВЕ равна 48;48, то в прямой ЕЕ таких частей будет 10;2. Далее, так как угол АЕВ равнялся 177;52 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а угол ЕВN равнялся 23;42 таким же градусам, то получающийся в остатке угол ЕНВ будет равен 154;10 таким же градусам. Следовательно, дуга на прямой ЕЕ равна 154;10 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ЕНЕ окружности содержится 360, а сама прямая ЕЕ равна 116;58 частям, каких в гипотенузе ЕН имеется 120. И, следовательно, если прямая ЕЕ равна 10;2, а расстояние ΔЕ между центрами 10;19, то в прямой ЕН таких частей будет 10;18. Следовательно, проходящая через средний перигей прямая ВМ, направленная к N, отсекает отрезок ЕН, приблизительно равный ΔЕ. 374

Аналогично этому для доказательства того, что то же самое происходит и в противоположных частях эксцентра и эпицикла, мы выбрали, как уже сказали, из расстояний, наблюденных на Родосе Гиппархом, то, которое было усмотрено им в том же самом 197 году после смерти Александра, 17-го числа египетского месяца Паини²⁹, в 9½ часов. В этом наблюдении, говорит он, Солнце усматривалось на 11 без 1/10 градусах Рака, и видимое положение Луны было самое большее на 29 градусах Льва. Это было и истинное ее положение, так как на Родосе приблизительно через один час после полудня Луна, находясь в конце Льва, не дает никакого параллакса по долготе³⁰. Следовательно, в упомянутое время расстояние между истинными положениями Солнца и Луны было 48;6 градусов в направлении последовательности знаков. Но так как наблюдение было сделано 17-го числа месяца Паини, через 3¼ часа после полудня местного времени, которые тогда на Родосе составляли приблизительно 4 равноденственных часа, то прошедшее время от принятой нами эпохи до наблюдения составляет 620 египетских годов, 286 дней и 4 равноденственных часа по обычному счету, или 32½ часа по точному. Для этого времени мы точно так же находим, что среднее Солнце было на 12;5 градусах Рака, истинное же — на 10;40, а среднее положение Луны по долготе было на 27;20 градусах Льва. Таким образом, расстояние от среднего положения Луны до истинного положения Солнца составляет 46;40 градусов, а аномалия, отсчитанная от среднего апогея эпицикла, равнялась 333;12 градусам³¹. 375

Установив это, возьмем опять эксцентрический круг Луны АВГ с центром Δ и диаметром АДГ [рис. 5.5]. Пусть на этом диаметре находится центр Θ круга через середины знаков; около точки В опишем лунный эпицикл $\text{ZN}\Theta$ и проведем соединительные прямые ΔB и $\text{E}\Theta\text{BZ}$.

Теперь, так как удвоенная средняя элонгация Солнца и Луны содержит $90;30$ градусов, то согласно усмотренному выше угол AEB содержит $90;30$ градусов, каких в четырех прямых углах будет 360, или же 181 таких, каких 360 будет в двух прямых углах. Следовательно, если, продолжив BE , опустим на нее из Δ перпендикуляр ΔK , то угол ΔEK будет равным дополняющим до двух прямых углов 179 градусам. Таким образом, дуга на прямой ΔK будет равна 179 таким градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ΔEK окружности содержится 360, а дуга над прямой EK равна 1 градусу, дополняющему до полуокружности. И, следовательно, из стягиваемых ими прямых ΔK будет равна $119;59$ частям, каких в гипотенузе ΔE содержится 120, а EK равна $1;3$ такой же части. Таким образом, если расстояние ΔE между центрами равно $10;19$, а радиус $\text{B}\Delta$ эксцентра $49;41$, то прямая ΔK будет равна приблизительно $10;19$ таким частям, а EK — $0;5$. И так как квадрат ΔK , вычтенный из квадрата $\text{B}\Delta$, дает квадрат BK , то мы получим, что вся прямая BK равна $48;36$, а разность EB — $48;31$ таким же частям.

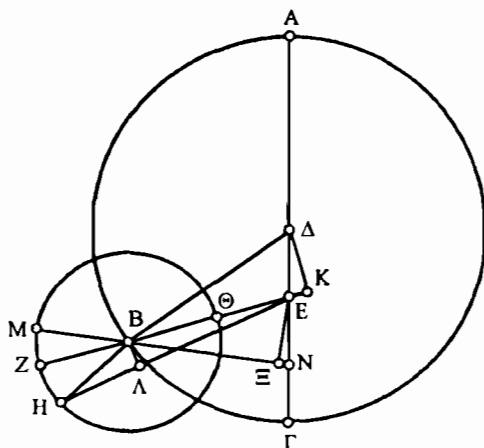


Рис. 5.5

Затем, так как расстояние среднего положения Луны от истинного положения Солнца равнялось $46;40$ градусам, а расстояние между истинными положениями — $48;6$, то разность вследствие неравенства в $1;26$ градус приходится прибавлять. Предположим, что Луна, поскольку она находится около апогея эпицикла, будет в точке Н. Проведя соединительные прямые EH и BH , опустим на EH из B перпендикуляр $\text{B}\Lambda$.

Так как угол BEA равен $1;26$ градусу, 360 которых дают четыре прямых угла, или $2;52$ градусам, каких 360 равны двум прямым углам, то дуга на прямой $\text{B}\Lambda$ равна $2;52$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника BEA окружности содержится 360, сама же прямая $\text{B}\Lambda$ равна $2;59$ частям, каких в гипотенузе EB имеется 120. Следовательно, если прямая EB равна $48;31$ частям, а радиус BH эпицикла — $5;15$, то в прямой $\text{B}\Lambda$ таких частей будет $1;12$. Таким образом, если принять гипотенузу BH за 120, то $\text{B}\Lambda$ будет равна $27;34$ таким частям³², а стягиваемая ею дуга — $26;34$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника $\text{B}\Lambda\text{H}$ окружности содержится 360. И, значит, угол $\text{B}\Lambda\text{H}$ будет равен $26;34$ градусам, каких в двух прямых углах будет 360; весь же угол ZBH будет равен $29;26$ таким градусам, или $14;43$ таким, каких в четырех прямых углах содержится 360. Следовательно, стольким же градусам будет равна дуга HZ эпицикла, представляющая расстояние от Луны до истинного апогея.

Но так как во время наблюдения Луна отстояла от среднего апогея на $333;12$ градуса, то, если предположить, что средний апогей [находится] в М, проведем соединяющую прямую MBN и из точки Е опустим на нее перпендикуляр ЕЕ, вся дуга HZM будет равна дополняющим до полной окружности $26;48$ градусам, а остаток ZM — $12;5$ градусам. Таким образом, угол MBZ или EBE будет равен $12;5$ градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $24;10$ таким, 360 которых равны двум прямым углам; и дуга на ЕЕ будет равна $24;10$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ВЕЕ окружности будет 360 . Сама же прямая ЕЕ равна $25;7$ таким частям, каких в гипотенузе ВЕ содержится 120 . И, следовательно, если прямая ВЕ равна $48;31$, а расстояние ΔE между центрами $10;19$, то прямая ЕЕ таких частей будет содержать $10;8$. Затем, так как угол АЕВ предполагается содержащим 181 такой градус, 360 которых равны двум прямым углам, а угол EBN по доказанному равен $24;10$, так что остающийся угол ENB содержит $156;50$ таких градусов, то и дуга на прямой ЕЕ окажется равной $156;50$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ENЕ окружности будет 360 , сама же прямая ЕЕ равна $117;33$ частям, каких в гипотенузе EN будет 120 . И, следовательно, если прямая ЕЕ равна $10;8$, а расстояние ΔE между центрами $10;19$, то в EN таких частей будет $10;20$. И поэтому проведенная через средний апогей М прямая MB, направленная к N, тоже отсекает отрезок EN, приблизительно равный расстоянию ΔE между центрами.

379

И мы нашли, что приблизительно такие же отношения получаются и из многих других наблюдений, так что это укрепляет наше предположение, что Луне свойственно некоторое «наклонение» в положении эпицикла, причем центр эпицикла совершает полный оборот вокруг центра Е круга, проходящего через середины знаков, но диаметр его, определяющий положение среднего апогея, никак не будет направлен к центру Е равномерного вращения, как у других планет, но всегда пойдет к находящейся с другой стороны точке N на расстоянии, равном расстоянию ΔE между центрами.

380

6. О том, как геометрически по периодическим движениям определяется истинное положение Луны

Доказав все это рассмотренным выше методом, мы должны коснуться того, каким образом для отдельных положений Луны после установления величин средних движений по численным значениям элонгации и положению Луны на эпицикле определить прибавляемый или вычитаеваемый простаферез, дающий поправку для среднего движения Луны по долготе, обусловленную происходящей от аномалии разностью. Определение величины этой поправки на основании теорем, подобных вышеизложенным, производится при помощи геометрических построений³³.

Действительно, для примера на последнем из приведенных выше чертежей [рис. 5.5] возьмем те же самые периодические движения для элонгации и аномалии, т.е. для элонгации — получающиеся из удвоения $90;30$ градусов, а для аномалии — $333;12$ градуса расстояния от среднего апогея эпицикла [рис. 5.6]. Вместо перпендикуляра ЕЕ проведем NE, а также NA вместо BA. При помощи тех же самых рассуждений по заданным углам при центре Е и равным между собой гипотенузам ΔE и EN покажем, что каждая из прямых ΔK и NE составляет приблизительно $10;19$ таких частей, каких в радиусе ΔB эксцентра имеется $49;41$, а в радиусе BN

381

эпицикла 5;15; каждая из прямых ЕК и ЕЕ будет равна 0;5 таких же частей, а вследствие этого вся ВК, как мы показали ранее, будет равна 48;36 таким же частям, и также ВЕ равна 48;31, а ВЕ — остающимся 48;26 частям. Таким образом, поскольку сумма квадратов на ВЕ и ЕН дает квадрат на ВН, длина последней линии получится равной 49;31 таким частям, каких в прямой НЕ содержалось 10;19. И, следовательно, если гипотенуза ВН равна 120, то в 382 прямой НЕ таких частей будет приблизительно 25, а стягиваемая ею дуга равна 24;3 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ВНЕ окружности имеется 360. Таким образом, угол НВЕ, или ZBM, будет равен 24;3 градусам, 360 которых составляют два прямых угла, или приблизительно 12;1 таким, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Следовательно, стольким градусам [12;1] будет равна дуга ZM эпицикла.

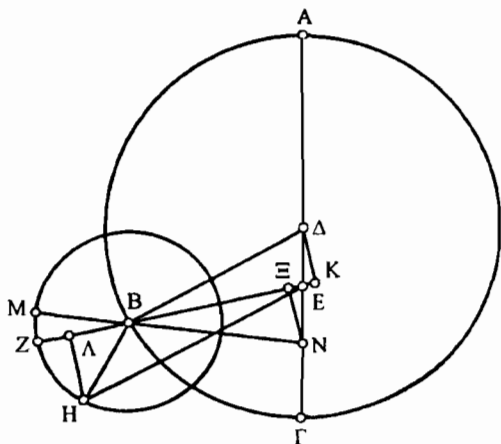


Рис. 5.6

Но так как точка Н, в которой находится Луна, отстоит от среднего апогея М на дополняющие до одной окружности 26;48 градусов, то мы получим, что остающаяся дуга НЗ будет равна 14;47 градусам. Таким образом, и угол НВЗ будет равен 14;47 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 29;34 таким, 360 которых равняются двум прямым углам; и стоящая на НЛ дуга будет равна 29;34 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника НВЛ окружности будет 360, а дуга на АВ равна остальным дополняющим до полуокружности 150;26 градусам. И, значит, из стягивающих их прямых НЛ будет равна 30;37 частям, каких в гипотенузе ВН имеется 120, а АВ равна 116;2 таким же частям. Таким образом, если радиус ВН эпицикла равняется 5;15 частям, а ВЕ, согласно доказанному, 48;31 частям, то в 383 НЛ таких частей будет 1;20, а в АВ таких же 5;5. И, следовательно, вся ЕВЛ будет равна 53;36 таким частям, каких в ЛН было 1;20. И далее, так как сумма квадратов на них дает квадрат на ЕН, то для длины ЕН получим приблизительно 53;37 таких же части. Таким образом, если принять гипотенузу ЕН за 120, то в НЛ таких частей будет 2;59, а стягиваемая ею дуга равна 2;52 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ЕНЛ окружности содержится 360. И, следовательно, определяющий разность от аномалии угол НЕЛ будет равен 2;52 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 1;26 градусу, каких 360 имеется в четырех прямых углах. Это и требовалось показать.

7. Построение таблицы для полного неравенства Луны

Чтобы при помощи табличных данных дать способ простого определения простаферезов для отдельных положений, мы дополнили уже приведенную нами выше таблицу для простого неравенства³⁴, присоединив к ней столбцы, при помощи которых можно удобно ввести поправку и на второе неравенство.

При ее составлении мы воспользовались опять теми же геометрическими методами. После первых двух столбцов, содержащих числа [аргумента]³⁵, мы поместили третий столбец, содержащий простаферезы для величины аномалии, чтобы можно было составленное из средних движений расстояние Луны от среднего апогея М пересчитать на истинный апогей Z. Мы нашли их тем же самым способом, каким по заданной элонгации в 90;30 градусов определили, что дуга ZM равна 12;1 градусам (а это было сделано для того, чтобы показать, что если Луна отстоит от среднего апогея М на 333;12 градуса, то ее расстояние от истинного апогея получается после сложения, очевидно, равным 345;13 градусам, для каких и следует брать обусловленные эпициклом простаферезы [добавляемые] к среднему движению по долготе). Так же и для других числовых значений элонгации определяются по соответствующим отрезкам величины вышеупомянутых простаферезов. Так вот, чтобы не говорить слишком много относительно каждого отдельного случая, мы на основании таких же вычислений получили числа, которые и поместили соответственно в третий столбец³⁶. Из следующих столбцов четвертый содержит уже приведенные в первой таблице величины неравенства, обусловленного эпициклом, в предположении, что на основании отношения 60 к 5;15 наибольший простаферез достигает приблизительно 5;1 градусов³⁷. Пятый столбец содержит разности, получающиеся вследствие второго неравенства по сравнению с первым, при условии, что здесь наибольший простаферез (согласно отношению 60 к 8) получается после сложения равным $7\frac{2}{3}$ градусам³⁸. Таким образом, четвертый столбец определяет величину неравенства для положения эпицикла в апогее эксцентра для сизигий, а пятый — избытки, прибавляемые к величине неравенства, получающегося в перигее эксцентра, для положения Луны,

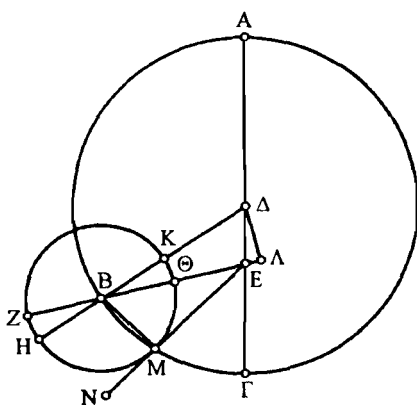


Рис. 5.7

разделенной пополам. Чтобы получать также прибавляемые доли соответствующих избытков и для промежуточных положений эпицикла, мы добавили шестой столбец, содержащий шестидесятые доли, которые нужно для каждого значения элонгации брать от соответствующей величины разницы и прибавлять к помещенному в четвертом столбце проставлению от первого неравенства³⁹.

И это было сделано нами следующим образом⁴⁰. Пусть АВГ [рис. 5.7] будет опять эксцентрическим кругом Луны с центром Δ и диаметром $\Delta\Delta\Gamma$, на котором предположим находящимся центр E круга через середины зодиакальных созвездий.

Взяв какую-нибудь дугу АВ и описав около В эпицикл $ZHOK$, проведем прямую EBZ . Пусть, например, дано значение элонгации 60 градусов, так что на основании доказанного выше угол AEB будет равен удвоенному числу градусов заданной элонгации, т.е. 120. Из точки Δ на продолжение BE опустим перпендикуляр ΔA , проведем прямую $HBKA$ и предположим, что проведенная из центра E к Луне прямая EMN будет касательной к эпициклу (чтобы получить наибольшее значение разности от неравенства), и соединим B и M .

Так как угол АЕВ предполагается равным 120 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 240 таким, 360 которых содержатся в двух прямых углах, то угол ДЕЛ будет равняться дополняющим до двух прямых углов 120 градусам. Таким образом, дуга на прямой ДЛ будет равна 120 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ДЕЛ содержится 360, а дуга на ЕЛ будет равна остальным дополняющим до полукруга 60 градусам. И, следовательно, из стягивающих эти дуги прямых ЕЛ будет равна 60 частям, каких в гипотенузе ДЕ содержится 120, а ДЛ равна 103;55 таким частям. Значит, если прямая ДЕ равна 10;19 и точно так же ДВ равна 49;41, то в прямой ЕЛ таких частей будет приблизительно 5;10, а в ДЛ точно так же 8;56. И так как квадрат ДЛ, вычтенный из квадрата ВД, дает в остатке квадрат ВЛ, то, значит, длина всей прямой ВЕЛ будет равна 48;53, а остаток ЕВ — 43;43 частям, каких в радиусе МВ эпицикла будет 5;15. Следовательно, если гипотенуза ЕВ равна 120, то в прямой ВМ будет 14;25 таких частей, а в стягиваемой ею дуге — 13;48 градусов, каких в описанной около прямоугольного треугольника ВЕМ окружности будет 360. Значит, угол ВЕМ, представляющий наибольшую разность от аномалии, равен 13;48 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 6;54 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Следовательно, для такого значения элонгации соответствующая величина разности от аномалии будет на 1;53 градус отличаться от получающихся в апогее 5;1 градусов. Но вся разница до соответствующей величины в перигее составляет 2;39 градуса; следовательно, если наибольшую разницу предположить равной 60, то разница в 1;53 градус будет соответствовать 42;38, что мы и поместили в шестом столбце в строке, соответствующей числу 120 градусов элонгации.

Точно так же мы вычислили доли разностей от двух неравенств, полученные этим методом, и для остальных значений аргумента и поместили их, представив в шестидесятих долях от разности [в пятом столбце] для соответствующих значений аргумента, причем целые 60 [шестидесятих] будут соответствовать, конечно, удвоенным 90 градусам элонгации, которые представляют 180 градусов перигея эксцентра.

Мы поместили также [в таблице] седьмой столбец, содержащий положения Луны по широте для каждой точки круга через середины знаков, отсчитывая их по кругу, проходящему через его полюсы, т.е. величины дуг этого круга [заключенные] между кругом, проходящим через середины знаков, и наклонным кругом лунной орбиты, имеющим с ним общий центр, для каждого положения Луны на последнем. Для этого мы воспользовались тем же самым методом, которым вычисляли дуги круга, проходящего через полюсы равноденственного, содержащиеся между равноденственным и проходящим через середины знаков зодиака⁴¹. Только здесь дуга, заключающаяся между зодиакальным кругом и северной или южной границами наклонного круга лунной орбиты и отсчитываемая по большому кругу, проходящему через полюсы упомянутых [кругов], будет равна 5 градусам, так как вычисления Гиппарха и наши относительно самых северных и самых южных видимых положений показали, что именно таким приблизительно получается наибольшее отклонение Луны в обе стороны от круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий⁴². Почти все наблюдения ее положений, выполненные или относительно звезд, или при помощи инструментов, вполне согласуются с такими значениями наибольших отклонений по широте, что будет подтверждено последующими доказательствами. И таблица полного лунного неравенства такова⁴³.

8. Таблица полного лунного неравенства

390-391

Общие числа		Расстояние [от среднего до истинного] апогея [эпицикла]	Эпициклическая аномалия [в апогее экс-центра]	Избыток эпициклической аномалии [в перигее эксцентра]	Шести-десятые	Широта	
		[c ₃]	[c ₄]	[c ₅]	[c ₆]	[β]	
6°	354°	0° 53'	0° 29'	0° 14'	0' 12"	4° 58'	Северный предел
12	348	1 46	0 57	0 28	0 24	4 54	
18	342	2 39	1 25	0 42	1 20	4 45	
24	336	3 31	1 53	0 56	2 16	4 34	
30	330	4 23	2 19	1 10	3 24	4 20	
36	324	5 15	2 44	1 23	4 32	4 3	
42	318	6 7	3 8	1 35	6 25	3 43	
48	312	6 58	3 31	1 45	8 18	3 20	
54	306	7 48	3 51	1 54	10 22	2 56	
60	300	8 36	4 8	2 3	12 26	2 30	
66	294	9 22	4 24	2 11	15 5	2 2	
72	288	10 6	4 38	2 18	17 44	1 33	
78	282	10 48	4 49	2 25	20 34	1 3	
84	276	11 27	4 56	2 31	23 24	0 32	
90	270	12 0	4 59	2 35	26 36	0 0	
93	267	12 15	5 0	2 37	28 12	0 16	
96	264	12 28	5 1	2 38	29 49	0 32	
99	261	12 39	5 0	2 39	31 25	0 48	
102	258	12 48	4 59	2 39	33 1	1 3	
105	255	12 56	4 57	2 39	34 37	1 17	
108	252	13 3	4 53	2 38	36 14	1 33	
111	249	13 6	4 49	2 38	37 50	1 48	
114	246	13 9	4 44	2 37	39 26	2 2	
117	243	13 7	4 38	2 35	41 2	2 16	
120	240	13 4	4 32	2 32	42 38	2 30	
123	237	12 59	4 25	2 28	44 3	2 43	
126	234	12 50	4 16	2 24	45 28	2 56	
129	231	12 36	4 7	2 20	46 53	3 8	
132	228	12 16	3 57	2 16	48 18	3 20	
135	225	11 54	3 46	2 11	49 32	3 32	
138	222	11 29	3 35	2 5	50 45	3 43	
141	219	11 2	3 23	1 58	51 59	3 53	
144	216	10 33	3 10	1 51	53 12	4 3	
147	213	10 0	2 57	1 43	54 3	4 11	
150	210	9 22	2 43	1 35	54 54	4 20	
153	207	8 38	2 28	1 27	55 45	4 27	
156	204	7 48	2 13	1 19	56 36	4 34	
159	201	6 56	1 57	1 11	57 15	4 40	
162	198	6 3	1 41	1 2	57 55	4 45	
165	195	5 8	1 25	0 52	58 35	4 50	
168	192	4 11	1 9	0 42	59 4	4 54	
171	189	3 12	0 52	0 31	59 26	4 56	
174	186	2 11	0 35	0 21	59 37	4 58	Южный предел
177	183	1 7	0 18	0 10	59 49	4 59	
180	180	0 0	0 0	0 0	60 0	5 0	

392

9. О вычислении движения Луны в целом

Когда мы захотим при помощи описанной таблицы вычислить лунное неравенство, возьмем для Александрии в рассматриваемый момент времени средние движения Луны по долготе, элонгации, аномалии и широте описанным выше способом⁴⁴; первое число для элонгации мы должны всегда удвоить, отняв, если понадобится, целую окружность. Затем в таблице аномалии ищем соответствующее этому числу количество градусов в третьем столбце, причем, если удвоенное число будет менее 180 градусов, прибавляем его к числу градусов средней аномалии, если же оно будет больше 180 градусов, то вычтем из них⁴⁵. Полученное число для истинной аномалии вносим в ту же самую таблицу и пишем соответствующие ему простаферез в четвертом столбце и отдельно разность в пятом.

393

После этого, внося в те же столбцы удвоенное число градусов средней элонгации, находим соответствующие ему шестидесятые доли в шестом столбце и, взяв это число долей от записанной разности, всегда прибавляем его к данному в четвертом столбце простаферезу. Если полученное для истинной аномалии число будет меньше 180 градусов, то отнимаем его от среднего числа градусов для долготы и [аргумента] широты; если же оно больше 180 градусов, то прибавляем его к ним. Из [двух] полученных чисел первое мы прибавляем к числу градусов [средней] долготы, соответствующему установленной эпохе. Определенное таким путем число градусов даст истинное положение [по долготе] Луны⁴⁶. [Второе] число для [аргумента] широты, отсчитываемое от северной границы, мы вносим в ту же самую таблицу; соответствующее ему число градусов в седьмом столбце для широты⁴⁷ дает расстояние центра Луны от круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, причем это расстояние отсчитывается по большому кругу, проведенному через полюсы зодиакального круга. Если полученное число находится в первых 15 строках, то Луна будет к северу, если же в остальных, то к югу. Первый столбец общих чисел соответствует ее движению от севера к югу, второй же — от юга к северу⁴⁸.

394

10. О том, что эксцентрический круг Луны не производит никакой заметной разницы в сизигиях

Естественно, могут появиться некоторые сомнения в том, что в новолуниях и полнолуниях и происходящих в них затмениях может получиться заметная разница вследствие того, что при наличии эксцентрического круга Луны центр лунного эпицикла не всегда окажется в самом апогее [эксцентра], но может отстоять от него на заметное расстояние, так как положения [эпицикла] по отношению к этому апогею определяются по теоретическим средним сизигиям, а истинные новолуния и полнолуния берутся по аномалиям обоих этих светил. Мы попытаемся поэтому показать, что в сизигиях это различие не может дать никакой заметной погрешности в наблюдающихся явлениях, даже если при вычислении [истинных сизигий] не учитывать разницу, получающуюся от эксцентриситета круга⁴⁹.

395

Пусть АВГ [рис. 5.8] будет эксцентрическим кругом Луны с центром Δ и диаметром АДГ, на котором в точке Е находится центр круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий. Пусть в Z будет находиться противолежащая Δ точка «наклонения», к которой направлена

будет 360. И, значит, угол ВЕΘ наибольшей разницы неравенства будет равен 10;6 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или же 5;3 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, вместо 5;1 градуса, получавшихся, когда эпицикл был в апогее А. Следовательно, получающаяся по этой причине разница от неравенства в аномалии будет равняться всего только 2 шестидесятым градуса, что может повести к погрешности не больше $\frac{1}{16}$ часа⁵².

Предположим теперь, что Луна находится в среднем перигее Λ, так что угол АЕВ содержит 4;46 градуса, представляющих приблизительно удвоенное значение одного только [наибольшего] солнечного неравенства. Проведя на таком же чертеже [рис. 5.9] соединительную прямую ЕΛ, опустим на ВЕ из Λ перпендикуляр ΛN, из Δ — перпендикуляр ΔM, а из Z на продолжение ВЕ — перпендикуляр ZΞ. На основании того же, что и выше, если угол при Е равняется 4;46 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360,

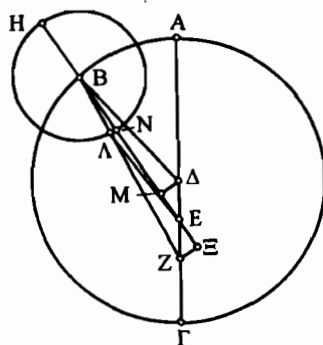


Рис. 5.9

или же 9;32, каких 360 содержится в двух прямых углах, то дуги на ΔM и ZΞ будут равняться 9;32 градусам, каких в описанных около прямоугольных треугольников ЕΔM и EZΞ окружностях будет 360, а дуги на EM и EE будут равняться недостающим до полуокружности 170;28 градусам. И, следовательно, каждая из стягивающих эти дуги прямых ΔM и ZΞ будет равна 9;58 частям, каких в каждой из соответствующих гипотенуз ΔE и EZ будет 120, а каждая из прямых ME и EE будет равна 119;35 таким же частям. Следовательно, если каждая из прямых ΔE и EZ равняется 10;19 частям, а радиус ΔB эксцентра 49;41, то каждая из прямых ΔM и ZΞ будет равна 0;51, а каждая из ME и EE — 10;17 таким же частям. И так как квадрат ВΔ после вычитания квадрата ΔM дает квадрат BM, то длина BM будет равна приблизительно 49;41 таким же частям. Таким образом, прямая ВЕ будет равна 59;58, а вся ВΞ — 70;15 таким же частям, каких в ZΞ было 0;51. На том же основании и гипотенуза ВZ будет равна приблизительно 70;15 таким же частям. И как ВZ относится к каждой из ZΞ и ВЕ, так и ВΛ будет относиться к каждой из ΛN и BN⁵³.

Таким образом, если радиус ВΛ эпицикла равняется 5;15, а ВЕ, как было доказано, 59;58, то в ΛN таких частей будет 0;4, а в BN — приблизительно 5;15, разность же NE будет равна 54;43 частям, каких в ΛN было 0;4. Поскольку на основании показанного гипотенуза ЕΛ [прямоугольного треугольника ЕΛN] не отличается от тех же 54;43 частей, выходит, что если гипотенузу ЕΛ взять равной 120, то в прямой ΛN таких частей будет приблизительно 0;8, а в стягиваемой ею дуге — также 0;8 градуса, каких в описанном около прямоугольного треугольника ЕΛN окружности содержится 360. И, следовательно, угол ВЕΛ, на который Луна отклоняется от направления на Z, будет равняться 0;8 градусов, каких 360 содержится в двух прямых углах, или 0;4 градуса, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Таким образом, и здесь разность от неравенства Луны не превышает 4 шестидесятых градуса, что также не произведет никакой значительной погрешности в явлениях, происходящих в сизигиях, ибо они

не могут составить даже $\frac{1}{8}$ части часа⁵⁴, а такую погрешность можно ожидать в большинстве наблюдений.

Мы изложили все это не для того, чтобы показать, что при определении сизигий нельзя было бы учесть при расчете и эти разности, хотя они и имеют малую величину, но для доказательства того, что мы не совершили никакой заметной ошибки, когда при обработке приведенных лунных затмений [использовали только гипотезу с эпициклом и] не привлекали дополнительно гипотезу с эксцентром, введенную позднее.

11. О параллаксах Луны

401

Вот почти все, что можно сказать об определении истинных движений Луны. Однако при наблюдении Луны происходит то, что видимое ее положение не будет для наших чувств совпадать с истинным вследствие того, что, как мы сказали⁵⁵, Землю нельзя считать точкой по отношению к расстоянию до лунной сферы. Поэтому нам представляется необходимым и последовательным изложить теорию ее параллаксов главным образом ради наблюдаемых солнечных затмений и других явлений. При помощи лунных параллаксов можно определять видимые положения Луны, как они представляются наблюдателю, на основании истинных ее положений, отнесенных к центру Земли и кругу, проходящему через середины знаков зодиака, а именно для какого-нибудь места земной поверхности определять теоретически наблюдаемые положения и, обратно, — по наблюдаемым положениям вычислять точные. При этом нельзя определить частные значения этих параллаксов, не указав относительной величины расстояний или, наоборот, найти относительные величины расстояния без указания какого-нибудь параллакса. Поэтому для светил, не имеющих заметного параллакса, т.е. для таких, по сравнению с расстоянием до которых Землю можно считать точкой, нельзя, очевидно, найти отношения расстояний. Что же касается светил, имеющих параллакс, как, например, Луны, то относительное расстояние можно было бы найти только на основании какого-нибудь первоначально заданного параллакса [установленного] при помощи некоторого параллактического наблюдения. Такого рода наблюдения могут быть произведены и самостоятельно, тогда как числовую величину расстояния определить [непосредственно] никак невозможно. Гиппарх производил соответствующее исследование исходя главным образом из наблюдений Солнца. Действительно, при помощи некоторых других явлений, касающихся Луны и Солнца, о которых мы будем говорить в дальнейшем, можно прийти к заключению, что если дано расстояние до одного из этих светил, то будет дано и расстояние до другого⁵⁶. Он пытается, сделав некоторую приблизительную оценку для Солнца, получить также и расстояние до Луны. Сначала он предполагает, что Солнце имеет только наименьший доступный для наших чувств параллакс, чтобы получить его расстояние; после этого для определенного солнечного затмения он производит расчеты, сначала предполагая параллакс Солнца совершенно незаметным, а затем имеющим некоторую достаточную [для наблюдения] величину. Таким образом, у него согласно каждой из упомянутых гипотез получаются различные величины расстояния до Луны, так что он вообще сомневается не только относительно величины солнечного параллакса, но и относительно того, имеет ли вообще Солнце какое-нибудь параллактическое смещение⁵⁷.

402

12. Об устройстве параллактического инструмента⁵⁸

Чтобы не примешивать к нашему исследованию ничего неизвестного, мы построили инструмент, при помощи которого можно было бы насколько возможно точно наблюдать, на какую величину при заданном расстоянии от полюса горизонта смещается параллактически Луна; величина этого смещения отсчитывается по большому кругу, проведенному через Луну и полюсы горизонта.

Мы сделали две линейки [1, 2 на рис. 5-D]⁵⁹ с прямоугольным сечением, имеющие длину не менее четырех локтей для того, чтобы можно было нанести максимально возможное число делений; поперечные размеры их имели соответствующую величину для того, чтобы они вследствие своей длины не гнулись, но оставались совершенно точно прямолинейными по каждой из своих сторон. Затем, начертив прямые линии посередине более широкой стороны, на обоих концах одной из этих линеек мы приставили посередине линии прямые квадратные призмочки [a, b], равные и параллельные друг другу, имеющие каждая точно в центре отверстие; у призмы, более близкой к глазу, отверстие было очень малым, а у обращенной к Луне — более значительным так, чтобы после приложения глаза к призме с наименьшим отверстием можно было по прямой видеть всю Луну через другое отверстие. После этого, просверлив одинаковым образом каждую из этих линеек по средним линиям, с того конца, где находится призмочка с большим отверстием, мы вставили через обе линейки ось [c], которая связывала бы обе стороны линеек с проведенными прямыми так, чтобы линейка с призмами могла как угодно вращаться около этой оси как [вокруг] центра, не отклоняясь в стороны. Затем, закрепив неподвижно на основании [4] не имеющую призм линейку, мы взяли на средней линии каждой [из линеек] на концах, прилегающих к основанию, некоторые точки [f, m], возможно дальше отстоящие от центра, определяемого осью [c], на одинаковых от него расстояниях. Определенную таким образом прямую на линейке, соединенной с основанием, мы разделили на 60 частей, а каждую из этих последних — еще на возможно большее число отрезков⁶⁰. С задней стороны этой же линейки мы установили по концам [две] призмы [d—d], у которых соответствующие грани расположены на одной прямой по отношению друг к другу и каждая одинаково отстоит от упомянутой средней линии [c—f], чтобы при помощи проходящего через обе эти призмы отвеса можно было установить эту линейку в неизменном положении перпендикулярно плоскости горизонта. Имея полуденную линию [e—e], начерченную заранее

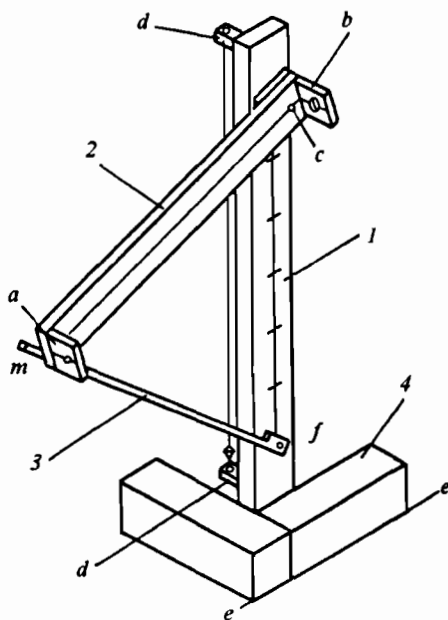


Рис. 5-D

на плоскости, параллельной горизонту, на некоторой незатененной площадке, мы устанавливаем этот инструмент перпендикулярно так, чтобы стороны линейек, соединенные между собою осью, были параллельны проведенной полуденной линии; прикрепленная к основанию перпендикулярная линейка должна оставаться прочно неподвижной и без отклонений в сторону, а другую линейку можно было бы, нажимая соответствующим образом, вращать вокруг оси в полуденной плоскости⁶¹. Мы добавили также еще одну прямую и тонкую линейку [3], прикрепив ее короткой осью [f] к нижнему концу линейки с делениями так, чтобы она могла вращаться и при самом большом повороте достигала равноудаленного [от оси c] конца прямой на другой линейке, чтобы можно было при ее вращении определять по прямой расстояние [fm] между упомянутыми обоими концами⁶².

Таким вот образом мы и производили наблюдения Луны в ее прохождениях через полуденную линию вблизи точек солнцеворота на круге, проведенном через середины знаков зодиака. Так как в этих положениях большие круги, проведенные через центр Луны и полюсы горизонта, приблизительно совпадают с большими кругами, проведенными через полюсы круга через середины знаков зодиака, по которым определяются положения Луны по широте, то вследствие этого можно легко определить точное расстояние [Луны] до полюса горизонта⁶³. Направив линейку с призмами [2] на Луну при ее прохождениях через полуденную линию так, чтобы центр Луны через оба отверстия усматривался в середине наибольшего из них, отмечаем на тонкой линейке [3] расстояние [fm] между концами прямых, проведенных на линейках, и, прикладывая полученное расстояние к разделенной на 60 частей линии перпендикулярной линейки [1], определяем, сколько в упомянутом расстоянии будет содержаться таких частей, каких в радиусе описываемого линейкой в полуденной плоскости круга имеется 60. Взяв дугу, стягиваемую прямой такой величины, мы получим расстояние видимого центра Луны от полюса горизонта по большому кругу, проведенному через центр Луны и полюс горизонта⁶⁴. В этом положении упомянутый круг будет тождественным с полуденным, проходящим через полюсы как равноденственного круга, так и круга, проведенного через середины знаков зодиака.

Чтобы точно определить наибольшую широту Луны, мы производили наблюдения с этим прибором в ситуации, когда Луна находилась одновременно около точки летнего солнцеворота и в самом северном пределе своей наклонной орбиты⁶⁵. Так как в окрестности этих точек можно с достаточной степенью точности считать неизменным положение Луны по широте и также вследствие того, что в этом положении на параллели Александрии, на которой мы производили наблюдения, Луна оказывалась в самой верхней точке неба, то видимое положение Луны можно считать приблизительно совпадающим с истинным. В этих положениях мы определили расстояние центра Луны от полюса горизонта равным приблизительно $2\frac{1}{8}$ градусам, так что в результате получается, что наибольшее смещение Луны по широте с каждой стороны круга через середины знаков зодиака равняется 5 градусам, на которые определенные для Александрии $30;58$ градусов расстояния от полюса горизонта до равноденственного круга после вычитания упомянутого видимого расстояния $2\frac{1}{8}$ градуса превышают

найденное расстояние 23;51 градуса от равноденственного круга до точки солнцеворота⁶⁶.

408 Чтобы произвести исследование параллаксов, мы таким же образом опять наблюдали Луну, когда она оказывалась вблизи точки зимнего солнцеворота, так как на основании сказанного, а также вследствие наибольшей величины ее расстояния от полюса горизонта при подобном прохождении через полуденный круг, ее параллакс должен иметь наибольшую и наиболее ясно наблюдаемую величину⁶⁷. Из большого числа наблюдений параллаксов, сделанных в таких положениях, мы приведем только одно, чтобы одновременно показать и метод расчета, и дать определение всего остального, что нам потребуется в дальнейшем.

13. Определение расстояний Луны

Так вот, в 20 году Адриана, 13-го числа египетского месяца Атир⁶⁸, через $5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственных часов после полудня, когда Солнце уже заходило, мы наблюдали Луну на полуденном круге и при помощи описанного инструмента нашли, что центр ее находился на $50\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ градусах от полюса горизонта. Действительно, измеренное по тонкой линейке расстояние равнялось приблизительно $51\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ части, каких в радиусе описываемого вращением круга было 60, а такой величины прямая стягивает дугу $50\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ градусов, каких в целой окружности будет 360⁶⁹.

409 Время, прошедшее от эпохи первого года Набонассара до рассматриваемого наблюдения, составляет 882 египетских года, 72 дня и $5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственных часов по обычному счету, или $5\frac{1}{3}$ по точному. В указанный момент мы находим, что среднее положение Солнца было на 7;31 градусах Клешней и истинное — на 5;28, Луна же в среднем движении была на 25;44 градусах Стрельца и ее элонгация равнялась 78;13 градусам, расстояние [по аномалии] от среднего апогея эпицикла — 262;20 градусам, а по широте от северного предела — 354;40. Вследствие этого разность от неравенства, определяемая по соответствующей таблице и равная 7;26 градусам, прибавляется. Таким образом, точное положение Луны в рассматриваемый час было по долготе на 3;10 градусах Козерога, по широте — на расстоянии 2;6 градуса от северного предела, если считать по наклонной орбите, или же, если отсчитывать по кругу, проходящему через полюсы зодиака, а он тогда приблизительно совпадал с полуденным⁷⁰, то на 4;59 градусах к северу от круга, проходящего через середины знаков. Но 3;10 градуса Козерога находятся к югу от равноденственного круга на расстоянии 23;49 градуса по тому же самому кругу, в Александрии же равноденственный круг отстоит от полюса горизонта также на 30;58 градусов к югу. Следовательно, точное расстояние центра Луны от полюса горизонта было 49;48 градусов⁷¹, видимое же расстояние было 50;55. Таким образом, параллактическое смещение Луны в соответствующем положении равнялось 1;7 градусу, отсчитываемому по большому кругу, проведенному через нее и полюсы горизонта; сама же она находилась от полюса горизонта точно на 49;48 градусах.

410 Выяснив это, в плоскости, проходящей через Луну и полюсы горизонта, начертим несколько концентрических кругов [рис. 5.10], а именно представляющий Землю большой круг АВ, затем проходящий через центр Луны и место наблюдения круг ГД и, наконец, круг EZHΘ, по отношению

прямые $НВ\Theta E$, $В\Delta$ и $ВKZ$. Предположим, что Луна во время данного наблюдения находилась в Δ . Соединим $A\Gamma$ и $A\Gamma$ и опустим из точки Δ на продолжение прямой BE перпендикуляр ΔM , а из точки Z на ту же прямую перпендикуляр ZN .

Так как во время наблюдения численная величина элонгации Луны была 78;13 градусов, то согласно рассмотренному выше угол АЕВ будет равняться 156;26 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а каждый из углов ZEN и ΔЕМ будет равняться оставшимся до двух прямых углов 23;34 градусам; если же взять 360 градусов, равных двум прямым углам, то указанные углы будут равняться каждый 47;8 таким градусам. Следовательно, дуга на каждой из прямых ΔМ и ZN будет равна 47;8 градусам, каких в окружности около упомянутых прямоугольных треугольников будет 360 вследствие того, что ΔЕ равна ЕZ; дуги же на каждой из прямых ЕМ и EN будут равны 132;52 таким же градусам. Следовательно, каждая из стягиваемых ими прямых ΔМ и ZN будет равна 47;59 частям, каких в каждой из гипотенуз ΔЕ и EZ будет 120; каждая же из прямых ЕМ и EN содержит 110 таких же частей. Таким образом, если каждая из прямых ΔЕ и EZ равна 10;19, а радиус ΔВ эксцентра — 49;41, то таких частей в каждой из ΔМ и ZN будет 4;8, а в ЕМ и EN — по 9;27 таких же. И так как квадрат на ВΔ после вычитания квадрата на ΔМ дает квадрат на ВМ, то мы получим, что вся длина ВМ будет равна 49;31 таким частям, ВЕ точно так же — 40;4 и, наконец, ВN — таким же 30;37 частям, каких в ZN было 4;8. И так как сумма квадратов дает квадрат на ВZ, то мы получим, что длина гипотенузы ВZ будет равна 30;54 таким же частям. Таким образом, если гипотенуза ВZ равна 120, то в ZN таких частей будет 16;2, а дуга на ней будет равна таким 15;21 градусам, каких в окружности около прямоугольного треугольника ВZN содержится 360. И, следовательно, угол ZBN будет равен 15;21 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или же приблизительно 7;40 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Вот именно такому количеству градусов будет равна дуга ΘК эпицикла.

Далее, так как во время наблюдения Луна отстояла на $262;20$ градуса от среднего апогея эпицикла и, следовательно, от среднего перигея К на превышающие полуокружность $82;20$ градуса, то дуга КЛ будет равна $82;20$ градусам, а вся $\Theta\text{КЛ}$ — 90 градусам; значит, угол $\Theta\text{ВЛ}$ будет прямым. Таким образом, если радиус $\Delta\text{В}$ эксцента равняется $49;41$, а радиус ВЛ эпицикла — $5;15$, то согласно доказанному ЕВ равна $40;4$ таким частям; так как сумма их квадратов дает квадрат на ЕЛ , то длина ЕЛ получается равной $40;25$ таким же частям. Следовательно, во время наблюдения расстояние Луны равнялось $40;25$ частям, каких в радиусе ВЛ эпицикла предполагалось $5;15$, расстояние ЕА от центра Земли до апогея эксцента — 60 и расстояние ЕГ от центра Земли до перигея эксцента — $39;22$. Но было

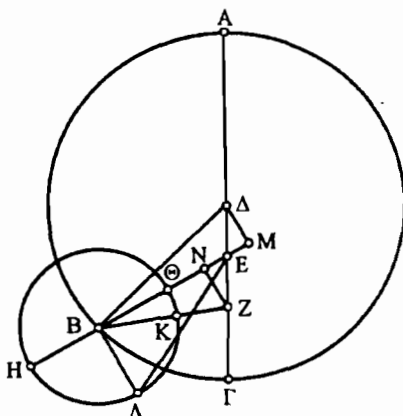


Рис. 5.11

доказано, что во время наблюдения расстояние Луны, т.е. прямая ЕА, равнялось 39;45 частям, каких в радиусе Земли была 1; и, следовательно, если прямая ЕА расстояния Луны во время наблюдения равна 39;45, а радиус Земли — 1, то прямая ЕА, дающая среднее расстояние в сизигиях, будет равна 59;0 таким частям⁷³, а ЕГ — среднее расстояние в квадратурах — 38;43, радиус же эпицикла — 5;10 таким же частям. Это и предполагалось показать⁷⁴.

После того как мы указанным образом нашли расстояния Луны, нам следовало бы одновременно определить и расстояние Солнца, что легко можно получить геометрически, если к расстояниям Луны во время сизигий добавить также величины получающихся в это время углов, имеющих вершину в глазу наблюдателя, под которыми видны диаметры Солнца, Луны и тени.

14. О величинах видимых диаметров Солнца, Луны и земной тени в сизигиях

Из всех методов для такого исследования мы отказались от тех, в которых определение диаметров светил производится при помощи водяных измерителей, а также по времени, которое затрачивается [светилом] на восход в день равноденствия⁷⁵, так как при помощи подобных методов нельзя точно определить требуемое. Мы сами, построив описанный еще Гиппархом диоптр [рис. 5-Е] с линейкой в четыре локтя⁷⁶, произвели с его помощью наблюдения и нашли, что диаметр Солнца во всех положениях

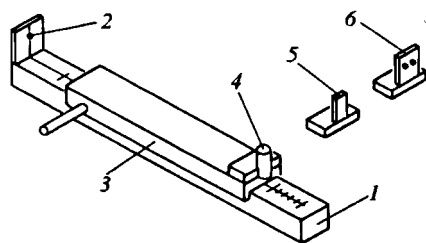


Рис. 5-Е

виден приблизительно под одним и тем же углом, так что различие в расстояниях Солнца не производит никакой существенной разницы, но диаметр Луны виден под одинаковым углом с Солнцем только когда в полнолунии она, будучи в апогее эпицикла, находится на самом большом расстоянии от Земли, а не в средних расстояниях, как это предполагали предшествующие наблюдатели⁷⁷. Кроме этого, мы нашли, что и сами углы на заметную величину меньше традиционно принятых⁷⁸. При этом мы вычислили их не при помощи измерения на упомянутой линейке, но по некоторым лунным затмениям. Действи-

тельно, определить, когда каждый из диаметров виден под одним и тем же углом, можно очень легко по самой конструкции линейки, так как в этом случае не требуется никакого измерения. Определение же самой величины угла вообще казалось нам сомнительным, так как измерение, в котором играет роль положение призмы, имеющей ширину, которая покрывает светило на длине стержня, перемещаясь на расстояние от глаза до призмы, может сильно удалиться от точности. Поскольку Луна, находясь на наибольшем своем расстоянии, всегда казалась под одинаковым с Солнцем углом зрения, то, вычисляя по наблюдаемым на этом расстоянии лунным затмениям величину стягиваемого ею угла, мы сейчас же получили и величину угла для Солнца. Сущность упомянутого метода мы разъясним опять при помощи двух исходных затмений.

В 5 году Набопалассара, т.е. в 127 году эры Набонассара, в конце 11-го часа ночи с 27-го на 28-е число египетского месяца Атира в Вавилоне начала затмеваться Луна, и наибольшая величина затмения была с юга на $\frac{1}{4}$ часть диаметра⁷⁹. Так как затмение началось в 5 часов после полуночи по местному времени, а средняя фаза была приблизительно в 6 [сезонных] часов, которые тогда в Вавилоне соответствовали $5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственным часам, поскольку истинное положение Солнца было на $27;3$ градусах Овна, то ясно, что средняя фаза затмения, когда большая часть диаметра попала в тень, соответствовала в Вавилоне $5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственным часам после полуночи, а в Александрии — только 5 часам. И время, прошедшее после упомянутой эпохи, составляет 126 египетских годов, 86 дней и 17 равноденственных часов по обычному счету, или $16\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, если отнести к средним солнечным суткам⁸⁰. Таким образом, среднее положение Луны по долготе соответствовало $25;32$ градусам Клешней, а истинное — $27;5$, расстояние [по аномалии] от апогея эпицикла равнялось $340;7$ градусам, а от северного предела наклонной орбиты [по широте] — $80;40$ градусам. И ясно, что когда центр Луны в наибольшем ее расстоянии находился на $9\frac{1}{3}$ градусах от узла по наклонной орбите⁸¹, а центр тени был на большом круге, проведенном через лунный центр перпендикулярно орбите (а в этом положении имеют место наибольшие затемнения), то в тень попадала $\frac{1}{4}$ ее диаметра.

Далее, в 7 году Камбиза, т.е. в 225 году от Набонассара, в ночь с 17-го на 18-е число египетского месяца Фаменот, за 1 [равноденственный] час до полуночи в Вавилоне наблюдалось затмение Луны с севера на $\frac{1}{2}$ ее диаметра⁸². Следовательно, в Александрии это затмение произошло приблизительно за $1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственный час до полуночи. И время, прошедшее от принятой эпохи, составляет 224 египетских года, 196 дней и $10\frac{1}{6}$ равноденственных часов по обычному счету, или $9\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ по точному, так как Солнце находилось на $18;12$ градусах Рака. Таким образом, среднее положение Луны по долготе соответствовало $20;22$ градусам Козерога, а истинное — $18;14$ градусам⁸³. От апогея эпицикла [по аномалии] она отстояла на $28;5$ градусов⁸⁴, а от северного предела наклонной орбиты [по широте] — на $262;12$ градуса. Отсюда, следовательно, ясно, что когда центр Луны отстоял от узла на $7\frac{4}{5}$ градусов по наклонной орбите, Луна находилась в наибольшем расстоянии и центр тени занимал по отношению к центру Луны указанное положение, тогда в тень попадала $\frac{1}{2}$ лунного диаметра.

Но если центр Луны находится на расстоянии $9\frac{1}{3}$ градусов от узлов по наклонной орбите, то он находится на $48\frac{1}{2}$ шестидесятих градуса от круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, если измерять по большому кругу, проведенному через него под прямым углом к орбите. Если же он отстоит от узлов по наклонной орбите на $7\frac{4}{5}$ градусов, то по проведенному через него большому кругу перпендикулярно орбите он отстоит на $40\frac{2}{3}$ шестидесятих градуса от круга через середины знаков. Но так как разность между двумя затемнениями составляет четверть лунного диаметра, а разность двух расстояний центра от круга через середины зодиакальных созвездий, т.е. от центра тени, составляет $7\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ шестидесятих долей градуса,

то отсюда следует, что весь диаметр Луны стягивает дугу большого круга в $31\frac{1}{3}$ шестидесятую долю градуса.

Сейчас же становится ясно, что в том же наибольшем расстоянии Луны радиус тени стягивает дугу в $40\frac{2}{3}$ шестидесятых долей градуса, так как именно на такое число шестидесятых долей центр Луны отстоял от центра тени и касался окружности тени вследствие того, что во втором затмении затемнилась $\frac{1}{2}$ лунного диаметра. Таким образом, радиус тени будет на незначительную величину меньше $2\frac{3}{5}$ радиусов Луны который составляет $15\frac{2}{3}$ шестидесятых долей градуса⁸⁵. На основании многочисленных подобных наблюдений мы получили приблизительно такие же величины и воспользовались ими при исследовании других вопросов, связанных с затмениями; здесь же мы применим их для определения расстояния Солнца; этот метод по существу является тем же, которому следовал и Гиппарх. Круги Солнца, Луны и Земли, охватываемые конусами, считались в нем на ничтожную величину меньшими больших кругов, проведенных на их [Солнца, Луны и Земли] сферах, и то же самое касается их диаметров⁸⁶. 422

15. О расстоянии Солнца и о том, что определяется вместе с ним

Имея эти данные, а также зная, что наибольшее расстояние Луны в сизигиях равно $64;10$, если за 1 принять радиус Земли (действительно, мы показали, что среднее расстояние равно 59, а радиус эпицикла составляет $5;10$ таких же частей), обратимся к рассмотрению, какой будет величина расстояния Солнца.

Пусть находящиеся в одной плоскости наибольшие круги упомянутых сфер будут: Солнца — АВГ с центром Δ, Луны в наибольшем ее расстоянии — EZH с центром Θ и Земли — КΛМ с центром Ν [рис. 5.12]. Из плоскостей же [касательных конусов], проведенных через центры, пусть АЕГ обнимет Землю и Солнце, а АНГ — Солнце и Луну⁸⁷, и пусть осью конуса тени будет ΔΘΝЕ. Проходящие через точки касания прямые будут, естественно, параллельными и приблизительно равными соответствующим диаметрам; для солнечного круга это будет АДГ, для лунного — ЕΘН, для земного — КΝМ, а для тени в том месте, в котором в нее в наибольшем расстоянии попадает Луна, — ОΠР. Таким образом, ΘΝ равна ΝΠ, и каждая из них будет равна $64;10$ таким частям, каких в радиусе ΝΛ Земли содержится 1. 423

Итак, требуется найти, какое отношение прямая ΝΔ солнечного расстояния имеет к радиусу Земли ΝΛ.

Продолжим прямую ЕН [до пересечения с ЕГ] в Σ. Так как мы показали, что диаметр Луны в упомянутом наибольшем расстоянии в сизигиях на описанной этим расстоянием около центра Луны окружности стягивает дугу в $0;31,20$ градусов, каких во всем круге будет 360, то угол ЕНН будет равен $0;31,20$ градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360, а его половина, т.е. угол ΘНН, — тоже $0;31,20$ градусов, каких 360 будут равны двум прямым углам. Таким образом, дуга на ΘН 424

будет равна $0;31,20$ градусов⁸⁸, каких в описанной около прямоугольного треугольника $NH\Theta$ окружности имеется 360, а дуга на ΘN — остающимся до полуокружности $179;28,40$ градусам. Следовательно, из стягиваемых ими прямых $N\Theta$ будет иметь $0;32,48$ частей, каких в диаметре NH содержится 120, а в $N\Theta$ приблизительно 120 таких же частей; таким образом, если прямая $N\Theta$ равна $64;10$, то в ΘN будет $0;17,33$ таких частей. В радиусе Земли таких частей будет 1. Но так как отношение $ПР$ к ΘN равно приблизительно тому, какое $2;36$ имеют к 1 ⁸⁹, то $ПР$ будет равна $0;45,38$ таких же частей. Следовательно, вместе взятые ΘN и $ПР$ составляют $1;3,11$ часть, каких в NM будет 1. Но вместе взятые $ПР$ и вся $\Theta\Sigma$ составляют 2 такие части, так как они вместе равны двум NM ⁹⁰. Действительно, как мы сказали, все такие прямые параллельны и $НП$ равна $N\Theta$; следовательно, остаток $Н\Sigma$ будет содержать $0;56,49$ таких частей, каких в прямой NM будет 1. И как NM относится к $Н\Sigma$, так будет относиться и $НГ$ к $НГ$, и $НД$ к $\Theta\Delta$.

Значит, если $НД$ равна 1, то в $\Delta\Theta$ будет $0;56,49$ таких частей, а в остатке ΘN — $0;3,11$. Таким образом, если прямая $N\Theta$ равна $64;10$, прямая NM — 1, то прямая $НД$ (солнечное расстояние) будет иметь таких частей приблизительно 1210 ⁹¹.

Таким же образом, если прямая NM равна 1, а $ПР$ согласно доказанному — $0;45,38$, и как NM относится к $ПР$, так будет относиться и $НЭ$ к $ЭП$, то, значит, если прямая $НЭ$ равна 1, $ЭП$ будет равна $0;45,38$, а остаток $ПН$ — $0;14,22$ таких же частей. И, следовательно, если прямая $ПН$ равна $64;10$, а радиус Земли NM — 1, то в $ЭП$ таких частей будет приблизительно $203;50$, а во всей $ЭН$ — 268 ⁹².

Следовательно, у нас получилось, что если радиус Земли равен 1, то среднее расстояние Луны в сизигиях будет 59, расстояние Солнца — 1210 ⁹³ и, наконец, расстояние от центра Земли до вершины конуса тени будет 268.

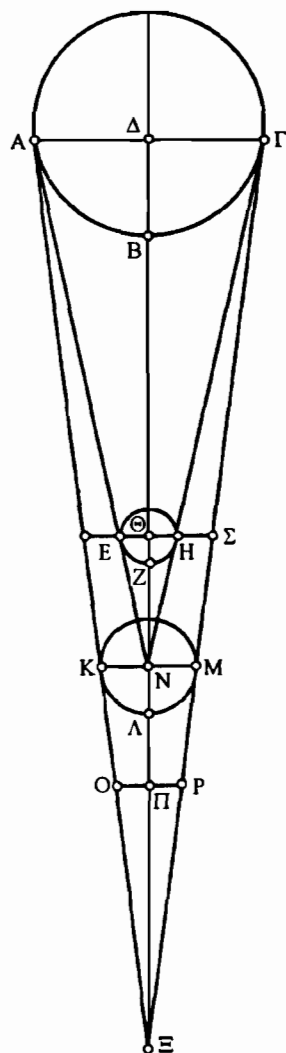


Рис. 5.12

16. О величинах Солнца, Луны и Земли

Отношения объемов светил непосредственно выводятся из отношений диаметров Солнца, Луны и Земли.

Действительно, так как доказано, что если радиус NM Земли равен 1, то радиус ΘN Луны будет $0;17,33$, а прямая $N\Theta$ — $64;10$, и как $N\Theta$

представляет радиус Земли; второе же определяется в перигее эпицикла и получается равным 33;33 таким же единицам⁹⁸.

Так как мы предположили, что дуга ГД равна 30 градусам, то угол ГКА должен равняться 30 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или же 60 таким, каких 360 содержатся в двух прямых углах. Таким образом, дуга на АЛ будет равняться 60 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника АКЛ окружности будет 360, а дуга на КЛ будет равняться дополняющим до полуокружности 120. И, следовательно, из находящихся под ними прямых АЛ будет равна 60 частям, каких в диаметре АК содержится 120, а КЛ — 103;55 таким же частям. И, следовательно, если АК взять за 1, то прямая АЛ будет равна 0;30, а КЛ — 0;52. В прямой КЛД, представляющей солнечное расстояние, таких частей будет 1210, если же она представляет лунное расстояние, то в первом из упомянутых случаев она будет равна 64;10, во втором — 53;50, в третьем — 43;53 и в четвертом — 33;33. Следовательно, получающаяся в остатке ЛД или АД, так как они разнятся на незначительную величину, будет для солнечного расстояния равна 1209;8, для лунных же в первом случае — 63;18, во втором — 52;58, в третьем — 43;1 и в четвертом — 32;41. Таким образом, если гипотенуза АД равняется 120 частям, то прямая АЛ во всех пяти случаях, взятых в том же самом порядке, чтобы в дальнейшем не повторяться, будет равна 0;2,59, 0;56,52, 1;7,58, 1;23,41, 1;50,9. Следовательно, стоящая на ней [т.е. хорде АЛ] дуга будет приблизительно равна 0;2,50, 0;54,18, 1;4,54, 1;20, 1;45 градусу⁹⁹, каких в описанной около прямоугольного треугольника ДЛА окружности содержится 360; угол же АДВ или ЗАΘ будет равен 0;2,50, 0;54,18, 1;4,54, 1;20, 1;45 градусов, 360 которых составляют два прямых угла, или же 0;1,25, 0;27,9, 0;32,27, 0;40, 0;52,30 градусов, 360 которых составляют четыре прямых угла. Таким образом, поскольку точка А не отличается от центра К, а дуга ЗНΘ на несущественную величину больше НΘ, так как вся Земля является точкой по отношению к кругу ЕЗНΘ, то дуга НΘ параллакса, если принять окружность ЕЗНΘ за 360 градусов, будет для солнечного расстояния равна 0;1,25, для лунных же — 0;27,9 в первом случае, 0;32,27 во втором, 0;40,0 в третьем и 0;52,30 градусов в четвертом, что и требовалось определить.

Вычислив таким же образом параллаксы для каждого случая и для других расстояний от полюса горизонта через 6 градусов вплоть до 90 градусов четверти окружности, мы составили для определения параллакса таблицу, имеющую тоже 45 строк и 9 столбцов. Из них в первом мы поместили 90 градусов четверти окружности, возрастающих, конечно, через 2 градуса, во втором — соответствующие градусам каждой из этих дуг шестидесяти доли солнечных параллакса, в третьем — параллаксы Луны для первого случая, в четвертом — избытки параллакса второго случая над параллаксами первого случая, в пятом — параллаксы для третьего случая, в шестом — избытки параллакса четвертого случая по отношению к третьему¹⁰⁰. Так, например, для 30 градусов расстояния мы приняли сначала 0;1,25 для Солнца, затем — 0;27,9 для первого случая Луны и 0;5,18, на которые параллакс второго случая превышает первый; далее, опять — 0;40 для третьего случая и 0;12,30, на которые параллакс четвертого случая превышает третий. Чтобы было удобно вычислять

приращения параллакса (по указанным расстояниям от полюса горизонта) и для промежуточных положений [Луны] между апогеями и перигеями [эксцентра и эпицикла] на основании значений, вычисленных в упомянутых четырех случаях с использованием добавочных шестидесятих долей, мы приложили три последних столбца, дающих соответствующие разности; их вычисление мы произвели следующим образом.

Пусть АВГД [рис. 5.14] представляет лунный эпицикл с центром Е, а Z будет центром Земли и круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий. Соединив АЕДZ, проведем ZГВ, затем соединим ВЕ и ГЕ и опустим на АД перпендикуляры ВН из точки В и ГΘ из точки Г. Сначала

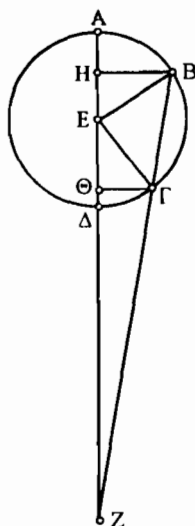


Рис. 5.14

предположим, что Луна [на эпицикле] отстоит от истинного апогея А на дугу АВ, равную, например, 60 градусам. Таким образом, угол ВЕН будет равен 60 градусам, если принять четыре прямых угла за 360, или же 120, если за 360 принять два прямых угла. Вследствие этого стоящая на ВН дуга будет равна 120 градусам, каких описанная около прямоугольного треугольника ВЕН окружность содержит 360, а дуга ЕН будет равна недостающим до полуокружности 60 градусам. И, следовательно, из стягивающих эти дуги прямых ВН будет равна 103;55 частям, каких в диаметре ЕВ содержится 120, а ЕН — 60 таким же частям. Но когда центр Е эпицикла находится в апогее эксцентра, то отношение ZE к ЕВ будет равно отношению 60 к 5;15; следовательно, если прямая ЕВ равна 5;15, то ВН будет равна 4;33, прямая ЕН — 2;38, а вся НЕZ — 62;38. И так как квадрат на ЗН вместе с квадратом на НВ дает квадрат на ZВ, то последняя прямая будет равна 62;48 частям, каких расстояние ZА, соответствующее первому случаю, содержит 65;15, расстояние ZΔ второго случая — 54;45, а разность расстояний в двух

этих случаях АΔ — 10;30. И, следовательно, для положения В разность по отношению к первому пределу будет равна $[65;15^P - 62;48^P =] 2;27$ частям, каких в полной разности расстояний имеется 10;30; таким образом, если полную разность принять за 60, то тогда рассматриваемая нами разность в В будет равна 14;0. Эти последние мы и поместим в седьмом столбце в строке, содержащей половину числа 60, т.е. 30 градусов, так как все 90 градусов, стоящие в первом столбце таблицы, составляют половину 180 градусов от А до Δ¹⁰¹.

На основании тех же самых рассуждений, если мы положим дугу ГД равной тем же 60 градусам [что и дуга АВ выше], то можно будет показать, что ГΘ будет равна 4;33 частям, каких в радиусе ЕГ будет 5;15, а в ЕΘ таких же частей будет 2;38 и, наконец, в остающейся ZΘ таких же частей будет 57;22; вследствие этого гипотенуза ZГ [прямоугольного треугольника ZГΘ] будет их иметь 57;33. Если мы опять отнимем их от соответствующих первому случаю 65;15, то найдем, что остаток 7;42 составляет 44 шестидесятих от полной разности¹⁰². Это число мы поместим в том же самом [седьмом] столбце в строке с числом 60, так как дуга АВГ равна 120 градусам.

Далее, взяв те же самые дуги [AB и ГΔ], предположим, что центр Е находится в перигее эксцента; это положение соответствует третьему и четвертому случаям. Так как в этом положении отношение ZE к EB равно отношению 60 к 8^{103} , то, значит, если BE принять за 8 , то каждая из прямых ВН и ГΘ (в предположении, что дуги AB и ГΔ равны 60 градусам) окажется равной $6;56$ частям, каких во всей прямой ZE имеется 60 , а каждая из ЕН и ЕΘ будет равна $4;0$ таким же частям. Таким образом, если ZH будет равна 64 таким же частям, а ZΘ — 56 , то на основании таких же рассуждений получится, что гипотенуза ZB [треугольника ZBH] будет равна $64;23$, а [гипотенуза] ZГ [треугольника ZГΘ] — $56;26$ таким частям, каких в третьем случае прямая ZA содержит 68 , а соответствующая разности между третьим и четвертым случаями прямая ΔA имеет 16 . Следовательно, если $64;23$ мы отнимем от 68 , то у нас останется $3;37$, которые составят $13;33$ шестидесятых от всей разности 16 . Эту величину [$13;33$] мы точно так же поместим в строке с числом 30 в восьмом столбце. Если же $56;26$ мы отнимем от 68 , то в остатке получается $11;34$, которые составляют $43;24$ шестидесятых от полной разности 16 ; их мы точно так же помещаем в том же самом восьмом столбце в строчке с числом 60^{104} .

Вот таким именно образом у нас получаются разности, происходящие от перемещения Луны по эпициклу; те же, которые происходят от движения эпицикла по эксцентру, мы определим так.

Пусть АВГΔ [рис. 5.15] представляет эксцентрический круг Луны с центром Е и диаметром АЕГ, на котором мы предположим находящимся центр Z круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий. Проведя прямую ВZΔ, будем опять считать, что каждый из углов AZB и ГZΔ равен 60 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла; это бывает, когда элонгация равна 30 градусам при нахождении центра эпицикла в В, или 120 градусам при нахождении его в Δ.

Проведя соединительные прямые BE и EΔ, опустим из E на ВZΔ перпендикуляр ЕН. Так как теперь угол BZA равняется 120 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360 , то находящаяся на ЕН дуга будет равняться 120 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника EZH окружности имеется 360 , а дуга на ZH будет равна оставшимся до полуокружности 60 градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых ЕН будет равна $103;55$ частям, каких в гипотенузе EZ содержится 120 , а HZ равна 60 таким же частям.

Таким образом, если расстояние EZ между центрами равно $10;19$ частям, а радиус эксцента — $49;41$, то в прямой ЕН таких частей будет $8;56$, а в ZH — $5;10$. И так как квадрат BE после вычитания квадрата ЕН дает квадрат ВН, то каждая из прямых ВН и ΔН будет равна $48;53$ таким же частям. Следовательно, вся прямая ZB будет равна $54;3$ частям, каких прямая ZA первой пары случаев содержит 60 , ZГ второй пары — $39;22$, их разность — $20;38$, а остаток ZΔ — $43;43$ таким же частям. Теперь, так как 60 превышают $54;3$ на $5;57$, которые от полной разности $20;38$ составляют $17;18$ шестидесятых, а $43;43$ превышают на $16;17$, которые от

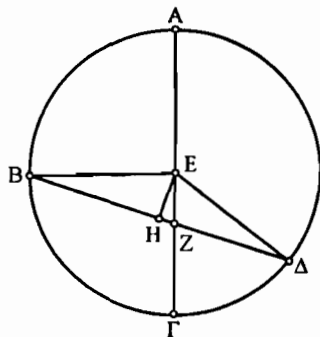


Рис. 5.15

тех же 20;38 составляют 47;21 шестидесятых, то 17;18 мы, конечно, помещаем в девятом столбце в строке, соответствующей 30 градусам элонгации, а 47;21 — в строке с числом 120, т.е. опять с числом 60, так как при нахождении перигея на 90 градусов элонгации 60 и 120 по расстоянию будут равносильными¹⁰⁵.

Вычислив таким же образом для других дуг получаемые шестидесятые доли разностей по вышеизложенным трем видам разностей через 12 градусов, которые опять будут соответствовать 6 градусам для находящихся в таблице чисел, так как 180 градусов от апогеев до перигеев [эпицикла или эксцентра] распределяются на 90 градусов [аргумента] таблицы, мы с каждым из упомянутых чисел поставили рядом соответствующие шестидесятые доли, найденные геометрически. Что касается поправок для промежуточных дуг, то мы их нашли по закону равномерного приращения разностей в шестиградусном интервале, поскольку при этом не получается никакой существенной разницы по сравнению с числами, полученными [строго] геометрически, ни для шестидесятых долей, ни для самих параллакс¹⁰⁶. И полученная таблица такова¹⁰⁷.

18. Таблица параллакс

442-443

См. с. 169

19. Об определении параллакс

444

Теперь, если мы хотим определить величину параллактического смещения Луны для любого ее положения и прежде всего того, которое получается на большом круге, проведенном через нее и полюс горизонта, мы должны рассмотреть, на сколько равноденственных часов в заданном климате она отстоит от полуденного круга¹⁰⁸. Найденную величину мы вносим в таблицу углов для соответствующих климата и двенадцатой части зодиака; во втором столбце таблицы мы найдем соответствующее этому часу число градусов — полное или же с добавкой, приходящейся на часть часа. Это число, представляющее расстояние Луны от полюса горизонта¹⁰⁹ по тому же проведенному через нее большому кругу, мы вносим в таблицу параллакс и смотрим, в какую строку первого столбца оно попадает, а также выписываем соответствующие этому числу величины, находящиеся в следующих за солнечным параллаксом четырех столбцах, т.е. в третьем, четвертом, пятом и шестом, каждую отдельно. После этого определяем для указанного часа величину уточненной аномалии по отношению к истинному апогею [эпицикла] и берем либо непосредственно данную, либо, если она превышает 180 градусов, ее дополнение до 360 градусов. Беря всегда только половину определенных таким образом градусов для внесения в числа первого столбца, смотрим, сколько шестидесятых в отдельности соответствуют этому числу в седьмом и восьмом столбцах. Стоящее в седьмом столбце число шестидесятых долей умножаем на разность, стоящую в четвертом столбце, и всегда прибавляем к значению параллакса в третьем столбце. [Точно так же] шестидесятые, стоящие в восьмом столбце, мы умножаем на разность в шестом столбце и опять всегда прибавляем к параллаксу из пятого столбца. Для полученных таким образом двух параллакс мы образуем разность; затем берем расстояние Луны в среднем движении или от Солнца, или от диаметрально

445

Числа	Параллаксы Солнца	Параллаксы Луны				Шестидесятые доли		
		1-й случай	Разность для 2-го случая	3-й случай	Разность для 4-го случая	Для эпицикла в апогее	Для эпицикла в перигее	Для эксцентра
	$[c_2(z)]$	$[c_3(z)]$	$[c_4(z)]$	$[c_5(z)]$	$[c_6(z)]$	$[c_7(\alpha)]$	$[c_8(\alpha)]$	$[c_9(\eta)]$
2°	0° 0' 7"	0° 1' 54"	0° 0' 23"	0° 3' 0"	0° 0' 50"	0' 14"	0' 11"	0' 15"
4	0 0 13	0 3 48	0 0 45	0 6 0	0 1 40	0 28	0 22	0 30
6	0 0 19	0 5 41	0 1 7	0 9 0	0 2 30	0 42	0 33	0 45
8	0 0 25	0 7 34	0 1 29	0 11 40	0 3 20	1 22	1 7	1 33
10	0 0 31	0 9 27	0 1 51	0 14 20	0 4 10	2 2	1 41	2 21
12	0 0 37	0 11 19	0 2 12	0 17 0	0 5 0	2 42	2 15	3 9
14	0 0 42	0 13 10	0 2 33	0 19 40	0 5 50	3 35	3 13	4 22
16	0 0 48	0 15 0	0 2 54	0 22 20	0 6 40	4 28	4 11	5 35
18	0 0 53	0 16 49	0 3 15	0 25 0	0 7 30	5 21	5 9	6 48
20	0 0 58	0 18 36	0 3 36	0 27 40	0 8 20	6 39	6 25	8 25
22	0 1 4	0 20 22	0 3 57	0 30 20	0 9 10	7 57	7 41	10 2
24	0 1 9	0 22 6	0 4 18	0 33 0	0 10 0	9 15	8 57	11 39
26	0 1 14	0 23 49	0 4 39	0 35 20	0 10 50	10 50	10 29	13 32
28	0 1 20	0 25 30	0 4 59	0 37 40	0 11 40	12 25	12 1	15 25
30	0 1 25	0 27 9	0 5 18	0 40 0	0 12 30	14 0	13 33	17 18
32	0 1 30	0 28 46	0 5 37	0 42 20	0 13 20	15 52	15 22	19 23
34	0 1 35	0 30 21	0 5 55	0 44 40	0 14 10	17 44	17 11	21 28
36	0 1 40	0 31 54	0 6 13	0 47 0	0 15 0	19 36	19 0	23 33
38	0 1 44	0 33 24	0 6 30	0 49 0	0 15 40	21 36	20 59	25 40
40	0 1 49	0 34 51	0 6 47	0 51 0	0 16 20	23 36	22 58	27 47
42	0 1 54	0 36 14	0 7 4	0 53 0	0 17 0	25 36	24 57	29 54
44	0 1 58	0 37 37	0 7 20	0 55 0	0 17 40	27 40	27 1	32 0
46	0 2 3	0 38 57	0 7 35	0 57 0	0 18 20	29 44	29 5	34 6
48	0 2 8	0 40 14	0 7 49	0 59 0	0 19 0	31 48	31 9	36 12
50	0 2 12	0 41 28	0 8 3	1 0 40	0 19 40	33 52	33 14	38 9
52	0 2 16	0 42 39	0 8 16	1 2 20	0 20 20	35 56	35 19	40 6
54	0 2 20	0 43 45	0 8 29	1 4 0	0 21 0	38 0	37 24	42 3
56	0 2 23	0 44 48	0 8 42	1 5 20	0 21 20	40 0	39 24	43 49
58	0 2 26	0 45 48	0 8 53	1 6 40	0 21 40	42 0	41 24	45 35
60	0 2 29	0 46 46	0 9 3	1 8 0	0 22 0	44 0	43 24	47 21
62	0 2 32	0 47 40	0 9 13	1 9 20	0 22 20	45 50	45 13	48 49
64	0 2 34	0 48 30	0 9 22	1 10 40	0 22 40	47 40	47 2	50 17
66	0 2 36	0 49 15	0 9 31	1 12 0	0 23 0	49 30	48 51	51 45
68	0 2 38	0 49 57	0 9 39	1 13 0	0 23 10	50 56	50 24	52 57
70	0 2 40	0 50 36	0 9 46	1 14 0	0 23 20	52 22	51 57	54 9
72	0 2 42	0 51 11	0 9 53	1 15 0	0 23 30	53 48	53 30	55 21
74	0 2 44	0 51 44	0 9 59	1 15 40	0 23 40	54 57	54 41	56 12
76	0 2 46	0 52 12	0 10 4	1 16 20	0 23 50	56 6	55 52	57 3
78	0 2 47	0 52 34	0 10 8	1 17 0	0 24 0	57 15	57 3	57 54
80	0 2 48	0 52 53	0 10 11	1 17 20	0 24 10	57 57	57 47	58 26
82	0 2 49	0 53 9	0 10 14	1 17 40	0 24 20	58 39	58 31	58 58
84	0 2 50	0 53 21	0 10 16	1 18 0	0 24 30	59 21	59 15	59 30
86	0 2 50	0 53 29	0 10 16	1 18 20	0 24 40	59 34	59 30	59 40
88	0 2 51	0 53 33	0 10 17	1 18 40	0 24 50	59 47	59 45	59 50
90	0 2 51	0 53 34	0 10 17	1 19 0	0 25 0	60 0	60 0	60 0

противоположной ему точки, выбирая всегда меньшее из обоих этих расстояний, и вносим его в числа первого столбца. Шестидесятые, соответствующие ему в девятом и последнем столбце, мы умножаем на разность параллаксов, которую мы нашли, и полученную величину всегда прибавляем к меньшей, т.е. к определенной из третьего и четвертого столбцов. Полученная сумма покажет нам параллактическое смещение Луны по тому же большому кругу, проведенному через нее и полюс горизонта⁴⁴⁶ та¹¹⁰. Солнечный параллакс в подобном положении для солнечных затмений берется просто из соответствующих градусов второго столбца для величины дуги от полюса горизонта.

Чтобы определить параллакс Луны по отношению к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий, как по долготе, так и по широте, мы вносим в ту же самую часть таблицы углов¹¹¹ число равноденственных часов, на которое Луна отстоит от полуденного круга, и находим соответствующие этому числу часов градусы. Если Луна еще не дошла до полуденного круга, мы берем их в третьем столбце, если же уже прошла, то в четвертом; если найденное число градусов будет менее 90, то мы записываем его, если же оно больше 90, то записываем его дополнение до 180. Такова будет величина наименьшего из углов при рассматриваемом пересечении [эклиптики и круга высоты], выраженная в градусах, каких один прямой угол содержит 90. Теперь, удвоив записанное число градусов, вносим его в таблицу прямых в круге¹¹² вместе с его дополнением до 180. Отношение прямой, стягивающей дугу с этим удвоенным числом градусов, к прямой, стягивающей дугу, представляющую дополнение до полуокружности, дает нам отношение параллакса по широте к параллаксу по долготе, так как соответствующие дуги этих кругов не очень отличаются от прямых. Умножив теперь числа, полученные для этих прямых, на найденную величину параллакса для большого круга, проходящего через полюс горизонта, и разделив полученные величины каждую отдельно на 120, мы получим соответствующие параллаксы [по долготе и по широте] равными найденным после деления числам¹¹³.

Относительно параллаксов по широте мы можем сказать, что если полюс горизонта на полуденном круге стоит севернее делящей небо пополам точки зодиакального круга, то параллакс будет смещать [положения светил] к югу; если же полюс горизонта будет южнее точки, которая делит небо пополам, то параллакс по широте будет направлен к северу. Что же касается параллаксов по долготе, то (поскольку величины данных в таблице углов дают северный угол из тех двух, которые образует дуга зодиака, идущая в направлении последовательности знаков) при параллаксе по широте к северу параллакс по долготе будет иметь направление против последовательности знаков, если рассматриваемый угол будет больше прямого, и в направлении последовательности, если он меньше прямого; если же параллакс по широте будет к югу, то, наоборот, при рассматриваемом угле, большем прямого, параллакс по долготе будет в направлении последовательности знаков, если же он меньше прямого, то против последовательности¹¹⁴.

Во всем изложенном выше мы предполагали, что Солнце не имеет никакого заметного параллакса, зная, впрочем, что его параллакс, определенный нами в дальнейшем, влияет на Солнце и производит некоторую разницу [в его положении]. Однако мы считаем, что получаемая

вследствие этого неточность в наблюдаемых явлениях не является настолько существенной, чтобы необходимо было изменять что-нибудь в произведенных без ее учета вычислениях, которые мы вкратце изложили выше. Подобно этому при определении параллаксов Луны мы довольствуемся углами и дугами, образованными кругом через середины знаков в пересечении с большим кругом, проведенным через полюсы горизонта, тогда как следовало бы взять углы, получаемые у наклонного круга Луны [с кругом высоты]. Мы делали так, поскольку получающаяся вследствие этого разница в сизигиях для затмений неощутима¹¹⁵, а если учесть и это, то доказательства

стали бы очень сложными, а вычисления трудными, поскольку расстояние Луны от узла не фиксировано для данного положения Луны на зодиаке, но претерпевает сложные изменения как по величине, так и по положению.

Чтобы пояснить сказанное, возьмем отрезок АВГ круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий [рис. 5.16], и отрезок АД лунной орбиты. Пусть узел будет в точке А, а центр Луны в Δ. Проведем через Δ перпендикуляр ΔВ к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий. Пусть Е будет полюсом горизонта; проведем через него две дуги больших кругов, а именно ЕДZ через центр Луны и ЕВ через точку В. Пусть параллактическое смещение Луны изобразится дугой ΔН; проведем через Н два перпендикуляра, НΘ и НК, к прямым ВΔ и ВZ. Таким образом, из расстояний узла по долготе истинным будет АВ, а видимым — АК, из расстояний же по широте от круга через середины знаков истинным будет ΔВ, а видимым КН; затем для параллакса ΔН, наблюдаемого по отношению к зодиаку, параллакс по долготе будет равен ΘН, а по широте ΔΘ.

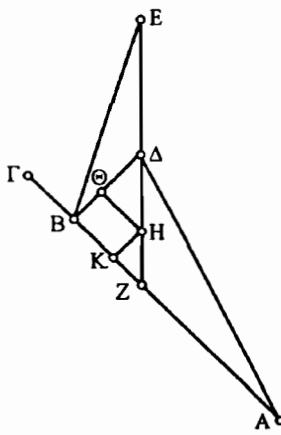


Рис. 5.16

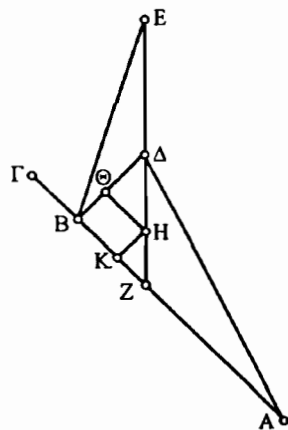


Рис. 5.16

На основании изложенного известно, что параллакс ΔH определяется по заданной дуге ED , а каждая из составляющих параллакса $\Delta \Theta$ и ΘH — по заданному углу GZE . Только что мы нашли, каковы для заданных точек зодиака будут величины дуг и углов, образуемых кругом, проходящим через полюс горизонта; и в этом случае из заданных величин мы имеем только точку B круга через середины знаков. Ясно поэтому, что вместо дуги ED мы воспользуемся EB , а вместо угла GZE возьмем GBE .

Хотя Гиппарх постарался дать соответствующее исправление, но, по-видимому, сделал это вообще необдуманно, и даже противно рассудку. Прежде всего, он пользовался только одним расстоянием АД, а не всеми, или хотя бы большей частью, как следовало бы делать человеку, намеревающемуся добиться высокой точности. Затем, он не заметил, что впал в большие и еще более странные ошибки. Действительно, оказывается, что он [как и мы] определил дуги и углы, относящиеся теоретически к кругу через середины знаков зодиака, вычисляя ΔH по заданной ЕД; это он показал в первой книге своего сочинения «О параллаксах». Но он при определении дуги ЕД пользуется как заданными дугой EZ и углом EZГ. Таким образом, вычислив во второй книге дугу ZД, он считает известной дугу ЕД как остаток. Он, однако, ошибся, не заметив, что на круге через середины знаков зодиака известной является точка В, а не Z; вследствие

этого из дуг будет заданной EB , но не EZ , а из углов $ГВЕ$, но не $ГZE$. Между тем именно эти величины [дуга EZ и угол $EZГ$], принятые как исходные, необходимы для определения даже такой частичной коррекции.

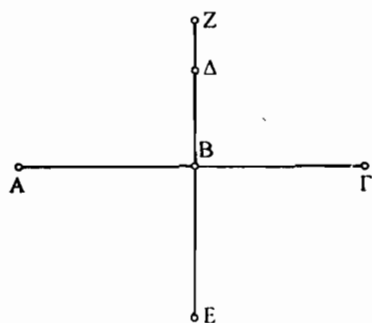


Рис. 5.17

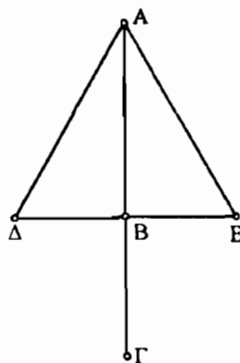


Рис. 5.18

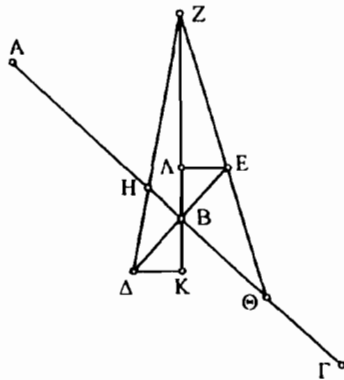


Рис. 5.19

Ведь во многих случаях разность между дугами EA и EZ будет очень значительной, тогда как разность между BE (а известна на самом деле лишь она) и EA составляет самое большее величину дуги BA для любого данного расстояния [Луны] от узла¹¹⁶.

Правильный метод для определения поправки [за параллакс] мы могли бы уяснить так.

Пусть $ABГ$ будет зодиаком [рис. 5.17], а ABE пересекает его под прямым углом. Пусть Луна находится в точках Δ или E , отстоя по широте от круга через середины знаков $ABГ$ на дугу BA или BE , так что для точки B зодиака заданы дуга и угол большого круга, проведенного из полюса горизонта, и требуется определить углы, получающиеся при Δ или E ¹¹⁷.

Если зодиак расположен так, что будет перпендикулярен к дуге большого круга, проведенного через точку Z , которую мы предполагаем совпадающей с полюсом горизонта, и через точку B , то ZB , очевидно, совпадает с дугой AE , и наблюдаемые при Δ и E углы будут такими же, как при B ; ибо вследствие этого они будут перпендикулярны к зодиаку. Дуга же $Z\Delta$ будет меньше ZB на величину BA , а ZE будет больше ее на BE , причем обе эти дуги будут заданными.

Если же зодиак $ABГ$ совпадает с большим кругом, проведенным через полюс горизонта [рис. 5.18], то, предполагая, что этот полюс находится в A , проведем соединительные линии AD и AE ; они будут отличаться от дуги AB , а углы $BA\Delta$ и BAE от того, который в предыдущем случае вообще не существовал. Дуги AD и AE будут заданными, если известны величины AB , BA и BE ; мы используем терминологию прямых линий, так как они не отличаются на заметную величину от дуг; действительно, сложив их квадраты, мы получим квадраты AD и AE , а вследствие этого будут также даны и углы $BA\Delta$ и BAE .

При наклонном же положении зодиака [к кругу высоты], если из полюса горизонта Z провести соединяющие линии ZB , $ZH\Delta$ и $ZE\Theta$ [рис. 5.19], то будут даны дуга ZB и угол ABZ , а следовательно, также и BA с BE .

454 Требуется же, чтобы были даны дуги $Z\Delta$ и ZE и также углы ΔHZ и $A\Theta Z$; они определяются, если опустить на ZB перпендикуляры ΔK и EL .

Так как угол ABZ дан, а угол ABE всегда прямой, то будут данными и прямоугольные треугольники BKD и BAE , и отношения ZB к сторонам, прилежащим к прямому углу, отношения ZB к гипотенузам ΔB и BE являются [также] данными. Таким образом, вследствие этого будут данными и гипотенузы $Z\Delta$, ZE , и углы ΔZK и EZA , представляющие разности искомых углов с данными; действительно, угол AHZ больше ABZ на угол ΔZB , а угол $A\Theta Z$ меньше ABZ на угол EZA . Ясно, что, предположив расстояния по широте одинаковыми, мы получим наибольшую разницу между углами, когда точка B будет совпадать с полюсом горизонта, ибо тогда при B не получается никакого угла, а соединяющие этот полюс с Δ и E линии образуют прямые углы с зодиаком. В таком же положении будет наибольшая разность и между дугами, ибо при B опять не получается никакой дуги, а дуги при Δ и E будут такими же, как расстояния Луны по широте; то же будет, и когда круг, проведенный через полюс горизонта, будет перпендикулярен к зодиаку, ибо тогда опять дуги $Z\Delta$ и ZE будут отличаться от ZB на величину расстояния по широте. В других же положениях ΔE , наклонной к ZB , разности дуг и углов будут меньшими.

Таким образом, если Луна будет отстоять от круга через середины знаков зодиака по широте на 5 градусов, то наибольшая разница между параллаксами [вычисленными на эклиптике и лунной орбите] будет представлять около 10 шестидесятых. Действительно, 5 градусов наибольшей разности дуг дают именно столько шестидесятых параллакса при наибольших изыбтках в наименьших расстояниях [Луны от наблюдателя]. Когда же в солнечных затмениях расстояние Луны по широте является наибольшим и становится приблизительно-но равным $1\frac{1}{2}$ градусу, то разница в параллаксе будет равна $1\frac{1}{2}$ шестидесятой, но это случается редко¹¹⁸.

456 Таким образом, можно было бы предложить следующий метод исправления углов и дуг как более удобный, если бы кто-нибудь захотел иметь дело с такими небольшими величинами. Удваиваем число, определяющее угол [между кругом высоты и эклиптической], и вводим его в таблицу прямых в круге¹¹⁹, а также его дополнение до двух прямых углов. Находящиеся в ней числа, соответствующие принятому значению аргумента, умножаем по отдельности на градусы широты, делим каждое из произведений на 120 и полученную часть для первого угла отнимаем от дуги, проходящей через полюс горизонта, когда последний и Луна находятся с одной стороны [зодиака], или прибавляем, когда они находятся с разных сторон. Затем полученные величины умножаем каждую на саму себя, складываем с квадратами чисел для дополняющего угла и, извлекая корень из суммы, находим соответственно искомую дугу [ZE или ZΔ]. Затем умножаем на 120 числа, записанные для дополняющего угла, и делим результат на дугу [ZE или ZΔ], которую мы нашли. С найденной [прямой] входим в таблицу прямых в круге, берем соответ-

вующую дугу [в столбце аргумента] и делим ее пополам. Мы прибавляем результат к величине первого угла, если исправленная дуга больше исходной, или отнимаем от него, если она меньше, и таким образом получаем исправленный угол¹²⁰.

Предположим для примера, что на приведенном выше чертеже [рис. 5.20] дуга ZB равна 45 градусам, угол ABZ равен 30 таким градусам, каких в одном прямом угле содержится 90, а каждая из дуг ΔB и BE широты равна 5 градусам.

Так как удвоенным 30 градусам, т.е. 60, соответствует прямая в 60 457 частей, а дополнению до двух прямых углов, т.е. 120 градусам, соответствует прямая приблизительно в 104 части, то отношение BA к AE будет равно отношению 60 к 104. Такое же отношение будет и у BK к ΔK, если гипотенузу [BE или BD] предположить равной 120. Умножив каждое из этих чисел на 5 градусов гипотенузы и разделив их на 120, получим, что каждая из KB и BA будет составлять 2;30 таких же части, а каждая из ΔK и EA — 4;20 таких же части. Если Луна предполагается в точке E, то мы сначала отнимаем 2;30 от 45 градусов дуги ZB, так как полюс горизонта и положение Луны по широте находятся по одну сторону от зодиака, т.е. оба или севернее, или южнее его; получим, что ZΛ равна 42;30 градусам. Если же Луна находится в Δ, то прибавляем их, поскольку 458 мы имеем противоположный случай; получаем, что ZK равна 47;30 градусам. Сложив теперь квадраты на ZK и ZΛ отдельно с квадратами на ΔK и EA, т.е. квадрат 4;20 с квадратом 42;30 и затем [квадрат 4;20] с квадратом 47;30, и взяв квадратные корни из каждой суммы в отдельности, получим, что дуга ZE равна приблизительно 42;46 градусам, а дуга ZΔ — 47;44. Оставшиеся 4;20 умножаем на 120 и, разделив полученное отдельно на 42;46 и 47;54, получим, что EA равняется приблизительно 12;8 частям, каких в гипотенузе ZE будет 120, а ΔK — приблизительно 10½⅓ частям, каких в гипотенузе ZΔ будет 120. Но дуга, соответствующая прямой в 12;8 частей, равна 11¾ градусам, а соответствующая прямой в 10½⅓ частей — приблизительно 10⅓ градусам. Взяв половины этих дуг, отнимем угол EZΛ, т.е. 5¼ градусов, от угла ABZ, т.е. от 30 градусов, так как дуга ZE меньше ZB, и получим угол AΘZ, равный 24½ градуса. А угол ΔZK, т.е. 5⅓ градусов, прибавим к тем же самым 30 градусам, так как 459 дуга ZΔ будет больше ZB, и получим угол ANZ, равный 35⅓ градусам. Это и предполагалось определить.

Книга VI

461

1. О новолуниях и полнолуниях

Теперь нам нужно разобрать определение соединений Солнца и Луны, в которых происходят затмения. Этому в свою очередь должно предшествовать исследование истинных наблюдаемых новолуний и полнолуний. Мы полагаем, что в качестве первого представления об этом будут достаточными определенные выше для каждого из светил движения — периодические и по аномалии; с их помощью не боящиеся труда смогут в каждом отдельном случае рассчитать место и время будущих сизигий — как получающиеся через средние движения, так и точные, т.е. с учетом аномалии. Вместе с этим для более удобного их исследования мы предварительно установили не только времена и места периодических новолуний и полнолуний, но также положения Луны по аномалии и широте, вычисленные в эти средние времена, при помощи которых можно сделать поправку для определения точных сизигий, а на их основании — и тех, в которые бывают затмения; для этого исследования мы подготовили таблицы следующего содержания.

462

2. Построение таблиц средних сизигий

463

Прежде всего, чтобы опять установить для месяцев эпоху от первого года Набонассара, как и для других астрономических явлений, мы берем указанную для начала египетского месяца Тот этого года величину элонгации, равную $70;37$ градусам¹, и делим на среднее дневное изменение элонгации; получаем $5;47,33$ дней, на которые среднее новолуние предшествовало полудню 1-го числа месяца Тот. И, значит, следующее за тем новолуние имело место приблизительно через $23;44,17^2$ дня после этого самого полудня, т.е. через $44;17$ шестидесятых дня после полудня 24-го числа. В течение $23;44,17$ дней Солнце в среднем движении проходит $23;23,50$ градуса, а Луна — $310;8,15$ градусов аномалии и $314;2,21$ градусов [аргумента] широты. В полдень 1-го числа месяца Тот среднее положение Солнца было на $0;45$ градусов Рыб, или на $265;15$ градусах от собственного апогея, Луна же была по аномалии на $268;49$ градусах от апогея эпицикла и на $354;15$ градусах [аргумента] широты от северной точки наклонной орбиты. Следовательно, в указанное время среднего новолуния после начала месяца [Тот] среднее расстояние Солнца и Луны от солнечного апогея, т.е. от $5;30$ градусов Блинецов, было $288;38,50$ градусов; Луна же по аномалии

была на 218;57,15 градусах от апогея, а по [аргументу] широты — на 308;17,21 градусах от северного предела³.

Первую таблицу новолуний мы составим опять из 45 строк и 5 столбцов. В первой строке первого столбца мы поместим первый год Набонассара, во втором столбце — 24;44,17 дня⁴ месяца Тот, так как избыточные шестидесятые считаются от полудня 24-го числа, в третьем столбце — 288;38,50 градусов среднего расстояния от апогея Солнца, в четвертом — 218;57,15 градусов от апогея лунной аномалии, в пятом — 308;17,21 градусов [аргумента] широты от северного предела. Поскольку же в половине продолжительности среднего месяца содержатся приблизительно 14;45,55 дней, 14;33,12 градусов солнечной элонгации, 192;54,30 градуса лунной аномалии и 195;20,6 градусов [аргумента] широты, то, отняв эти числа от соответствующих значений 464 для рассматриваемого новолуния, поместим полученные остатки в начало второй таблицы, построенной таким же образом, но предназначенной для полнолуний. У нас получилось 9;58,22 дней, 274;5,38 градуса от солнечного апогея, 26;2,45 градусов аномалии от апогея Луны, 112;57,15 градусов [аргумента] широты от северного предела. Далее, так как в 25 египетских годах без 2;47,5 шестидесятих одного дня содержится приблизительно целое число месяцев⁵ и Солнце в среднем движении за вычетом полных оборотов проходит 353;52,34,13 градуса, а Луна — 57;21,44,1 градусов аномалии, 117;12,49,54 градусов [аргумента] широты, мы будем увеличивать числа первых столбцов обеих таблиц на 25 лет, числа вторых — уменьшать на 0;2,47,5 градусов, числа третьих — увеличивать на 353;52,34,13, четвертых — на 57;21,44,1 и пятых — на 117;12,49,54 градусов.

После этих таблиц мы составим еще годовую таблицу в 24 строки и месячную в 12 строк и с тем же числом столбцов, что и в первых. В первых строках месячной таблицы мы поставим в первом столбце первый месяц, во втором — 29;31,50,8,20 дней месяца, в третьем — соответствующие 465 этому времени 29;6,23,1 градуса для Солнца, в четвертом — 25;49,0,8 градусов лунной аномалии, в пятом — 30;40,14,9 градусов [аргумента] широты⁶. Будем и эти числа увеличивать на те же величины, которые стоят в первых строках. В годичной таблице в первой строке мы ставим в первом столбце первый год, во втором — остающиеся от 13 месяцев 18;53,51,48 дней, в третьем — соответствующие этому времени 18;22,59,18 градусов прибавления солнечного движения, в четвертом — 335;37,1,51 градусов лунной аномалии, в пятом — 38;43,3,51 градусов [аргумента] широты. Будем увеличивать эти числа иногда на указанные прибавления за 13 месяцев, а иногда — на прибавление за 12 месяцев. Они составляют 354;22,1,40 дня, 349;16,36,16 градусов солнечной элонгации, 309;48,1,42 градусов лунной аномалии, 8;2,49,42 градусов [аргумента] широты для того, чтобы найти первую сизигию [каждого года], которая произойдет через целое число египетских годов⁷. Поставленные числа достаточно иметь с точностью до вторых шестидесятих. И расположение этих таблиц таково.

466-471

3. Таблицы новолуний и полнолуний

Таблица новолуний

25-летние периоды	Дни [месяца] Тот	Расстояние Солнца от его апогея	Лунная аномалия от апогея эписикла	[Аргумент] широты Луны от северного предела
1	2	3	4	5
1	24 ^d 44' 17"	288° 38' 50"	218° 57' 15"	308° 17' 21"
26	24 41 30	282 31 24	276 18 59	65 30 11
51	24 38 43	276 23 58	333 40 43	182 43 1
76	24 35 56	270 16 33	31 2 27	299 55 51
101	24 33 9	264 9 7	88 24 11	57 8 41
126	24 30 22	258 1 41	145 45 55	174 21 31
151	24 27 35	251 54 15	203 7 39	291 34 20
176	24 24 47	245 46 50	260 29 23	48 47 10
201	24 22 0	239 39 24	317 51 7	166 0 0
226	24 19 13	233 31 58	15 12 51	283 12 50
251	24 16 26	227 24 32	72 34 35	40 25 40
276	24 13 39	221 17 6	129 56 19	157 38 30
301	24 10 52	215 9 41	187 18 3	274 51 20
326	24 8 5	209 2 15	244 39 47	32 4 10
351	24 5 18	202 54 49	302 1 31	149 17 0
376	24 2 31	196 47 23	359 23 15	266 29 50
401	23 59 44	190 39 57	56 44 59	23 42 39
426	23 56 57	184 32 32	114 6 43	140 55 29
451	23 54 10	178 25 6	171 28 27	258 8 19
476	23 51 22	172 17 40	228 50 11	15 21 9
501	23 48 35	166 10 14	286 11 55	132 33 59
526	23 45 48	160 2 49	343 33 39	249 46 49
551	23 43 1	153 55 23	40 55 23	6 59 39
576	23 40 14	147 47 57	98 17 7	124 12 29
601	23 37 27	141 40 31	155 38 51	241 25 19
626	23 34 40	135 33 5	213 0 35	358 38 9
651	23 31 53	129 25 40	270 22 19	115 50 58
676	23 29 6	123 18 14	327 44 3	233 3 48
701	23 26 19	117 10 48	25 5 47	350 16 38
726	23 23 32	111 3 22	82 27 31	107 29 28
751	23 20 45	104 55 57	139 49 16	224 42 18
776	23 17 57	98 48 31	197 11 0	341 55 8
801	23 15 10	92 41 5	254 32 44	99 7 58
826	23 12 23	86 33 39	311 54 28	216 20 48
851	23 9 36	80 26 13	9 16 12	333 33 38
876	23 6 49	74 18 48	66 37 56	90 46 28
901	23 4 2	68 11 22	123 59 40	207 59 17
926	23 1 15	62 3 56	181 21 24	325 12 7
951	22 58 28	55 56 30	238 43 8	82 24 57
976	22 55 41	49 49 4	296 4 52	199 37 47
1001	22 52 54	43 41 39	353 26 36	316 50 37
1026	22 50 7	37 34 13	50 48 20	74 3 27
1051	22 47 20	31 26 47	108 10 4	191 16 17
1076	22 44 32	25 19 21	165 31 48	308 29 7
1101	22 41 45	19 11 56	222 53 32	64 41 57

Таблица полнолуний

25-летние периоды	Дни [месяца] Тот	Расстояние Солнца от его апогея	Лунная аномалия от апогея эллипсиса	[Аргумент] широты Луны от северного предела
1	2	3	4	5
1	9 ^d 58' 22"	274° 5' 38"	26° 2' 45"	112° 57' 15"
26	9 55 35	267 58 12	83 24 29	230 10 5
51	9 52 48	261 50 46	140 46 13	347 22 55
76	9 50 1	255 43 21	198 7 57	104 35 45
101	9 47 14	249 35 55	255 29 41	221 48 35
126	9 44 27	243 28 29	312 51 25	339 1 25
151	9 41 40	237 21 3	10 13 9	96 14 14
176	9 38 52	231 13 38	67 34 53	213 27 4
201	9 36 5	225 6 12	124 56 37	330 39 54
226	9 33 18	218 58 46	182 18 21	87 52 44
251	9 30 31	212 51 20	239 40 5	205 5 34
276	9 27 44	206 43 54	297 1 49	322 18 24
301	9 24 57	200 36 29	354 23 33	79 31 14
326	9 22 10	194 29 3	51 45 17	196 44 4
351	9 19 23	188 21 37	109 7 1	313 56 54
376	9 16 36	182 14 11	166 28 45	71 9 44
401	9 13 49	176 6 45	223 50 29	188 22 33
426	9 11 2	169 59 20	281 12 13	305 35 23
451	9 8 15	163 51 54	338 33 57	62 48 13
476	9 5 27	157 44 28	35 55 41	180 1 3
501	9 2 40	151 37 2	93 17 25	297 13 53
526	8 59 53	145 29 37	150 39 9	54 26 43
551	8 57 6	139 22 11	208 0 53	171 39 33
576	8 54 19	133 14 45	265 22 37	288 52 23
601	8 51 32	127 7 19	322 44 21	46 5 13
626	8 48 45	120 59 53	20 6 5	163 18 3
651	8 45 58	114 52 28	77 27 49	280 30 52
676	8 43 11	108 45 2	134 49 33	37 43 42
701	8 40 24	102 37 36	192 11 17	154 56 32
726	8 37 37	96 30 10	249 33 1	272 9 22
751	8 34 50	90 22 45	306 54 45	29 22 12
776	8 32 2	84 15 19	4 16 29	146 35 2
801	8 29 15	78 7 53	61 38 14	263 47 52
826	8 26 28	72 0 27	118 59 58	21 0 42
851	8 23 41	65 53 1	176 21 42	138 13 32
876	8 20 54	59 45 36	233 43 26	255 26 22
901	8 18 7	53 38 10	291 5 10	12 39 11
926	8 15 20	47 30 44	348 26 54	129 52 1
951	8 12 33	41 23 18	45 48 38	247 4 51
976	8 9 46	35 15 52	103 10 22	4 17 41
1001	8 6 59	29 8 27	160 32 6	121 30 31
1026	8 4 12	23 1 1	217 53 50	238 43 21
1051	8 1 25	16 53 35	275 15 34	355 56 11
1076	7 58 37	10 46 9	332 37 18	113 9 1
1101	7 55 50	4 38 44	29 59 2	230 21 51

Годовые приращения для новолуний и полнолуний

Простые годы	[Избыточные] дни	Движение Солнца от апогея	Движение по аномалии	Движение по широте
1	2	3	4	5
1	18 ^d 53' 52"	18° 22' 59"	335° 37' 2"	38° 43' 4"
2	8 15 53	7 39 36	285 25 4	46 45 54
3	27 9 45	26 2 35	261 2 5	85 28 57
4	16 31 47	15 19 11	210 50 7	93 31 47
5	5 53 49	4 35 47	160 38 9	101 34 37
6	24 47 40	22 58 47	136 15 11	140 17 41
7	14 9 42	12 15 23	86 3 12	148 20 30
8	3 31 44	1 31 59	35 51 14	156 23 20
9	22 25 36	19 54 59	11 28 16	195 6 24
10	11 47 37	9 11 35	321 16 18	203 9 14
11	1 9 39	358 28 11	271 4 19	211 12 3
12	20 3 31	16 51 10	246 41 21	249 55 7
13	9 25 32	6 7 47	196 29 23	257 57 57
14	28 19 24	24 30 46	172 6 25	296 41 1
15	17 41 26	13 47 22	121 54 26	304 43 50
16	7 3 28	3 3 59	71 42 28	312 46 40
17	25 57 19	21 26 58	47 19 30	351 29 44
18	15 19 21	10 43 34	357 7 32	359 32 34
19	4 41 23	0 0 10	306 55 33	7 35 23
20	23 35 14	18 23 10	282 32 35	46 18 27
21	12 57 16	7 39 46	232 20 37	54 21 17
22	2 19 18	356 56 22	182 8 39	62 24 7
23	21 13 10	15 19 22	157 45 41	101 7 10
24	10 35 11	4 35 58	107 33 42	109 10 0

Пределы затмений⁸

Солнца в среднем движении [по широте]:

от 69;19° до 101;22° и от 258;38° до 290;41°

Луны в среднем движении [по широте]:

от 74;48° до 105;12° и от 254;48° до 285;12°

Месячные приращения

Месяцы	Дни	Движение Солнца от апогея	Движение по аномалии	Движение по широте
1	29 ^d 31' 50"	29° 6' 23"	25° 49' 0"	30° 40' 14"
2	59 3 40	58 12 46	51 38 0	61 20 28
3	88 35 30	87 19 9	77 27 0	92 0 42
4	118 7 21	116 25 32	103 16 1	122 40 57
5	147 39 11	145 31 55	129 5 1	153 21 11
6	177 11 1	174 38 18	154 54 1	184 1 25
7	206 42 51	203 44 41	180 43 1	214 41 39
8	236 14 41	232 51 4	206 32 1	245 21 53
9	265 46 31	261 57 27	232 21 1	276 2 7
10	295 18 21	291 3 50	258 10 1	306 42 21
11	324 50 12	320 10 13	283 59 2	337 22 36
12	354 22 2	349 16 36	309 48 2	8 2 50

4. О том, как следует определять средние и истинные сизигии

472

Если мы хотим для какого-нибудь исследуемого года определить средние наблюдаемые сизигии, то мы должны вычислить номер рассматриваемого года, каким он будет от первого года Набонассара, и определить, какие строки содержат [в сумме] это число годов — как в первых двух таблицах двадцатипятилетий, так и в третьей таблице простых годов. Соответствующие обоим этим строкам числа в столбцах мы последовательно складываем: при вычислении новолуний — из первой и третьей таблицы, а при вычислении полнолуний — из второй и третьей. После сложения чисел второго столбца мы получим время сизигий, отсчитываемое от начала рассматриваемого года; например, если после сложения получилось 24;44 дня, то оно будет иметь место по истечении 44 шестидесятих после полудня 24-го числа месяца Тот; если же это число будет 34;44, то по истечении такого же числа шестидесятих долей после полудня 4-го числа месяца Фаофи⁹. По числам третьего столбца мы определим [среднее] расстояние Солнца в градусах от апогея, по числам четвертого — градусы аномалии Луны, считая от апогея [эпицикла], по числам пятого столбца определим число градусов расстояния [по аргументу] широты от северного предела. Таким же образом мы вычислим и следующие за этим [сизигии этого года], все или некоторые в зависимости от нашего желания, при помощи четвертой таблицы для месяцев путем соответствующего сложения, превращая ради удобства для каждого полученного времени шестидесяти доли дня в равноденственные часы. Однако время в часах, получающееся после сложения, будет выражено в средних солнечных сутках; оно не всегда будет совпадать с наблюдаемым местным временем в сезонных часах, но должно быть пересчитано с учетом неравенства солнечных суток. Мы введем поправку и на это, определив разницу, как уже было показано; если прибавка времени будет больше выраженной в неравномерных часах, то вычтем ее из суммы, полученной в предположении среднего суточного времени; если же она будет меньше, то прибавим ее к последней¹⁰.

Определив таким образом времена новолуний и полнолуний, наблюдаемых в среднем движении, а также величины соответствующих им неравенств для каждого из светил, мы сможем легко получить время и место для истинных сизигий, а также положение Луны по широте, если сопоставим оба неравенства. Действительно, зная каждое из них, мы можем при помощи найденного простафереза определить для момента средней сизигии истинные положения Солнца и Луны и широту последней; если их положения будут соответствовать одному и тому же [для соединений] или диаметрально противоположному [для оппозиций] числу градусов, то это же время будет и для истинной сизигии, если же нет, то, взяв градусы расстояния между светилами и прибавив к ним двенадцатую их часть, представляющую приблизительно величину движения Солнца, посмотрим, во сколько равноденственных часов Луна пройдет тогда в своем неравномерном движении такое же число градусов. Полученное число часов мы прибавим ко времени средней сизигии, если истинное положение Луны будет отставать от [положения] Солнца, или отнимем от него, если Луна будет опережать Солнце¹¹.

Точно так же полученные таким образом градусы расстояния обоих светил, сложенные опять с двенадцатой их частью, мы прибавим к найденному положению Луны, если установленное по времени средней

сизигии истинное положение Луны будет меньше положения Солнца; если же оно будет больше, то отнимем их [от положений Луны] по долготе и [аргументу] широты. Таким образом, мы будем иметь время истинной сизигии, а также приблизительно и место Луны на ее наклонной орбите.

Неравномерное движение Луны за один час вблизи сизигий определяется каждый раз следующим образом. Число градусов аномалии Луны для соответствующего времени вносим в таблицу лунного неравенства и по разности соответствующих ему простаферезов находим разницу, соответствующую 1 градусу аномалии. Умножаем ее на часовое среднее движение аномалии, т.е. на 0;32,40, полученное произведение отнимаем от 0;32,56 — среднего часового движения по долготе, — если число аномалии попадает в строки, стоящие выше наибольшего простафереза, или же прибавляем к нему, если число аномалии будет в строках, стоящих ниже его. Полученный результат покажет, на какую величину Луна в неравномерном движении по долготе передвинется за 1 равноденственный час¹².

Таким образом, у нас определится время истинных сизигий для Александрии, поскольку все относительные положения светил в соответствующие времена мы взяли по часам для александрийского меридиана. Но из полученных для Александрии времен легко можно будет найти и соответствующие той же сизигии для любого климата, если будет дано выраженное в равноденственных часах расстояние от указанного меридиана. Действительно, если по разнице долготы мест определим меридиан рассматриваемой страны, а именно, на сколько градусов он отличается от александрийского, и если меридиан рассматриваемой местности будет лежать к востоку от Александрии, то там наблюдаемое явление произойдет позднее на такое же число часов, а если к западу, то на такое же число часов раньше, причем опять 15 градусов времени будут, конечно, всегда соответствовать 1 равноденственному часу.

5. О пределах для затмений Солнца и Луны

После этого введения следовало бы изложить относящееся к предельным сближениям Солнца и Луны, при которых могут иметь место затмения, чтобы нам не нужно было производить расчет для всех средних сизигий, но только для таких, при которых могут произойти затмения. Определение это может быть легко сделано при помощи соответствующего каждой сизигии среднего положения Луны по широте.

В предыдущей книге мы показали, что диаметр Луны стягивает дугу в 31;20 шестидесятую одного градуса в круге, описанном около центра большого круга зодиака радиусом, равным наибольшему ее расстоянию¹³. Мы вычислили это при помощи двух затмений, имевших место около апогея ее эпицикла. Теперь же, когда мы предполагаем определить наибольшие пределы для сизигиев, в которых могут иметь место затмения, а это соответствует нахождению Луны в перигее ее эпицикла¹⁴, мы опять сделаем это при помощи двух затмений, наблюдаемых в перигее, так как подобные величины надежнее определять из действительно наблюдаемых явлений, и так же вычислим, какую дугу стягивает лунный диаметр в этом положении.

Так вот, в 7 год Филометора, который является 574 после Набонассара, в ночь с 27-го на 28-е число египетского месяца Фаменот, начиная с 8-го часа и до конца 10-го, в Александрии затмилась Луна в наибольшей фазе на 7 пальцев с севера¹⁵. Так как время средней фазы соответствовало

$2\frac{1}{2}$ часам местного времени после полуночи, которые соответствовали $2\frac{1}{3}$ равноденственным¹⁶, поскольку истинное положение Солнца было на $6\frac{1}{4}$ градусах Тельца, то время, прошедшее от упомянутой эпохи до затмения, получается равным 573 египетским годам, 206 дням и $14\frac{1}{3}$ равноденственным часам по обычному счету, или только 14, если отнести к средним суткам. В это время среднее положение центра Луны соответствовало $7;49$ градусам Скорпиона, а истинное — $6;16$ градусам¹⁷, расстояние от апогея эпицикла было $163;40$ градуса, а от северного предела наклонного круга — $98;20$ градусов. Ясно, что когда центр Луны отстоял от узла на $8;20$ градусов по наклонной орбите в наименьшем расстоянии Луны, а центр тени находился на большом круге, проведенном через это положение перпендикулярно орбите (в этом положении получают наибольшие затмения), то в тень была погружена $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{12}$ часть диаметра Луны.

Затем в 37 год третьего периода Калиппа, который является 607 после Набонассара, в ночь со 2-го на 3-е число египетского месяца Тиби, в начале 5-го часа на Родосе начала затмеваться Луна, и в наибольшей фазе было затемнено 3 пальца с юга¹⁸. Поскольку и в этом случае начало затмения произошло за 2 часа местного времени перед полуночью, что соответствует $2\frac{1}{3}$ равноденственным часам на Родосе и в Александрии, так как истинное положение Солнца было на $5;8$ градусах Водолея, то время средней фазы, когда затенение было наибольшим, соответствовало приблизительно $1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ равноденственному часу до полуночи¹⁹. Таким образом, время, прошедшее от упомянутой эпохи до середины затмения, оказывается равным 606 египетским годам, 121 дню и $10\frac{1}{6}$ равноденственным часам как по обычному счету, так и отнесенным к средним суткам. В это время среднее положение центра Луны было на $5;16$ градусах Льва, а истинное — на $5;8$ ²⁰; расстояние от апогея эпицикла равнялось $178;46$ градусам, а от северного предела наклонной орбиты — $280;36$ градусам. Отсюда ясно, что когда центр Луны на наклонной орбите находился на $10;36$ градусах от узла в том же наименьшем расстоянии, а центр тени — на пересечении больших кругов, проведенных один через середины зодиакальных созвездий, а другой через центр Луны — перпендикулярно ее наклонной орбите, то в тень попадала четвертая часть лунного диаметра.

Но если центр Луны находился на $8\frac{1}{3}$ градусах от узла по наклонной орбите, то от круга через середины знаков он отстоял на $43\frac{1}{20}$ шестидесятих долей градуса по большому кругу, проведенному через его полюсы²¹; если же он отстоял от узла на $10\frac{3}{5}$ градуса по наклонной орбите, то от круга через середины знаков он отстоял на $54\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ шестидесятих долей одного градуса по большому кругу, проведенному через его полюсы. Поскольку же разность между обоими затмениями соответствует $\frac{1}{3}$ лунного диаметра, а разность упомянутых двух расстояний ее центра по тому же самому большому кругу от той же точки эклиптики, т.е. центра тени, равна $11;47$ шестидесятым одного градуса, то ясно, что весь диаметр Луны на большом круге, описанном наименьшим ее расстоянием около центра зодиака, стягивает дугу приблизительно в $35\frac{1}{3}$ шестидесятих долей одного градуса²². Но так как во втором из упомянутых затмений, когда затмилась $\frac{1}{4}$ лунного диаметра, центр Луны отстоял от центра тени на $54\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ шестидесятих, а от точки, в которой окружность тени пересекается соединяющей эти центры линией, был удален на $\frac{1}{4}$ лунного диаметра, что равняется $8\frac{1}{2}\frac{1}{3}$

шестидесятым градуса, то отсюда ясно, что радиус тени в наименьшем расстоянии Луны составляет 46 шестидесятых градуса. И он приблизительно в $2\frac{3}{5}$ раза больше радиуса Луны, равного $17\frac{2}{3}$ шестидесятым²³. Но радиус Солнца на том же большом круге, проведенном через него вокруг центра зодиака, стягивает дугу в 15;40 шестидесятых, так как мы показали, что в наибольшем расстоянии в сизигиях Солнце и Луна покрывают одинаковые величины своими собственными кругами. Следовательно, если видимый центр Луны отстоит от центра Солнца на 0;33,20 градусов в ту или другую сторону от круга через середины знаков, то это и есть та предельная ситуация, в которой диск Луны видимым образом может коснуться солнечного²⁴.

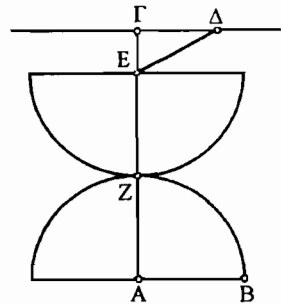


Рис. 6.1

Если теперь мы вообразим, что АВ представляет дугу круга [рис 6.1], проведенного через середины зодиакальных созвездий, а ГД — дугу наклонной орбиты Луны, которая приблизительно параллельна первой для промежутков, соответствующим временам затмений, а затем через полюсы наклонного круга проведем дугу АЕГ большого круга и вообразим вокруг точки А полудиск Солнца, а вокруг Е видимый полудиск Луны, когда он в первый раз касается солнечного в точке Z, то дуга АЕ, представляющая расстояние видимого центра Е Луны от центра А Солнца, может когда-нибудь сделаться равной упомянутому 0;33,20 градусов.

Но в местах, начиная от Мероэ, где наибольший день равняется 13 равноденственным часам, вплоть до устьев Борисфена²⁵, где наибольший день равняется 16 равноденственным часам, наибольшее параллактическое смещение Луны к северу в наименьшем расстоянии в сизигиях будет с учетом солнечного параллакса приблизительно 0;8, а наибольшее параллактическое смещение к югу — 0;58 градусов. Наибольшее параллактическое смещение ее по долготе будет иметь место, когда ее [широтный] параллакс к северу равен 0;8 градусов, и соответствует приблизительно 0;30 градусов в окрестности Льва или Близнецов. Если же параллактическое смещение [по широте] к югу равно 0;58, то наибольший параллакс по долготе будет приблизительно 0;15 в окрестности Скорпиона и Рыб²⁶. Следовательно, если мы предположим, что истинное положение центра Луны будет в Δ, и проведем соединительную линию ΔЕ, представляющую полное параллактическое смещение, то ΔГ будет приблизительно параллаксом по долготе, а ГЕ — по широте. Таким образом, когда Луна находится к северу от Солнца и имеет наибольшее параллактическое смещение к югу, то ΔГ будет равна 0;15, а АЕГ — приблизительно 1;31 градусу²⁷. И так как отношение дуги орбиты от узла до точки Г к дуге ГА (расстоянию между пределами затмений) равно отношению $11\frac{1}{2}$ к 1 (ибо это мы легко можем сообразить на основании определенного ранее наклона круга лунной орбиты), то сама дуга от узла до точки Г равна 17;26 градусам, а вместе с ГД — 17;41 градусам. Когда же Луна, находясь к югу от Солнца, имеет наибольшее параллактическое смещение к северу, то ΔГ будет равна 0;30, а вся АЕГ — 0;41. На основании тех же рассуждений расстояние от узла до точки Г будет равно 7;52 градусам, а вместе с отрезком ГД — 8;22 таким же градусам. Следовательно, когда истинное расстояние центра Луны

от каждого из узлов по наклонной орбите будет составлять 17;41 градусов к северу или 8;22 градусов к югу, только тогда в упомянутых местах обитаемого мира возможно будет видимое касание диска Луны и солнечного.

Далее, так как наибольшая разность солнечного неравенства оказалась равной 2;23 градусам, а лунного во время сизигий 5;1 градусам, то возможно, что когда-нибудь расстояние Луны от Солнца в средних сизигиях будет в действительности равным 7;24 градусам. Однако за то время, когда Луна пройдет эти градусы, Солнце продвинется вперед приблизительно на $\frac{1}{13}$ их часть, т.е. на 0;34; когда же Луна пройдет эти 0;34 градуса, Солнце опять продвинется на $\frac{1}{13}$ их часть, т.е. приблизительно на 0;3 градуса, для которых $\frac{1}{13}$ часть не представляет ничего существенного. Следовательно, если эти 0;37 градусов, представляющие $\frac{1}{12}$ часть первоначальных 7;24 градусов, мы прибавим к 2;23 градусам солнечного неравенства, то получим 3 градуса, представляющие приблизительно наибольшую разницу по долготе и [по аргументу] широты между средним положением [светил] в среднюю сизигию и их истинным положением [в истинную сизигию]²⁸. И, следовательно, если среднее положение центра Луны отстоит от узла по наклонной орбите на 20;41 градусов к северу, или на 11;22 к югу, то только тогда возможно в вышеупомянутых местностях видимое касание солнечного и лунного дисков. И на этом основании, если отсчитываемое от северного предела по наклонной орбите Луны число градусов, соответствующее средним сизигиям, попадет в промежуток между 69;19 и 101;22 или между 258;38 и 290;41, то только тогда в вышеупомянутых местностях и возможно наступление указанного [касания]²⁹.

Далее, что касается границ затмений для Луны, то мы показали, что радиус Луны в ее наименьшем расстоянии стягивает дугу в 0;17,40 градусов, а радиус тени приблизительно в $2\frac{3}{5}$ раза больше радиуса Луны, оказываясь равным 0;45,56 таких же градусов³⁰. Ясно, что когда истинное расстояние между центрами Луны и тени, измеряемое по большому кругу, проходящему через полюсы наклонной лунной орбиты, будет равно 1;3,36 градусу в ту и другую сторону от круга через середины знаков, или будет приблизительно равно 12;12 градусам от каждого из узлов по ее наклонной орбите (согласно отношению 1 к $11\frac{1}{2}$), только в этом предельном положении будет возможно касание Луны и тени. И на основании того, что было сказано относительно неравенства, предельное положение, при котором возможно будет касание Луны и тени, будет иметь место, когда определяемое по среднему движению положение центра Луны будет отстоять от узлов на 15;12 градусов по наклонной орбите Луны, что опять соответствует отсчитываемым от северного предела числам [аргумента широты] от 74;48 до 105;12 или от 254;48 до 285;12 градусов³¹. Поэтому в упомянутые таблицы сизигий мы включили также значение [среднего аргумента] широты Луны для границ солнечных и лунных [затмений]³², чтобы подготовить все для исследования возможных затмений.

6. О промежутках между месяцами, в которые происходят затмения

Было бы очень полезно дополнительно рассмотреть здесь вопрос об определении интервалов, по истечении которых возможно в принципе повторение сизигий с затмениями; тогда, взяв в качестве начальной эпохи

какую-нибудь сизигию с затмением, можно было бы не исследовать снова их все подряд, а только те, для которых согласно данному числу месяцев затмения являются возможными, и производить исследование пределов только для них³³.

Сразу же очевидно, что затмения Солнца и Луны могут происходить через 6 месяцев, так как среднее движение Луны по [аргументу] широты за 6 месяцев составляет $184;1,25$ градуса. Дуги же, заключающиеся между пределами возможных затмений [у противоположных узлов] как Солнца, так и Луны, содержат или меньшее число градусов, если они внутри полуокружности, или большее, если они выходят за полуокружность. Действительно, упомянутые пределы для Солнца к северу от каждого из узлов содержат упомянутые выше $20;41$ градусов по наклонной орбите Луны, а к югу $11;22$ градусов, и лишенная затмений северная дуга равняется $138;38$ градусам, а южная — $157;16$ градусам. Для Луны же упомянутые пределы отрезают с каждой стороны круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, по $15;12$ градусов от узлов по той же лунной орбите, и каждая из дуг, на которой затмения не могут произойти, оказывается равной $149;36$ градусам³⁴.

А то, что на основании таких предположений возможно лунное затмение через промежуток времени в 5 месяцев, имеющих наибольшую продолжительность, а именно если движение Солнца будет наибольшим, а Луны наименьшим, можно установить из следующего³⁵.

Так как для среднего промежутка в 5 месяцев мы нашли, что среднее движение каждого из этих светил по долготе составляет $145;32$ градусов, а лунная аномалия эпицикла равняется $129;5$ градусам, то $145;32$ градусов наибольшего продвижения Солнца прибавляют по обеим сторонам от перигея к среднему $4;38$ градуса, а $129;5$ градусов на лунном эпицикле для наименьшего продвижения по обеим сторонам апогея отнимают $8;40$ градусов от среднего³⁶. Следовательно, в течение промежутка в 5 средних месяцев, когда движение Солнца является наибольшим, а Луны наименьшим, Луна будет опережаться Солнцем на сумму обеих этих аномалий $13;18$ градусов. Взяв от них опять $1/12$ часть, на основании показанного выше получим приблизительно $1;6$ градус, на который продвинется Солнце, пока его не захватит Луна³⁷. Но так как от своей собственной аномалии оно получает $4;38$ градуса и при достижении истинной сизигии получает еще $1;6$ градус, то наибольший пятимесячный промежуток будет больше среднего на $5;44$ градусов по долготе. Следовательно, приблизительно столько же градусов пройдет Луна по наклонной орбите в своем движении по широте; эта величина прибавится приблизительно к $153;21$ градусам, получаемым за 5 средних месяцев в движении по широте³⁸. Таким образом, теоретическое истинное движение по широте в наибольшем пятимесячном промежутке окажется равным $159;5$ градусам.

Но для среднего расстояния Луны границы затмений по обеим сторонам круга через середины знаков содержат: на большом круге, проведенном через полюсы наклонной орбиты, приблизительно 1 градус, так как в наименьшем расстоянии они имеют $1;3,36$ градус, а в наибольшем — $0;56,24$ градусов, на наклонной же орбите $11;30$ градусов от узлов; заключенная между ними дуга, лишенная затмений, на основании этого получается равной $157;0$ градусам³⁹, которые на $2;5$ градуса будут меньше дуги в $159;5$ градусов на наклонной орбите для наибольшего пятимесячного промежутка. Из этого ясно, что, если Луна затмилась в первое полнолуние наибольшего

пятимесячного промежутка, удаляясь от какого-нибудь узла, то возможно, что она снова затмится в последнее полнолуние, приближаясь к противоположному узлу; при этом в обоих затмениях затемнение будет происходить с одной и той же стороны зодиакального круга, а не с противоположных.

Таким образом, мы выяснили, что в наибольший пятимесячный промежуток может произойти два лунных затмения.

А то, что это невозможно для промежутка времени в 7 месяцев, даже если мы возьмем наименьший семимесячный промежуток, т.е. когда Солнце имеет наименьшее, а Луна наибольшее движение, мы можем установить, идя тем же путем, что и выше⁴⁰.

Действительно, в течение среднего промежутка в 7 месяцев среднее движение каждого из светил по долготе составит 203;45 градуса, а Луны по эпициклу — 180;43; из них 203;45 градуса Солнца в наименьшем [истинном] движении с каждой стороны апогея отнимут от среднего движения 4;42 градуса, а 180;43 градусов лунного эпицикла в наибольшем движении с каждой стороны перигея прибавят к среднему движению 9;58 градусов. Следовательно, за время наименьшего семимесячного промежутка, когда движение Солнца будет наименьшим, а Луны наибольшим, Луна опередит Солнце на сумму из обеих этих аномалий 14;40 градусов⁴¹. Если мы на том основании, что и выше, возьмем от них $\frac{1}{12}$ часть и сложим с недостающими 4;42 градусами солнечной аномалии, то получим приблизительно 5;55 градусов, на которые перемещение по долготе в течение наименьшего семимесячного промежутка отстает от среднего; такое же отставание произойдет и в движении по широте от соответствующих среднему семимесячному промежутку 214;42 градусов. Следовательно, в наименьшем семимесячном промежутке по широте Луна пройдет по наклонной орбите 208;47 градусов; вся же наибольшая дуга наклонной орбиты между пределами затмений для среднего расстояния равняется 203;0 градусам, если считать от приближения к одному узлу до удаления от противоположного. Следовательно, если Луна затмится каким-либо образом в первом полнолунии наименьшего семимесячного промежутка, то будет невозможным еще какое-либо ее затмение в последнее полнолуние⁴².

После этого мы должны показать, что для Солнца также возможно в течение наибольших 5 месяцев два раза затмиться в одной и той же местности, и это [может иметь место] во всех частях обитаемого мира.

Действительно, в течение наибольших 5 месяцев [истинное] движение Луны по широте согласно показанному равняется 159;5 градусам⁴³, и лишенная затмений дуга для Солнца при среднем расстоянии Луны равняется тем же самым 167;36 градусам, так как для Солнца пределы затмений отстоят от круга через середины знаков на 0;32,20 градусов по большому кругу, проведенному через его полюсы, или приблизительно на 6;12 градусов по наклонной орбите Луны⁴⁴. На этом основании ясно, что при отсутствии параллактического смещения Луны упомянутое выше [т.е. затмения с промежутком в 5 месяцев] невозможно, так как лишенная затмений дуга будет больше перемещения за наибольшие 5 месяцев, а именно на 8;31 градусов по наклонной орбите и приблизительно на 0;45 градусов по кругу, перпендикулярному проходящему через середины знаков⁴⁵. Но там, где возможно такое параллактическое смещение, что или в одном из крайних новолуний, или же в обоих одновременно параллаксы

превышают 0;45 градусов, может случиться, что оба крайних новолуния будут сопровождаться затмениями.

После того как мы показали, что за время наибольшего пятимесячного промежутка⁴⁶, когда движение Луны является наиболее медленным, а Солнца наиболее быстрым (в промежутке от двух третей Девы до двух третей Водолея), Луна будет опережаться Солнцем на 13;18 градусов⁴⁷, получающихся от обеих аномалий, и что эти градусы вместе с их $\frac{1}{12}$ частью Луна проходит в среднем движении за 1 день и $2\frac{1}{4}$ часа⁴⁸, становится ясно, что, если продолжительность средних 5 месяцев равна 147 дням и приблизительно $15\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ часам⁴⁹, продолжительность наибольших 5 месяцев составит 148 дней и 18 часов. И вследствие этого, если первое новолуние произойдет на $\frac{2}{3}$ Девы, а последнее на $\frac{2}{3}$ Водолея, то второе произойдет раньше на 6 часов, недостающих до полного дня. Таким образом, нужно исследовать, где и когда может случиться такое параллактическое смещение в одном или в обоих упомянутых знаках зодиака, чтобы в указанном положении в Водолее на 6 часов раньше по отношению к положению в Деве получилось перемещение, большее упомянутых 45 шестидесятих⁵⁰.

Как мы уже указали, в обитаемой части Вселенной нигде не найдется возможности для столь большого параллактического смещения Луны к северу. Таким образом, Солнце не может затмиться дважды в течение наибольших 5 месяцев при движении Луны к югу от круга через середины знаков, т.е. когда в первом новолунии Луна удаляется от нисходящего узла, а в последнем приближается к восходящему⁵¹. Но параллактическое отклонение такой величины к югу в местах, начиная от экватора и далее к северу, в положениях, разнящихся на 6 часов, в обоих упомянутых знаках зодиака возможно, если предположить, что $\frac{2}{3}$ Девы заходят во время первого новолуния, а $\frac{2}{3}$ Водолея во время второго новолуния стоят на полуденном круге. В этих положениях мы действительно находим, что Луна в среднем расстоянии имеет параллактическое смещение к югу (с учетом солнечного параллакса), для живущих у экватора равное для положения в Деве приблизительно 0;22 градусов, а для положения в Водолее — 0;14 градусов; там же, где наибольший день равняется $12\frac{1}{2}$ часам, для положения в Деве параллакс будет 0;27 градусов, а в Водолее — 0;22, так что оба параллакса вместе будут на 4 шестидесятих больше упомянутых 0;45⁵². Но так как при удалении к северу южный параллакс все время возрастает, то ясно, что для обитателей этих местностей увеличивается вероятность наблюдать два раза затмение Солнца за наибольший пятимесячный интервал. Но это может случиться, только если положение Луны будет к северу от круга через середины знаков, т.е. когда в первом новолунии Луна удаляется от восходящего узла, а во втором — приближается к нисходящему.

Кроме того, я утверждаю, что Солнце может два раза затмиться в одном и том же месте также и в течение наименьшего семимесячного промежутка. Мы показали, что за время наименьшего семимесячного промежутка [истинное] движение Луны по [аргументу] широты составляет 208;47 градусов, и наибольшая дуга наклонной [лунной] орбиты между пределами затмений, а именно в пределах от приближения к одному до удаления от противоположного узла, для Солнца при среднем расстоянии Луны равняется 192;24 градусам⁵³. Ясно, что при отсутствии параллакса

Луны упомянутое выше становится невозможным вследствие того, что дуга наклонной орбиты для наименьшего семимесячного промежутка будет больше наибольшей дуги между граничными точками затмений Солнца на 16;23 градусов по наклонной орбите и на 1;25 градус по большому кругу, проходящему через полюсы зодиакального круга⁵⁴. Но там, где возможно такое параллактическое смещение, чтобы либо в одном из двух крайних новолуний, либо в обоих в сумме параллаксы превысили 1;25 градус, может случиться, что оба крайних новолуния будут сопровождаться затмениями.

Так как мы показали, что за время наименьшего семимесячного промежутка, когда Луна движется всего быстрее, а Солнце всего медленнее, от конца Водолея до середины Девы⁵⁵ Луна в истинном движении обгоняет Солнце на 14;40 градусов и что эти градусы вместе с $\frac{1}{12}$ их частью Луна в среднем движении проходит за 1 день и 5 часов⁵⁶, то ясно, что если продолжительность среднего семимесячного промежутка равняется приблизительно 206 дням и 17 часам, то продолжительность наименьшего семимесячного промежутка составит 205 дней и 12 часов; вследствие этого время последнего новолуния в середине Девы опоздает на 12 часов по отношению к первому в конце Водолея. Таким образом, мы должны исследовать, где и когда Луна может иметь параллактическое смещение, большее 1;25 градуса: в одном из упомянутых знаков зодиака или в обоих, где положения светил разделены 12-ю часами, т.е. когда один знак заходит, а другой восходит, так как иначе оба затмения не смогут произойти над горизонтом. Опять нигде в обитаемой части мира Луна ни в каком положении не может иметь столь большого параллактического смещения к северу, и даже для живущих на самом экваторе параллакс по широте в среднем расстоянии не может быть больше 23 шестидесятых⁵⁷. Поэтому Солнцу невозможно два раза затмиться в течение наименьшего семимесячного промежутка во время движения Луны к югу от круга через середины знаков, т.е. когда в первом новолунии она приближается к восходящему узлу, а в последнем удаляется от нисходящего. Подобный параллакс к югу мы находим, начиная приблизительно от параллели Родоса, когда конец Водолея восходит, а середина Девы заходит. Действительно, на Родосе и в местностях под той же параллелью для каждого из этих положений параллактическое смещение Луны в среднем расстоянии и после вычитания солнечного параллакса будет направлено к югу и окажется равным приблизительно 0;46 градусов, так что в обоих новолуниях параллаксы уже становятся больше 1;25 градуса. И так как параллактическое смещение к югу возрастает по мере удаления к северу, то ясно, что для живущих в этих местах возможно два раза увидеть затмение Солнца в течение наименьшего семимесячного промежутка⁵⁸, однако опять только при движении Луны к северу от круга через середины знаков, т.е. когда в первом затмении она приближается к нисходящему узлу, а во втором удаляется от восходящего.

Теперь, пожалуй, остается показать, что за один месяц Солнце не может затмиться два раза в обитаемой части мира, ни в одном и том же климате, ни в различных, даже если мы предположим совместное действие обстоятельств, которые в действительности не могут существовать одновременно, но в отдельности каждое усиливает возможность упомянутого. Я имею в виду, что Луну мы будем считать находящейся в наименьшем расстоянии, чтобы ее параллакс был побольше, а месяц наименьшим, чтобы

месячное движение по широте на возможно меньшую величину превышало ⁴⁹⁶ расстояние по широте на границах солнечных затмений, и даже будем произвольно выбирать часы и двенадцатые части зодиака, в которых Луна имеет наибольшие параллактические смещения⁵⁹.

Итак, за 1 средний месяц движение по долготе каждого из светил составляет в среднем 29;6 градусов, а движение Луны по эпициклу — 25;49 градусов; 29;6 градусов солнечного движения при наименьшей скорости по обе стороны апогея отнимают 1;8 градус от среднего движения, а 25;49 градусов лунного эпицикла при наибольшей скорости по обе стороны от перигея прибавляют 2;28 градуса к среднему движению. Если согласно показанному выше мы сложим простаферезы от обеих аномалий и $\frac{1}{12}$ часть от получающихся 3;36 градусов, а именно 0;18, прибавим к тем, которые Солнце потеряло, то получим 1;26 градус; на такое число градусов движение и по долготе, и по аргументу широты в течение наименьшего месяца будет меньше соответствующих движений за средний [синодический] месяц. Таким образом, поскольку движение по широте за средний месяц равно 30;40 градусам, движение за наименьший месяц окажется равным 29;14 градусам, которые отсекут приблизительно 2;33 градуса на большом круге, перпендикулярном к зодиаку⁶⁰. Но все расстояние между граничными точками затмений ⁴⁹⁷ для Солнца при наименьшем расстоянии Луны будет равно 1;6 градусу; таким образом, перемещение [по широте] за наименьший месяц будет больше на 1;27 градус⁶¹. Теперь, если бы в течение 1 месяца Солнце затмевалось два раза, то для этого было бы необходимо, чтобы во время одного из новолуний Луна либо совсем не имела параллактического смещения, а во время второго имела большее 1;27 градуса, либо чтобы во время каждого новолуния имела параллактическое смещение в одну и ту же сторону и разность параллакс была больше 1;27 градуса, либо, наконец, чтобы оба параллакса вместе давали величину, большую упомянутого числа градусов, но в одном новолунии параллактическое смещение было к северу, а в другом — к югу⁶². Но нигде на Земле во время сизигий даже в наименьшем расстоянии Луна не имеет параллакса по широте, большего 1 градуса, если вычесть параллакс Солнца⁶³. Следовательно, невозможно, чтобы в течение наименьшего месяца Солнце затмилось два раза, даже если бы Луна в одном новолунии или совсем не имела параллакса, или в обоих новолуниях имела смещение в одну сторону, так как разность этих параллакс не может превысить 1 градуса, а требуется, чтобы она равнялась ⁴⁹⁸ 1;27 градусу. Все сказанное могло бы случиться, только если бы параллаксы были [направлены] в противоположные стороны и их сумма оказалась большей 1;27 градуса. Но это может случиться лишь для отличной от нашей части мира, так как в лежащих к северу от экватора частях мира Луна имеет параллакс к югу, а в так называемых антихтонных⁶⁴ частях, лежащих к югу от экватора, имеет параллакс к северу, могущий с учетом солнечного иметь величину от 0;25 до 1 градуса⁶⁵.

Но для одной и той же части мира этого, пожалуй, никогда не может случиться, так как наибольший параллакс Луны для живущих на самом экваторе не будет более 25 шестидесятых к северу или к югу⁶⁶, для мест же, более северных или более южных, он не будет больше 1 градуса и не будет направлен в противоположные стороны; следовательно, даже в этом случае сумма обоих параллакс будет меньше 1;27 градуса. Но так как

в местностях, расположенных между экватором и другой границей [каждой из ойкумен к югу и к северу от экватора], параллаксы в противоположную сторону становятся все меньше, то для них упомянутое оказывается еще более невозможным. Значит, в одной и той же местности на Земле Солнце нигде не может два раза затмиться в течение одного месяца, и то же самое касается различных местностей, принадлежащих одной и той же части обитаемого мира⁶⁷. Это мы и хотели доказать.

7. Построение таблиц затмений

499

Итак, на основании сказанного нам стало ясно, какого рода промежутки времени между сизигиями мы должны брать при исследовании затмений. А чтобы после определения среднего времени этих сизигий и вычисления для них положений Луны (видимых для новолуний и истинных для полнолуний) легко можно было определять по [известному] расстоянию Луны по широте для всех сизигий, которые могут сопровождаться затмениями, также величины и продолжительности затмений, мы приготовили таблицы: две для солнечных затмений и две для лунных, как для наибольшего, так и для наименьшего расстояния Луны, предполагая, что приращение величин затмений [между последовательными значениями аргумента в таблице] будет определяться в $\frac{1}{12}$ частях затемняемого диаметра обоих светил⁶⁸.

Первую таблицу солнечных затмений, которая содержит пределы затмений для наибольшего расстояния Луны, мы составили в 25 строках и 4 столбцах. Из них два первых содержат видимые положения Луны по широте на наклонной орбите для каждого из затемнений. Действительно, так как диаметр Солнца равняется 31;20 шестидесятой градуса, а диаметр Луны в наибольшем расстоянии, согласно показанному, равняется той же самой 31;20 шестидесятой⁶⁹, то вследствие этого первое касание с Солнцем будет тогда, когда видимый центр Луны будет отстоять от солнечного центра на 31;20 шестидесятую по большому кругу, проходящему через эти центры, а от узла — на 6 градусов по наклонной орбите [на расстоянии, вычисляемом] из приведенного выше отношения 11;30 к 1⁷⁰. Поэтому в первых строках этих столбцов мы поместили 84 градуса для первого столбца и 276 для второго, в последних же строках для первого опять 96, а для второго 264. И так как $\frac{1}{12}$ части солнечного диаметра на наклонной орбите соответствуют приблизительно 0;30 градусов⁷¹, то в этих двух столбцах мы будем производить увеличение и уменьшение через упомянутое число шестидесятых, начиная от крайних строк по направлению к средним. В средних же строках мы поместим 90 и 270 градусов. Третий столбец будет содержать величины затемнения, причем в крайних строках будут помещены соответствующие касанию 0;0, а в следующих — из расчета один палец на $\frac{1}{12}$ часть диаметра, причем возрастание идет через один палец до средней строки, на которую попадет число 12 пальцев⁷². Четвертый столбец будет содержать получающиеся положения центра Луны для каждой фазы затмения без учета движений Солнца во время затмения и приращения параллаксов Луны⁷³.

500

501

Вторую таблицу солнечных затмений, содержащую границы затмений для наименьшего расстояния Луны, мы составим так же, как и первую, но только из 27 строк и 4 столбцов, так как в наименьшем расстоянии

Луны ее радиус согласно доказанному будет равняться 17;40 таким частям⁷⁴, каких в радиусе Солнца имеется 15;40. Когда Луна начнет касаться Солнца, то ее видимый центр будет отстоять от солнечного опять на 33;20 шестидесятых, а от узлов по наклонной орбите — на 6;24 градусов⁷⁵. В крайних строках находятся числа видимого аргумента широты 83;36 и 276;24, а также 96;24 и 263;36. Средняя же строка в столбце для пальцев будет содержать 12 пальцев и еще $\frac{4}{5}$ одного пальца вследствие линейной экстраполяции величины разности [диаметров Солнца и Луны]. Эта величина будет также представлять полное затмение⁷⁶.

503 Каждую из лунных таблиц мы составим из 45 строк и 5 столбцов и в первой поместим числа для аргумента широты в предположении, что Луна находится на наибольшем расстоянии. Так как согласно доказанному радиус Луны в наибольшем расстоянии равен 15;40 шестидесятым⁷⁷, а радиус тени — 40;44 градусам, так что в начале касания Луны с тенью ее центр будет отстоять от центра тени на 56;24 шестидесятых по большому кругу, проходящему через оба центра, а от узлов — на 10;48 градусов по наклонной орбите⁷⁸, то в первых строках мы поставим числа 79;12 и 280;48, а в последних — 100;48 и 259;12. На том же основании, что и выше, увеличение и уменьшение будем производить через 30 шестидесятых, соответствующих $\frac{1}{12}$ части лунного диаметра.

Во второй таблице мы поместим числа для [аргумента] широты в предположении наименьшего расстояния Луны, на котором согласно доказанному ее радиус равняется 17;40 шестидесятым, а радиус тени — 503 45;56⁷⁹. Таким образом, когда Луна начнет касаться тени, ее центр будет отстоять от центра тени также на 1;3,36 градус и от узлов — на 12;12 градусов по наклонной орбите⁸⁰. Вследствие этого, поместив в первых строках числа 77;48 и 282;12, а в последних — 102;12 и 257;48, будем производить увеличение и уменьшение через 34 шестидесятых, соответствующих $\frac{1}{12}$ части лунного диаметра⁸¹. Третьи же столбцы для пальцев [в каждой лунной таблице] будут составлены так же, как и в солнечных [таблицах]⁸²; равным образом и следующие столбцы, содержащие положения Луны для каждой фазы затмения: [четвертый столбец] для погружения в тень и для выхода из нее, [пятый] для половины времени пребывания в полном затемнении⁸³.

Упомянутые положения Луны для каждой фазы затенения мы вычислили геометрически, беря при расчетах плоскости и прямые, поскольку дуги такой величины нечувствительно отличаются от прямых, а также поскольку движение Луны по орбите ничем существенным не отличается, если мы будем относить его к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий. Пусть никто не предполагает, что мы не знаем, почему, вообще говоря, получается существенная разница при рассмотрении движения Луны 504 по долготе, если брать дуги наклонной орбиты вместо дуг круга через середины знаков, а также что времена сизигий не будут в точности теми же самыми, что времена средней фазы затмений⁸⁴.

Если мы от узла А [рис. 6.2] отложим две равные дуги, АВ и АГ, упомянутых кругов и, проведя соединительную прямую ВГ, опустим из В перпендикуляр ВД на АГ, то сразу же станет ясно, что если предположить Луну [находящейся] в В и вместо АД пользоваться дугой АГ круга через середины знаков, так как движения по последнему определяются при помощи

круга, проходящего через полюсы зодиака, то получающаяся вследствие наклона лунной орбиты разница будет равна $\Gamma\Delta$. Далее, если мы вообразим в В центр Солнца⁸⁵ или тени, то вследствие незначительности

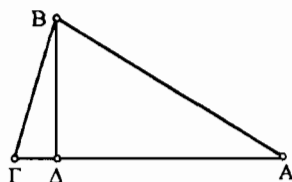


Рис. 6.2

разницы между кругами время сизигии получится, когда Луна дойдет до Γ , а средняя фаза — когда она будет в Δ (опять вследствие того, что времена средней фазы затмений определяются по кругу, проходящему через полюсы лунной орбиты). И время сизигии будет отличаться от средней фазы затмения на дугу $\Gamma\Delta$.

Причина того, что мы не учитываем эти дуги в вычислениях для отдельных случаев, заключается в том, что эти разности малы и нечувствительны, хотя было бы неумно вообще не знать чего-нибудь в этом роде. Если же мы ради простоты методов

будем сознательно пренебрегать тем, что можно отбросить и в предположениях, и в самих наблюдениях, то вследствие достигнутой простоты это будет производить большее впечатление полезности и вместе с тем в наблюдаемых явлениях или совсем не даст никакой погрешности, или даст самую незначительную. Так вот, для дуги, соответствующей $\Gamma\Delta$, мы нашли, что она в общем не превосходит $0;5$ градусов. Это можно показать при помощи той же самой теоремы, на основании которой мы вычисляем разницы между дугами равноденственного круга и проходящего через середины знаков, если они определяются кругами, проходящими через полюсы равноденственного круга⁸⁶. В случае затмений эта разность [соответствующая дуге $\Gamma\Delta$] не превышает 2 шестидесятых градуса, так как если дуги АВ и АГ равняются 12 градусам (ибо примерно такой величины достигают перемещения Луны во время затмений), то ВД будет равна приблизительно 1, а вследствие этого дуга АД будет равна приблизительно $11;58$ таким же единицам, а разность $\Gamma\Delta$ получается равной 2 шестидесятым, что не составляет даже $1/16$ доли равноденственного часа⁸⁷. Доводить же точность

506

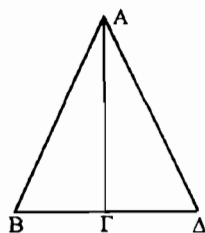


Рис. 6.3

до таких пределов прилично скорее любителю пустой славы, а не истины. Вследствие этого упомянутые положения Луны при затемнении мы вычисляли так, как будто не было никакой чувствительной разницы между указанными кругами. Соответствующее вычисление производилось, как мы покажем на одном или двух примерах, следующим образом.

Пусть А [рис. 6.3] будет центром Солнца⁸⁸ или тени, а вместо лунной орбиты мы возьмем прямую ВГД. Предположим, что в момент начала касания с Солнцем или тенью центр Луны будет в В, когда она будет приближаться, и в Д, когда она будет удаляться. Проведя соединительные прямые АВ и АД, опустим из А на ВД перпендикуляр АГ.

Когда центр Луны дойдет до Г, будет иметь место середина затмения, и наибольшее затемнение. Это ясно из того, что АВ равна АД, а вследствие этого перемещение ВГ равно ГД, а также из того, что АГ будет наименьшей из всех прямых, соединяющих два центра на прямой ВД. Ясно также, что каждая из АВ и АД содержит вместе взятые радиусы Луны и Солнца или тени и что АГ будет меньше каждой из этих прямых на величину затемненной части затмевающегося диаметра.

507

Если все это так, то возьмем для примера затемнение в 3 пальца и предположим сначала, что А будет центром Солнца. Следовательно, при наибольшем расстоянии Луны АВ будет равна 31;20 шестидесятой⁸⁹, а ее квадрат — 981;47, АГ же будет равна 23;30 шестидесятым, ибо она меньше АВ на $\frac{3}{12}$ солнечного диаметра, т.е. на 7;50 шестидесятых, а ее квадрат будет равен 552;15. Таким образом, квадрат на ВГ будет равен 429;32, а сама ВГ по длине — приблизительно 20;43 шестидесятым, что мы и помещаем в первой таблице солнечных затмений рядом с 3 пальцами в четвертом столбце. При наименьшем расстоянии Луны АВ будет равна 33;20 шестидесятым⁹⁰, ее квадрат 1111;7, АГ равна 25;30 шестидесятым, а ее квадрат — 650;15. Получающийся в остатке квадрат ВГ будет равен 460;52 шестидесятым, и, следовательно, сама ВГ по длине — 21;28 шестидесятой, что мы и помещаем во второй таблице солнечных затмений для 3 пальцев в четвертом столбце.

508

Затем предположим, что А будет центром тени, а затемнение также равно $\frac{1}{4}$ части лунного диаметра. Следовательно, в наибольшем расстоянии Луны АВ будет равна 56;24 шестидесятым⁹¹, а ее квадрат — 3180;58; тогда АГ будет равняться 48;34 шестидесятым, ибо она меньше АВ на $\frac{1}{4}$ часть лунного диаметра, т.е. для наибольшего расстояния на 7;50 шестидесятых, а ее квадрат равняется 2358;43 шестидесятым. Таким образом, для квадрата ВГ останется 822;15, а сама ВГ по длине будет равна 28;41 таким же шестидесятым. Это мы и поставим в первой из лунных таблиц на месте, соответствующем 3 пальцам в четвертом столбце; они дадут перемещение Луны во время погружения в тень, которое будет приблизительно таким же и при выходе из тени. В наименьшем расстоянии АВ будет равна 63;36 шестидесятым⁹², а ее квадрат — 4044;58, и АГ окажется равной 54;46 таким же шестидесятым. Действительно, 8;50 шестидесятых разницы представляют $\frac{1}{4}$ лунного диаметра в наименьшем расстоянии, и их квадрат будет 2999;23. Таким образом, для квадрата ВГ остается 1045;35, а сама ВГ будет по длине равняться 32;20 шестидесятым, что мы точно так же поставим в месте, соответствующем 3 пальцам в четвертом столбце второй из лунных таблиц.

509

Теперь для [случая] лунных затмений, когда Луна пребывает в тени Земли определенное время⁹³, возьмем в точке А [рис. 6.4] центр тени, а вместо дуги наклонной орбиты Луны возьмем прямую ВГΔΕΖ. Предположим, что точка В будет местом центра Луны, когда она при своем приближении начнет касаться извне тени, а Г — место центра Луны, когда последняя, затмившись полностью, будет касаться круга тени изнутри. Точка Е будет местом центра Луны, когда она при своем удалении начнет касаться тени изнутри, а Z будет местом центра Луны, когда она при своем выходе в последний раз извне коснется тени. Опять опустим из А на ВZ перпендикуляр АД. Если мы предположим, что выполняется все то, что было доказано выше, то будет ясно, что каждая из прямых АГ и АЕ будет представлять разность радиусов тени и Луны, так что перемещение ГΔ будет равняться ΔЕ, и

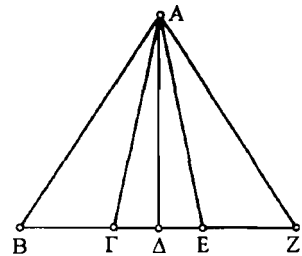


Рис. 6.4

каждое из них будет содержать половину времени пребывания Луны в тени, причем остаток ВГ будет соответствовать погружению, а EZ — выходу [из тени].

Предположим теперь [например], что затемнение соответствует 15 пальцам Луны, т.е. [имеет место ситуация] когда центр Луны [в момент средней фазы] будет внутри границ области затемнения на $1\frac{1}{4}$ лунный диаметр⁹⁴, т.е. когда АД будет меньше каждой из АВ и АЗ на упомянутый $1\frac{1}{4}$ лунный диаметр и меньше каждой из АГ и АЕ на $\frac{1}{4}$ лунного диаметра. Следовательно, если Луна находится на наибольшем расстоянии, то АВ будет равна упомянутому 56;24 шестидесятым⁹⁵, а ее квадрат — 3180;58, и АГ будет равна 25;4 шестидесятым, ибо диаметр Луны в наибольшем расстоянии составляет 31;20 шестидесятую, а ее квадрат — 628;20 шестидесятым. Точно так же АД будет равна 17;14 шестидесятым, а ее квадрат — 296;59. Таким образом, для квадрата на ВД останется 2883;59, и сама она по длине будет равняться 53;42 шестидесятым; для квадрата же ГД останется 331;21, и сама она по длине будет равна 18;12 шестидесятым, а разность ВГ равна 35;30 таким же шестидесятым. Теперь для числа 15 пальцев первой таблицы лунных затмений в четвертом столбце мы поместим число 35;30 шестидесятых погружения, которые будут также равны и шестидесятым выхода, а в пятом для половины продолжительности пребывания в тени — 18;12 шестидесятых. Если же Луна находится на наименьшем расстоянии, то АВ будет опять равна вышеупомянутому 63;36 шестидесятым⁹⁶, квадрат на ней — 4044;58, и АГ равна 28;16 таким же шестидесятым (ибо диаметр Луны на наименьшем расстоянии равняется, как показано, 35;20 шестидесятым), и ее квадрат — 799;0; точно так же АД будет равна 19;26⁹⁷, а ее квадрат — 377;39. Следовательно, для квадрата на ВД останется 3667;19, и сама ВД будет равна по длине 60;34 таким же шестидесятым; для квадрата на ГД останется 421;21, а длина ее будет равна 20;32 шестидесятым, разность же ВГ равна 40;2 шестидесятым. Таким образом, во второй таблице лунных затмений для числа 15 пальцев, мы поместим в четвертом столбце для погружения 40;2 шестидесятых, которые также будут соответствовать и выходу [из тени], а в пятом столбце для половины пребывания [в полной фазе] — 20;32 шестидесятых.

Чтобы для положений Луны на эпицикле в наибольших и наименьших расстояниях иметь в готовности соответствующие доли полной разности, выраженные в шестидесятых, мы присоединим к приведенным таблицам еще одну небольшую таблицу, содержащую числовые величины для положений Луны на эпицикле и соответствующие каждому шестидесятые доли видимых разностей из первых и вторых таблиц затмений. Числа этих шестидесятых, полученные по приведенной выше параллактической таблице Луны, помещены в седьмом столбце; предполагается, что эпицикл во время сизигиев находится в апогее эксцентра⁹⁸.

Так как большая часть предсказателей по затмениям измеряют величину затемнения не по диаметрам дисков, но в целом по видимым их площадям, сравнивая видимую и невидимую части светила, мы добавили к вышеупомянутой еще небольшую таблицу в 12 строк и 3 столбца. В первом из них мы разместили 12 пальцев так, что каждый палец соответствует $\frac{1}{12}$ части диаметра каждого из светил, как и в самих таблицах затмений; в

следующих же столбцах мы поместили соответствующие им двенадцатые части полных площадей — во втором для Солнца, а в третьем для Луны. Мы вычислили эти добавки только для тех величин, которые получаются в среднем расстоянии Луны, так как для таких незначительных увеличений и уменьшений диаметра получается всегда приблизительно одно и то же соотношение. В качестве отношения окружности к диаметру мы взяли

513 величину $3;8,30$ к 1 , поскольку эта величина находится приблизительно в промежутке между отношениями $3\frac{1}{4}$ и $3\frac{10}{71}$, которыми для наибольшей простоты пользовался Архимед⁹⁹.

Пусть сначала для солнечных затмений $AB\Gamma\Delta$ [рис. 6.5] будет представлять солнечный диск с центром в E , а $AZ\Gamma H$ — соответствующий среднему расстоянию диск Луны с центром в Θ ,

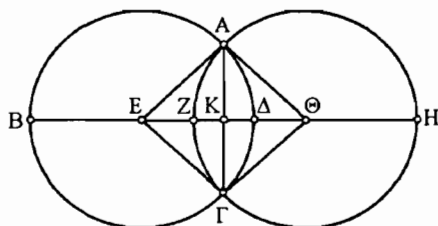


Рис. 6.5

пересекающий окружность солнечного диска в точках A и Γ . Проведя соединительную прямую $BE\Theta H$, предположим, что затмилась $\frac{1}{4}$ часть солнечного диаметра, так что линия $Z\Delta$ равняется 3 таким частям, каких в диаметре BD содержится 12, а в диаметре ZH Луны — приблизительно

514 $12;20$ таких же частей, согласно отношению $15;40$ к $16;40$ ¹⁰⁰; вследствие этого $E\Theta$ окажется равной $9;10$ таким же частям¹⁰¹. Следовательно, согласно отношению 1 к $3;8,30$ мы получим окружности солнечного диска $37;42$ частей, а лунного — $38;46$ таких же частей. Точно так же, поскольку радиус, помноженный на окружность, дает удвоенную площадь круга, мы получим для площади солнечного диска $113;6$, а для лунного — $119;32$ таких же частей.

Установив это, поставим задачу определить, какую величину имеет ограниченная линией $A\Delta\Gamma Z$ площадь, если всю площадь солнечного диска будем считать равной 12.

Проведем соединительные прямые AE и $A\Theta$, затем ΓE и $\Gamma\Theta$ и еще перпендикуляр $AK\Gamma$.

Если прямая $E\Theta$ равна $9;10$ частям, каких в AE и $E\Gamma$ предполагается 6, а в $A\Theta$ и $\Theta\Gamma$ — по $6;10$, и угол при K прямой, то, разделив на $E\Theta$ разность квадратов на $A\Theta$ и AE , т.е. $2;2$, получим разность между EK и $K\Theta$, равную $13\frac{1}{3}$ шестидесятым¹⁰². Таким образом, EK получается равной $4;28$, а $K\Theta$ — $4;42$ таким же частям. Вследствие этого каждая из AK и $K\Gamma$, ибо они равны, будет приблизительно равняться 4 таким же частям.

515 Далее будем иметь, что площадь треугольника AEG равняется $17;52$, а треугольника $A\Theta\Gamma$ — $18;48$. Затем, поскольку BD равен 12 частям, а ZH — таким же $12;20$, то $A\Gamma$ получится равной 8 частям. Если же диаметр BD принять за 120, то в $A\Gamma$ таких частей будет 80, если же за 120 принять диаметр ZH , то в $A\Gamma$ будет $77;50$ таких частей. Следовательно, из соответствующих им дуг $A\Delta\Gamma$ будет равна $83;37$ градусам, каких в окружности $AB\Gamma\Delta$ содержится 360, а $AZ\Gamma$ — $80;52$ градусам, каких в окружности $AZ\Gamma H$ будет 360. Таким образом, поскольку у окружностей к дугам будет такое же отношение, как у площадей кругов к площадям секторов на этих дугах, мы получили, что площадь сектора $AEG\Delta$ равна

26;16 частям, каких в круге АВГД по доказанному имеется 113;6, а площадь сектора АӨГZ равна 26;51 таким же частям, так как площадь круга AZГН равнялась 119;32 таким частям. Но было доказано, что площадь треугольника АЕГ равна 17;52 таким же частям, а площадь АӨГ — 18;48; следовательно, получающаяся при вычитании площадь сегмента АДГK будет у нас 8;24, а площадь AZГK — 8;3. Значит, вся площадь, ограниченная линией AZГД, будет равна 16;27 частям, каких в площади круга АВГД предполагалось 113;6. Таким образом, если площадь солнечного диска принять за 12, то в затмившейся части их будет приблизительно $1\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, что мы и поместим в упомянутую таблицу в строке для 3 пальцев во втором столбце. 516

Теперь для лунных затмений предположим, что на том же чертеже [рис. 6.5] АВГД будет диск Луны, а AZГН — круг тени в среднем расстоянии, и пусть точно так же затмится $\frac{1}{4}$ лунного диаметра. Таким образом, если диаметр ВД равен 12, то затмившаяся часть ZД будет равна 3. Пусть диаметр ZН тени по отношению 1 к 2;36 будет равен 31;12 таким же частям. Вследствие этого ЕKӨ получится равной 18;36. Следовательно, периметр лунного диска будет 37;42, а периметр тени — 98;1; площадь лунного диска будет 113;6, а площадь тени — 764;32. Так как и в этом случае, если прямая ЕӨ равна 18;36¹⁰³ и каждая из АЕ и ЕГ предполагается содержащей 6 таких же частей, а каждая из АӨ и ӨГ — по 15;36, то точно так же, разделив на ЕӨ разность квадратов ӨА и АЕ, получим разность ЕК и KӨ, равную 11;8 таким же частям¹⁰⁴. Таким образом, ЕК получается равной 3;44, а KӨ — 14;52 и вследствие этого каждая из АК и КГ будет равна 4;42. В соответствии с этим получим площадь треугольника АЕГ равной 17;33, а АӨГ — 69;52 таким же частям. Затем, если диаметр ВД равен 12, а ZН — 31;12, то АГ получится равной 9;24 таким же частям; если же диаметр ВД равен 120, то АГ будет равняться 94, а если диаметр ZН равен 120, то АГ будет иметь 36;9 таких частей. Следовательно, из соответствующих ей дуг АДГ будет равняться 103;8 градусам, каких в окружности АВГД содержится 360, а AZГ — 35;4 градусам, каких 360 будет в окружности AZГН. Таким образом, вследствие изложенного выше площадь сектора АЕГД получим равной 32;24 таким частям, каких в круге АВГД согласно показанному было 113;6, а площадь сектора АГӨZ будет равна 74;28 таким же частям, так как площадь круга AZГН равнялась 764;32 таким же частям. Но было доказано, что площадь треугольника АЕГ равнялась 17;33 таким же частям, а площадь АӨГ — таким же 69;52; значит, получающаяся в остатке площадь сегмента АДГK будет у нас 14;51, а площадь AZГK — 4;36. Следовательно, вся площадь, ограниченная дугами AZ, ГД, будет равна 19;27 частям, каких в круге АВГД предполагалось 113;6. Таким образом, если площадь лунного диска равна 12, то содержащаяся в затмившемся сегменте ее часть будет приблизительно $2\frac{1}{5}$, что мы и поставим в той же таблице в строке для 3 пальцев в третьем столбце, относящемся к Луне. И расположение этих таблиц будет таким¹⁰⁵. 518

519-522

8. Таблицы затмений

Солнечные затмения

Наибольшее расстояние				Наименьшее расстояние			
Аргумент широты		Пальцы	Шестидесятые доли погружения	Аргумент широты		Пальцы	Шестидесятые доли погружения
1	2	3	4	1	2	3	4
				83° 36'	276° 24'	0	0' 0"
84° 0'	276° 0'	0	0' 0"	84 6	275 54	1	12 57
84 30	275 30	1	12 32	84 36	275 24	2	17 54
85 0	275 0	2	17 19	85 6	274 54	3	21 28
85 30	274 30	3	20 43	85 36	274 24	4	24 14
86 0	274 0	4	23 27	86 6	273 54	5	26 27
86 30	273 30	5	25 38	86 36	273 24	6	28 16
87 0	273 0	6	27 8	87 6	272 54	7	29 45
87 30	272 30	7	28 29	87 36	272 24	8	30 55
88 0	272 0	8	29 32	88 6	271 54	9	31 51
88 30	271 30	9	30 20	88 36	271 24	10	32 33
89 0	271 0	10	30 54	89 6	270 54	11	33 1
89 30	270 30	11	31 13	89 36	270 24	12	33 16
90 0	270 0	12	31 20	90 0	270 0	12½	33 20
90 30	269 30	11	31 13	90 24	269 36	12	33 16
91 0	269 0	10	30 54	90 54	269 6	11	33 1
91 30	268 30	9	30 20	91 24	268 36	10	32 33
92 0	268 0	8	29 32	91 54	268 6	9	31 51
92 30	267 30	7	28 29	92 24	267 36	8	30 55
93 0	267 0	6	27 8	92 54	267 6	7	29 45
93 30	266 30	5	25 38	93 24	266 36	6	28 16
94 0	266 0	4	23 27	93 54	266 6	5	26 27
94 30	265 30	3	20 43	94 24	265 36	4	24 14
95 0	265 0	2	17 19	94 54	265 6	3	21 28
95 30	264 30	1	12 32	95 24	264 36	2	17 54
96 0	264 0	0	0 0	95 54	264 6	1	12 57
				96 24	263 36	0	0 0

2 0

Лунные затмения

Наибольшее расстояние					Наименьшее расстояние				
Аргумент широты		Пальцы	Доли погружения	Половина пребывания	Аргумент широты		Пальцы	Доли погружения	Половина пребывания
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
79° 12'	280° 48'	0	0' 0"		77° 48'	282° 12'	0	0' 0"	
79 42	280 18	1	16 59		78 22	281 38	1	19 9	
80 12	279 48	2	23 43		78 56	281 4	2	26 45	
80 42	279 18	3	28 41		79 30	280 30	3	32 20	
81 12	278 48	4	32 42		804	279 56	4	36 53	
81 42	278 18	5	36 6		80 38	279 22	5	40 42	
82 12	277 48	6	39 1		81 12	278 48	6	43 59	
82 42	277 18	7	41 34		81 46	278 14	7	46 53	
83 12	276 48	8	43 50		82 20	277 40	8	49 25	
83 42	276 18	9	45 48		82 54	277 6	9	51 40	
84 12	275 48	10	47 35		83 28	276 32	10	53 39	
84 42	275 18	11	49 9		842	275 58	11	55 25	
85 12	274 48	12	50 31		84 36	275 24	12	56 59	
85 42	274 18	13	40 35	11' 9"	85 10	274 50	13	45 47	12' 34"
86 12	273 48	14	37 28	15 20	85 44	274 16	14	42 15	17 17
86 42	273 18	15	35 30	18 12	86 18	273 42	15	40 2	20 32
87 12	272 48	16	34 6	20 22	86 52	273 8	16	38 28	22 58
87 42	272 18	17	33 7	22 0	87 26	272 34	17	37 20	24 49
88 12	271 48	18	32 23	23 14	880	272 0	18	36 37	26 1
88 42	271 18	19	31 51	24 8	88 34	271 26	19	35 55	27 13
89 12	270 48	20	31 32	24 43	898	270 52	20	35 34	27 52
89 42	270 18	21	31 22	25 1	89 42	270 18	21	35 22	28 12
90 0	270 0	Полное	31 20	25 4	900	270 0	Полное	35 20	28 16
90 18	269 42	21	31 22	25 1	90 18	269 42	21	35 22	28 12
90 48	269 12	20	31 32	24 43	90 52	269 8	20	35 34	27 52
91 18	268 42	19	31 51	24 8	91 26	268 34	19	35 55	27 13
91 48	268 12	18	32 23	23 14	920	268 0	18	36 37	26 1
92 18	267 42	17	33 7	22 0	92 34	267 26	17	37 20	24 49
92 48	267 12	16	34 6	20 22	938	266 52	16	38 28	22 58
93 18	266 42	15	35 30	18 12	93 42	266 18	15	40 2	20 32
93 48	266 12	14	37 28	15 20	94 16	265 44	14	42 15	17 17
94 18	265 42	13	40 35	11 9	94 50	265 10	13	45 47	12 34
94 48	265 12	12	50 31		95 24	264 36	12	56 59	
95 18	264 42	11	49 9		95 58	264 2	11	55 25	
95 48	264 12	10	47 35		96 32	263 28	10	53 39	
96 18	263 42	9	45 48		976	262 54	9	51 40	
96 48	263 12	8	43 50		97 40	262 20	8	49 25	
97 18	262 42	7	41 34		98 14	261 46	7	46 53	
97 48	262 12	6	39 1		98 48	261 12	6	43 59	
98 18	261 42	5	36 6		99 22	260 38	5	40 42	
98 48	261 12	4	32 42		99 56	260 4	4	36 53	
99 18	260 42	3	28 41		100 30	259 30	3	32 20	
99 48	260 12	2	23 43		1014	258 56	2	26 45	
100 18	259 42	1	16 59		101 38	258 22	1	19 9	
100 48	259 12	0	0 0		102 12	257 48	0	0 0	

Таблица поправок

Аномалия	Аномалия	Шестидесятые доли	Аномалия	Аномалия	Шестидесятые доли
1	2	3	1	2	3
6°	354°	0' 21"	96°	264°	31' 48"
12	348	0 42	102	258	34 54
18	342	1 42	108	252	38 0
24	336	2 42	114	246	41 0
30	330	4 1	120	240	44 0
36	324	5 21	126	234	46 45
42	318	7 18	132	228	49 30
48	312	9 15	138	222	51 39
54	306	11 37	144	216	53 48
60	300	14 0	150	210	55 32
66	294	16 48	156	204	57 15
72	288	19 36	162	198	58 18
78	282	22 36	168	192	59 21
84	276	25 36	174	186	59 41
90	270	28 42	180	180	60 0

Таблица площадей
затемненных частей Солнца и Луны

Пальцы [линейные]	Пальцы [площади] Солнца	Пальцы [площади] Луны
1	0 1/3	0 1/2
2	1	1 1/6
3	1 1/2 1/4	2 1/15
4	2 2/3	3 1/6
5	3 2/3	4 1/3
6	4 2/3	5 1/2
7	5 1/2 1/3	6 1/2 1/4
8	7	8
9	8 1/3	9 1/6
10	9 2/3	10 1/3
11	10 1/2 1/3	11 1/3
12	12	12

9. Вычисление лунных затмений

Итак, на основании всего изложенного выше вычисление лунных затмений мы будем производить следующим образом. Взяв для исследуемого полнолуния получившиеся по александрийскому времени для момента среднего полнолуния число градусов так называемой аномалии от апогея эписикла, а также число градусов [аргумента] широты от северного предела вместе с поправкой от простафереза, мы сначала внесем в таблицы лунных затмений число, получающееся для [аргумента] широты. Если оно совпадет с числами двух первых столбцов, то числа, соответствующие этому [аргументу] широты в каждой из таблиц как в столбце положений, так и

в столбце пальцев, запишем каждое в отдельности. Затем, внося число аномалии в таблицу поправок, мы для записанных в двух первых таблицах чисел пальцев и минут возьмем столько шестидесятих долей их разности, сколько их соответствует рассматриваемым числам, и прибавим их к числам, взятым из первой таблицы. Если, однако, получится так, что полученное число для [аргумента] широты попадает только во вторую таблицу, то мы 524 запишем искомые шестидесяти доли пальцев и градусов, находящиеся только в ней одной. И сколько пальцев мы получим после этого исправления, на столько двенадцатых долей лунного диаметра, мы скажем, и будет затемнена Луна в среднюю фазу затмения. К полученным согласно этому исправлению шестидесятым долям мы будем всегда прибавлять их $\frac{1}{12}$ часть для учета движения Солнца за это время. Разделив указанную величину на соответствующее данному времени среднее часовое неравномерное движение Луны, мы получим после деления числа равноденственных часов, соответствующие каждой фазе затмения, а именно из четвертого столбца берем время погружения в тень и выхода из нее, а из пятого — половину времени пребывания в тени¹⁰⁶. Время вступления в тень и полного из нее выхода для начала и конца затмения могут быть сейчас же определены при помощи прибавления или вычитания каждого из найденных чисел к середине промежутка времени пребывания в тени, т.е. приблизительно времени истинного полнолуния¹⁰⁷. Внося [полученные] отсюда двенадцатые доли диаметра [характеризующие величины затмений] в стоящую последней маленькую таблицу, мы найдем по числам третьего столбца [а для солнечных затмений — по числам второго] двенадцатые доли всех площадей.

Теперь здравый смысл подсказывает, что не всегда время, прошедшее 525 от начала затмения до средней фазы, будет равным времени от средней фазы до конца затмения вследствие неодинаковости скоростей Солнца и Луны на одинаковых перемещениях, так как последние могут совершаться в неравные промежутки времени. Однако мы не получим никакой существенной разницы в наблюдаемых явлениях, если не будем предполагать эти промежутки неравными, так как если даже мы возьмем их в местах со средним движением, где разницы скоростей являются наибольшими, то перемещения за время, которое длится затмение, вообще не производят никакого существенного различия в получаемой разности.

Поэтому мы считаем, что Гиппарх, наверное, ошибся, определяя период изменения широты Луны, так как приращение [аргумента широты] между [двумя] затмениями получилось по его определению меньше, тогда как по нашим вычислениям оно оказывается большим¹⁰⁸.

Действительно, для определения этого времени он взял два лунных затмения, разделенных промежутком в 7160 [синодических] месяцев, в которых оказалась затмившейся $\frac{1}{4}$ часть лунного диаметра, когда Луна находилась в одинаковом положении относительно восходящего узла. Первое из них наблюдалось во 2 году Мардокемпада, а второе в 37 году третьего периода Калиппа¹⁰⁹. Для определения времени возвращения он пользуется тем, что в обоих затмениях положение по широте было точно одним и тем же, так как первое затмение имело место при нахождении Луны в апогее эпицикла, а второе — в перигее; вследствие этого, как он полагал, не было никакой разницы от аномалии. В этом он ошибся прежде всего потому, что аномалия произвела некоторую существенную разницу из-за того, что равномерные движения в обоих этих затмениях оказываются не 526

на одинаковую величину большими истинных, но в первом приблизительно на 1 градус, во втором же на $\frac{1}{8}$ часть одного градуса¹¹⁰. Таким образом, движение по широте отстает от полного периода восстановления на $\frac{1}{2} \frac{1}{4} \frac{1}{8}$ такого градуса, каких в наклонной орбите Луны содержится 360.

Далее, он не учел разницу, происходящую в величинах затмений вследствие расстояний Луны, а она в этих затмениях была наибольшей, так как первое затмение произошло на наибольшем расстоянии Луны, а второе — на наименьшем; а ведь необходимо, чтобы затмение на одну и ту же $\frac{1}{4}$ диаметра происходило для первого затмения на меньшем расстоянии от восходящего узла, а для второго — на большем. Соответствующая разница, как мы показали, составляет $1\frac{1}{5}$ градус¹¹¹. Таким образом, в данном случае на эту величину дополняется период изменения широты после исключения целых оборотов. А при такой неточности период восстановления широты отличался бы от истинного приблизительно на 2 градуса, получившиеся от сложения обеих погрешностей, если бы эти погрешности обе складывались или вычитались. Поскольку же одна случайно укорачивает, а другая удлиняет время возвращения (о чем, вероятно, догадывался уже Гиппарх), то так получилось, что полученное им значение [движения по широте] превосходит [точное] значение только на величину разности [двух] погрешностей, а именно на $\frac{1}{3}$ градуса¹¹².

10. Вычисление солнечных затмений

Вычисление лунных затмений будет, пожалуй, точным, если мы будем строго придерживаться изложенным методам расчета. Далее мы рассмотрим вычисление солнечных затмений, являющееся более затруднительным вследствие лунных параллакс.

Определив для Александрии время истинного новолуния, а именно число равноденственных часов до или после полудня в момент его наступления, мы, если рассматриваемая местность находилась в другом климате, т.е. если она не находилась на меридиане, проходившем через Александрию, после этого прибавляем или вычитаем разность долгот между обоими меридианами в равноденственных часах. Определив, на сколько равноденственных часов раньше или позже будет время истинного новолуния для этой местности, мы прежде всего находим время видимого новолуния в рассматриваемом климате, приблизительно совпадающее со средней фазой затмения. При этом мы пользуемся изложенным нами выше методом для параллакс. Из таблиц углов и параллакс¹¹³ для соответствующего климата и расстояния в часах от меридиана, а также для соответствующей части зодиака, в которой происходит новолуние, и, кроме того, для расстояния Луны берем получающиеся параллаксы сначала по большому кругу, проходящему через полюс горизонта и центр Луны. Отнимая от него всегда солнечный параллакс, находящийся в той же строке, мы по остатку определяем, как было показано, при помощи найденного угла в сечении зодиака с большим кругом, проведенным через полюс горизонта, тот параллакс, который получается для одной только долготы. К нему мы прибавляем всегда приходящуюся на выраженный в равноденственных часах соответствующий промежуток времени разность дополнительных параллакс, т.е. содержащуюся в той же самой таблице разность двух параллакс; один из них соответствует первоначальному расстоянию от полюса горизонта, а другой —

расстоянию, получающемуся с учетом прошедших равноденственных часов. Мы берем долготную составляющую этой разности плюс дополнительную величину (если она значительна), которая составляет такую же дробь от последней, какую последняя образует от исходного [долготного] параллакса¹¹⁴. К полученным таким образом долям всего параллакса по долготе мы опять прибавляем по $\frac{1}{12}$ их части для учета движения Солнца; затем полученную сумму выражаем в равноденственных часах, разделив их на часовое перемещение Луны в неравномерном движении в окрестности места новолуния. Если параллаксы по долготе пойдут в направлении последовательности знаков зодиака (ранее мы показали, как это можно определить)¹¹⁵, то выраженные в равноденственных часах эти градусы мы отнимаем от найденных ранее градусов положения Луны во время истинного новолуния, делая это отдельно для долготы, широты и аномалии; так мы получим для времени видимого новолуния истинные положения Луны. Эти самые часы дадут нам время, на которое видимое новолуние произойдет ранее истинного.

Если же параллаксы по долготе окажутся против последовательности знаков зодиака, то упомянутые доли мы, наоборот, прибавим к определенным ранее для истинного времени новолуния положениям как по долготе, так и по широте, и аномалии; мы получим время в часах, на которое видимое новолуние будет позднее истинного. Затем в соответствии с выраженным в равноденственных часах расстоянием видимого новолуния от меридиана теми же самыми методами исследуем сначала, на какую величину Луна параллактически отклоняется по большому кругу, проведенному через нее и полюс горизонта. Отняв от найденного [значения] соответствующий этому числу [аргумента] параллаксы Солнца, мы по остатку при помощи угла в сечении упомянутых кругов определим параллаксы по широте [т.е. параллаксы] по перпендикулярному к зодиаку кругу и, переводя полученные после сложения доли в отрезки наклонной орбиты, т.е. умножая их на 12 ¹¹⁶, полученные градусы прибавим к определенному ранее для времени видимого новолуния положению по [аргументу] широты, если параллаксы по широте будут к северу от круга через середины знаков и Луна находится в восходящем узле; если же Луна будет в нисходящем [узле], то подобным же образом вычтем. Если же параллаксы по широте будут к югу от круга через середины знаков, то, наоборот, при нахождении Луны в восходящем узле отнимаем полученные градусы параллакса от ранее определенных градусов [аргумента] широты для времени видимого новолуния; если же Луна будет в нисходящем узле, то точно так же прибавляем. И таким образом мы получим для времени видимого новолуния значение видимого [аргумента] широты. С этим значением входим в таблицы солнечных затмений, и если оно попадает в область, определяемую числами двух первых столбцов, то мы скажем, что произойдет затмение Солнца, средняя фаза которого приблизительно совпадет с видимым новолунием. Установив теперь соответствующие этому аргументу широты числа пальцев и долей погружения в тень и выхода из нее отдельно из каждой таблицы, внесем числовую величину аномалии Луны от апогея в видимом новолунии в таблицу поправок и, если в ней имеются соответствующие шестидесятые, возьмем их число от каждой разности написанных выше чисел и будем их всегда прибавлять к числам, взятым из первой таблицы. Число пальцев, полученных после этого исправления, покажет нам, сколько двенадцатых частей солнечного диаметра затмится приблизительно в середине времени затмения. Затем, прибавив к градусам каждого положения их $\frac{1}{12}$ части

для учета движения Солнца и переведа последние в равноденственные часы в соответствии с неравномерным движением Луны, получим продолжительности погружения в тень и выхода из нее в предположении, однако, что в соответствующее время не возникнет никакой разницы в параллаксах¹¹⁷.

Но для этих промежутков заметное неравенство получается из-за параллаксов Луны, а не из-за аномалий обоих светил¹¹⁸. Поэтому каждый из упомянутых промежутков [погружения в тень и выхода из нее] в отдельности будет всегда больше, чем величина, определенная вышеописанным методом, и в общем [они будут] не равными друг другу. Мы не обойдем этот вопрос молчанием, даже если разность и окажется незначительной. Это явление возникает из-за того, что в видимом движении Луны из-за параллаксов всегда получаются как бы некоторые попятные движения, как если бы Луна не совсем по-настоящему двигалась в направлении последовательности знаков. Действительно, если мы видим ее движущейся по направлению к меридиану, то она понемногу поднимается и дает все меньшие и меньшие параллактические смещения к востоку; вследствие этого она кажется нам движущейся медленнее в направлении последовательности знаков. Если же она идет от меридиана и понемногу опускается и дает все более и более значительный параллакс к западу, то она точно так же кажется нам движущейся медленнее в направлении последовательности знаков. Вследствие этого вышеупомянутые времена в действительности будут всегда больше вычисленных таким простым способом; и так как разности последовательных параллаксов увеличиваются при приближении к меридиану, то необходимо, чтобы вблизи меридиана продолжительность затмений были несколько большими. По этой причине, если средняя фаза затмения придется на полдень, то только тогда окажутся приблизительно равными времена погружения в тень и выхода из нее, так как с обеих сторон кажущиеся движения против последовательности знаков окажутся приблизительно равными. Если же средняя фаза будет до полудня, то тогда время выхода из тени будет несколько больше, так как это происходит в большей близости к меридиану; если же она будет после полудня, то из-за большей близости к меридиану будет большим время погружения в тень.

Чтобы учесть и это исправление промежутков времени, определим [сначала] указанным выше способом неуточненную длину каждого из рассматриваемых промежутков и расстояние от полюса горизонта в середине промежутка времени затмения.

Пусть, например, каждый из рассматриваемых промежутков времени будет равен 1 равноденственному часу, а расстояние от полюса горизонта составляет 75 градусов. В параллактической таблице¹¹⁹ находим число шестидесятих долей параллакса, соответствующее [значению аргумента] 75 градусов; если, например, Луна находится в наибольшем расстоянии, то для него соответствующие числа стоят в третьем столбце. Мы нашли, что 75 градусам соответствуют 52 шестидесятые. Так как каждый средненаблюдаемый промежуток времени погружения в тень и выхода из нее предполагается равным 1 равноденственному часу, или 15 градусам часового угла, то, отняв последние от 75 градусов расстояния, определяем для полученных в остатке 60 градусов соответствующие шестидесятые параллакса, а именно 47 в том же третьем столбце, так что в среднем движении к меридиану приближение вследствие параллаксов составит 5 шестидесятих. Прибавив же эти 15 градусов к 75, мы получим для 90 градусов суммы в

том же самом столбце $53\frac{1}{2}$ шестидесятых полного параллакса, так что в этом случае при движении светила к горизонту получающееся [из-за параллакса] приближение составит $1\frac{1}{2}$ шестидесятую. Теперь, взяв для данных разностей соответствующие прибавки для долготы и переведа их, как показано, в доли равноденственного часа для неравномерного движения Луны, величины, полученные для каждой, прибавляем соответствующим образом к обоим средним определенным простым методом интервалам погружения в тень и выхода из нее, а именно большую величину — ко времени перемещения, более близкого к меридиану, а меньшую — ко времени перемещения, более близкого к горизонту. Ясно, что для рассматриваемых промежутков времени разница составляет $3\frac{1}{2}$ шестидесятых, т.е. приблизительно $\frac{1}{9}$ часть одного равноденственного часа; за это время Луна в среднем движении продвинется на такое же количество шестидесятых¹²⁰. После этого остается лишь, если желаем, для удобства перевести для каждого расстояния равноденственные часы в местное время согласно указанному нами ранее методу¹²¹.

11. Об углах «наклонений» в затмениях¹²²

Теперь следует рассмотреть получающиеся в затмениях направления; они складываются, во-первых, из направления затмившейся части [светила] по отношению к кругу через середины знаков и, во-вторых, из направления самого этого круга по отношению к горизонту¹²³.

Если бы кто-нибудь захотел рассмотреть все направления, получающиеся в течение затмения в целом, то это не оказалось бы необходимым или просто полезным для предсказаний вследствие необычайно большой и необъятной переменчивости положений для каждой фазы затмения. Действительно, положение зодиака по отношению к горизонту определяется по местам на горизонте его восходящих и заходящих знаков. За время затмения восходящие и заходящие созвездия с необходимостью будут непрерывно изменяться, равно как и места их пересечений с горизонтом. Точно так же, если направления затемнений по отношению к кругу через середины знаков определять по большому кругу, проходящему через оба центра — Луны и Солнца или Луны и тени, — то опять вследствие перемещения центра Луны во время затмения большой круг, проходящий через оба эти центра, с необходимостью будет всегда занимать непрерывно изменяющиеся положения по отношению к зодиаку и образовывать с последним непрерывно изменяющиеся углы. Следовательно, вполне достаточно будет произвести это исследование только для таких точек на протяжении затмения, которые имеют какое-либо предзнаменование значение, отмечая приближенно наблюдающиеся на горизонте дуги. Это можно сделать непосредственно, на глаз, отмечая получающиеся состояния при рассмотрении обоих упомянутых направлений [в затмении и по отношению к горизонту] для наиболее важных положений, поскольку, как мы сказали, в таком деле достаточно приближенная оценка. Вместе с тем, чтобы не пропустить совершенно эту тему, мы попытаемся привести наиболее удобные [математические] методы и для этого исследования¹²⁴.

Что касается затмений, то для предзнаменований мы считаем также необходимым отмечать [следующие положения]: место первой фазы затемнения — начало всего времени затмения; затем место последней фазы затемнения, что соответствует началу пребывания в тени; и место фазы

наибольшего затемнения, что соответствует середине промежутка времени всего затмения, если оно не является полным¹²⁵; место первой фазы освещения, что происходит в конце всего времени пребывания в тени; место последней фазы освещения, что происходит в конце всего времени затмения¹²⁶. Затем из направлений [по отношению к горизонту] мы считаем наиболее очевидными и самыми важными те, которые определяются меридианом, местами восхода и захода точек на круге через середины знаков в дни равноденствий и солнцеворотов, летнего и зимнего. Если же говорить о началах направлений различных ветров, то хотя они многими часто называются по-разному, но при желании их тоже можно обозначить

538 при помощи соответствующих углов на горизонте¹²⁷. Что же касается сечений меридиана с горизонтом, то северное мы называем арктическим, а южное — полуденным. Те из точек восхода и захода, которые определяются началами Овна и Клешией, всегда находятся на горизонте на расстоянии четверти окружности от меридиана и называются точками равноденственных восхода и захода; определяемые началом Рака называются точками летнего восхода и захода; определяемые началом Козерога называются точками зимнего восхода или захода. Расстояния указанных [четырех] точек [от пересечения с меридианом] меняются в зависимости от широты; наклонения достаточно характеризуются, если указать, что они совпадают с одним из выделенных направлений или находятся между двумя какими-нибудь из них.

Для определения положения зодиака относительно горизонта мы согласно указанному в первых книгах этого сочинения способу¹²⁸ вычислим получающиеся на горизонте расстояния точек восхода и захода начал каждого из 12 делений зодиака по отношению к точкам пересечения меридиана с горизонтом. Это мы сделали для каждого климата, начиная от Мероэ и кончая Борисфеном. Для них мы определили также и углы¹²⁹ и для наглядности вместо таблицы начертили 8 кругов около одного и того же центра [рис. 6.7], которые нужно представлять расположенными в плоскости горизонта; между ними содержатся расстояния и названия для 539 7 климатов. Затем через все эти круги мы провели две взаимно перпендикулярные прямые, из которых одна, горизонтальная, представляет общее сечение горизонта и равноденственного круга, а другая, вертикальная, — общее сечение горизонта и меридиана; на находящихся вне круга концах горизонтальной прямой мы написали «равноденственные восход и заход», а на концах вертикальной — «север» и «юг». Точно так же с обеих сторон равноденственной прямой на разных от нее расстояниях мы провели через все круги [четыре] прямые линии и в находящихся между кругами 7 промежутках написали для каждого климата расстояние по горизонту тропических точек от равноденственной¹³⁰, считая, что четверть круга соответствует 90 градусам. По внутренним концам этих линий мы написали для южных «зимний восход и заход», а для северных — «летний восход и заход». Для промежуточных двенадцатых долей зодиака мы поместили в каждом из четырех промежутков две другие линии, и на них записали соответствующие этим долям расстояния по горизонту от равноденственного круга, поместив название каждого знака на наружном круге. На 540 меридианной линии мы записали названия параллелей, соответствующие им величины [самого длинного дня] в часах, а также высоты полюса, начав

запись с наибольшего и наиболее удаленного от центра круга с более северных данных¹³¹.

Чтобы иметь в табличном виде видимые направления затемнений относительно круга через середины знаков, т.е. углы, получающиеся для каждой отмеченной точки в пересечениях зодиака с большим кругом, проведенным через названные точки, мы также вычислили и их для каждого положения Луны с промежутками в 1 палец затемнения, ограничиваясь только (что вполне достаточно) лишь положениями при среднем расстоянии Луны и считая в затмениях приблизительно параллельными дуги круга через середины знаков и наклонной орбиты Луны¹³².

Пусть опять для примера прямая АВ [рис. 6.6] будет заменяющей дугу круга через середины знаков, на которой в точке А предполагается находящимся центр Солнца или тени, а ГДЕ будет прямой, заменяющей наклонную орбиту Луны. Пусть Г будет точкой, в которой находится центр Луны в середине затмения, а Д — местом нахождения этого центра, когда

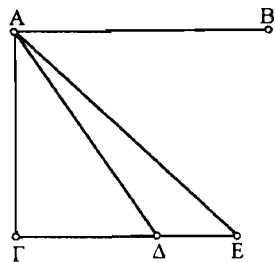


Рис. 6.6

вся Луна или только что затмилась целиком или только что начала освещаться, иными словами, это будет точка, в которой она касается изнутри круга тени. Далее, Е будет точкой, в которой находится центр Луны, когда она только что начала затмеваться или, наоборот, закончила прибавляться в свете, т.е. когда упомянутые круги будут касаться извне. Затем проведем соединительные линии АГ, АД и АЕ.

Ясно, что углы ВАГ и АГЕ, соответствующие середине времени затмения, будут для наблюдателя прямыми, угол ВАЕ представляет угол, образуемый в начале затемнения или в конце выхода из тени, а

угол ВАД — образуемый в конце [полного] затемнения или в начале выхода из тени. Отсюда ясно, что АЕ представляет сумму радиусов обоих кругов, а АД — их разность.

Возьмем для примера затмение, в котором затемняется $\frac{1}{2}$ солнечного диаметра в момент середины затмения. Пусть А будет центром Солнца, так что АЕ всегда для среднего расстояния Луны будет равняться 32;20 частям¹³³, а АГ — оставшаяся половина солнечного диаметра — 16;40 частям¹³⁴. Так как гипотенуза ЕА равна 32;20, то АГ по принятой величине затемнения будет равна 16;40; следовательно, если гипотенузу ЕА принять за 120, то АГ будет равна 61;51, и построенная на ней дуга будет равняться 62;2 градусам, каких описанный около прямоугольного треугольника АГЕ круг содержит 360. Таким образом, угол АЕГ или ВАЕ будет равняться 62;2 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 31;1 градусу, каких 360 будет в четырех прямых углах.

Далее, что касается лунных затмений, то пусть А будет центром тени. Поскольку мы предположили, как и ранее, что Луна находится на среднем расстоянии, прямая АЕ будет всегда равна 60 частям, а АД — таким же 26;40¹³⁴. И пусть Луна затмевается в положении, соответствующем 18 пальцам, так что АГ меньше АД на $\frac{1}{2}$ диаметра [Луны] и в остатке [при вычитании] получается 10;0 таких же частей¹³⁵.

Теперь, если гипотенуза АЕ содержит 120 частей, то в АГ таких частей будет 20;0, а соответствующая ей дуга будет иметь 19;12 градусов, каких

543 в описанной около прямоугольного треугольника АГЕ окружности содержится 360. Тогда угол АЕГ или ВАЕ будет иметь 19;12 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360, или 9;36, каких 360 будет в четырех прямых углах. Точно так же, если гипотенуза АД равна 120, то АГ будет равняться 45, а соответствующая ей дуга 44;2 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника АГД окружности содержится 360. Тогда угол АДГ, т.е. ВАД, равнялся бы 44;2 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 22;1 таким, каких 360 содержится в четырех прямых углах.

Поступая таким же образом и в случае другого количества пальцев и беря значения углов, меньших прямого, полагая последний равным 90 градусам, как считается для квадранта окружности горизонта, мы составили таблицу из 22 строк и 4 столбцов. Первый из них содержит искомые числа пальцев затемнения лунного диаметра в средней фазе затмения; второй содержит получающиеся в солнечных затмениях углы в начале затмения или конце освещения; третий — углы, получающиеся в лунных затмениях в начале затемнения и конце освещения; четвертый же — углы, получающиеся тоже при лунных затмениях в конце затемнения и начале освещения. Эта таблица, а также вышеупомянутые круги таковы¹³⁶.

544 12. Таблица «наклонений» затмений¹³⁷

Пальцы	Начало затмения Солнца и конец выхода из тени	Начало затмения Луны и конец выхода из тени	Конец частной фазы затмения [Луны] и начало выхода из тени
1	2	3	4
0	90° 0'	90° 0'	
1	66 50	72 30	
2	56 59	65 10	
3	49 16	59 27	
4	42 36	54 34	
5	36 35	50 14	
6	31 1	46 15	
7	25 46	42 31	
8	20 44	39 2	
9	15 51	35 42	
10	11 6	32 29	
11	6 25	29 23	
12	1 47	26 23	90° 0'
13		23 28	63 37
14		20 36	52 21
15		17 48	43 26
16		15 1	35 41
17		12 18	28 38
18		9 36	22 1
19		6 55	15 43
20		4 15	9 36
21		1 36	3 35

13. Определение «наклонений»

Если мы вычислили указанным выше способом времени упомянутых фаз, а по временам, конечно, восходящие и заходящие части круга через середины знаков, то по диаграмме [рис. 6.7] мы можем определить их положения относительно горизонта¹³⁸. Если центр Луны (видимый центр при солнечных затмениях и истинный центр при лунных затмениях)

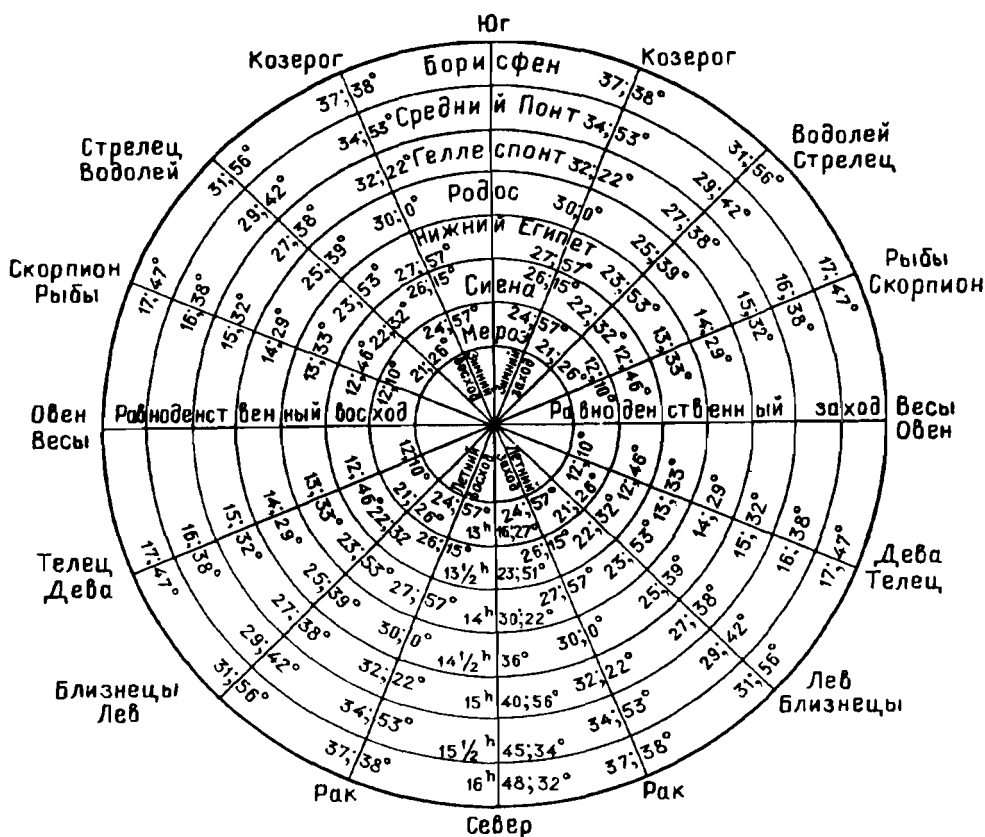


Рис. 6.7

находится на самом круге через середины знаков, то «наклонение» в начальной фазе затмения Солнца [1] и в конце частной фазы, и в конце выхода из тени Луны [2, 5] мы определим по положению на горизонте заходящего в то время знака зодиака; «наклонение» же в конце затемнения Солнца [5] или в начале затемнения и выхода из тени Луны [1, 4] мы определяем по положению восходящего знака зодиака¹³⁹. Если же центр Луны не находится на круге через середины знаков, то, взяв из таблицы величины углов, соответствующие указанному числу пальцев, приложим их

к градусам общего сечения горизонта и круга через середины знаков¹⁴⁰. Если центр Луны будет севернее последнего, то мы отложим угол $[\sigma]$ к северу от заходящей точки [зодиакального круга] для начала затемнения Солнца [1] и конца погружения в тень Луны [2]; для окончания же прибавления света у Солнца [5] и начала [прибавления света] у Луны [4] мы откладываем его к северу от восходящей точки; для начала затемнения Луны [1] мы отложим его к югу от восходящей точки, а для конца прибавления света [5] — к югу от заходящей точки¹⁴¹. Если центр Луны будет южнее круга через середины знаков, то для начала затемнения Солнца [1] и для конца погружения в тень Луны [2] мы отложим его к югу от заходящей точки, а для конца прибавления света Солнца [5] и начала прибавления света Луны [4] — к югу от восходящей точки; для начала же затемнения Луны [1] — к северу от восходящей точки, а для конца прибавления света Луны [5] — к северу от заходящей точки. При помощи этой процедуры получаем точку на линии горизонта, по отношению к которой (говоря грубо, как мы сказали) наклонны те точки светил, которые образуют [астрологически] значащие моменты фаз, а именно начало и конец затмения и полной фазы.

Книга VII

1. О том, что неподвижные звезды всегда сохраняют одно и то же положение по отношению друг к другу

2

Изложив, о Сир, в предыдущих книгах все, что касается прямой и наклонной сфер, а также предположения относительно движений Солнца и Луны и усматриваемых их аспектов между собой, в качестве основы следующей за этим теории мы поведем речь о звездах и прежде всего, согласно логическому порядку, о так называемых неподвижных звездах¹.

Этому прежде всего нужно предпослать то, что звезды эти вполне правильно названы неподвижными, так как они образуют всегда неизменные фигуры и сохраняют одинаковые расстояния одна от другой. Однако поскольку вся их сфера, вместе с которой они, как бы скрепленные с ней, вращаются, сама тоже, как видно, совершает собственное правильное перемещение в направлении последовательности знаков зодиака и к востоку противоположно первому [суточному] движению, то название неподвижной к этой сфере никак не подходило бы². В действительности же мы находим, что оба эти названия справедливы, если основываться на свидетельствах, дошедших до нас. Впервые только Гиппарх на основании имевшихся наблюдений стал задумываться о правильности обоих этих названий, но так как для этого нужен был очень большой промежуток времени, то он высказал скорее догадку относительно этого, а не вполне подтвержденное заключение, так как до его времени было произведено лишь очень незначительное число наблюдений неподвижных звезд, пожалуй, даже одни только записанные Аристиллом и Тимохарисом, причем и эти наблюдения не были ни вполне надежными, ни до конца доработанными³. Из сравнения современных наблюдений с произведенными в то время мы также пришли к этому же заключению, но уже более прочно установленному, так как эти исследования охватывали большой промежуток времени, а также потому, что записи Гиппарха о неподвижных звездах, которыми мы большей частью и пользовались для сравнения, дошли до нас в полной сохранности.

3

А то, что не произошло никакого изменения в положении звезд по отношению друг к другу и наблюденные Гиппархом конфигурации усматриваются в неизменном виде и теперь, причем это касается не только положений зодиакальных созвездий относительно друг друга или же расположенных вне зодиака созвездий по отношению к таким же (а это случилось бы, если бы согласно первому предположению, высказанному Гиппархом, указанное перемещение в направлении последовательности знаков совершали одни лишь зодиакальные созвездия)⁴, но это верно также и для созвездий, расположенных в поясе зодиака, по отношению к находящимся с обеих его сторон внешним созвездиям, — все это легко можно понять каждому,

желающему произвести такое сравнение и ради любви к истине посмотреть, будет ли все это соответствовать оставленным записям времен Гиппарха.

Для убедительности мы приводим здесь небольшое число выписок из его сочинений⁵, которые лучше всего могут сделать наглядным это сравнение и показать, что конфигурации, образуемые звездами, расположенными вне зодиака, будут одинаковыми как между собой, так и по отношению к зодиакальным⁶.

Так, например, относительно звезд Рака Гиппарх пишет⁷, что звезда, находящаяся в южной клешне Рака [α Спс] и та яркая [β Спс], предшествующая⁸ как упомянутой звезде, так и голове Гидры, а также самая яркая звезда Прочиона [α CMi] приблизительно находятся на одной прямой⁹; действительно, средняя из них лишь на полтора пальца отклоняется к северу и востоку от прямой, проведенной через северный и южный концы, и промежуточные расстояния равны¹⁰.

Относительно звезд Льва он пишет, что из четырех звезд, находящихся в его голове [μ , ϵ , κ , λ Leo], две самые восточные [μ , ϵ Leo] и звезда Гидры, находящаяся в начале шеи [ω Hya], лежат на одной прямой¹¹. Далее прямая, проведенная через хвост Льва [β Leo] и конечную звезду хвоста Большой Медведицы [η UMa], оставляет на один палец к западу звезду, которая сияет под хвостом Большой Медведицы [α CVn]¹². Также прямая, проведенная через упомянутую звезду под хвостом Большой Медведицы и через хвост Льва, соединит и две предшествующие звезды в Волосах [Вероники]¹³.

Относительно звезд Девы он пишет, что между северной ногой Девы [μ Vir] и правой ногой Волопаса [ζ Boo] расположены две звезды¹⁴, из которых южная [109 Boo], одинаковой яркости со звездой на [правой] ноге Волопаса, смещена к востоку от прямой, проходящей через две эти ноги, а северная, слабо светящая [31 Boo], находится на одной прямой с этими ногами¹⁵; затем слабо светящей из двух этих звезд предшествуют две яркие, которые вместе со слабо светящей образуют равнобедренный треугольник, вершиной которого является слабо светящая¹⁶; обе эти звезды будут на одной прямой с Арктуром [α Boo] и южной ногой Девы [λ Vir]¹⁷. Затем между Колосом [Спикой, α Vir] и второй звездой от конца хвоста Гидры [γ Hya]¹⁸ находятся три звезды [57, 63, 69 Vir] на одной с ними прямой¹⁹; средняя из них [63 Vir] будет на одной прямой с Колосом и предпоследней в хвосте Гидры.

Что касается звезд в Клешнях Скорпиона, то приблизительно на одной прямой с двумя яркими звездами Клешней [α , β Lib] находится к северу яркая тройная звезда [μ Ser], ибо по обе ее стороны расположены две маленькие [36, 30 Ser]²⁰.

Относительно звезд Скорпиона он пишет, что прямая, проведенная через последнюю из звезд жала Скорпиона [λ Sco] и через правое колено Змееносца [η Oph], делит пополам расстояние между двумя предшествующими звездами [36, θ Oph] на правой ноге Змееносца²¹. Далее, пятое [θ Sco] и седьмое [κ Sco] сочленения [хвоста] лежат на одной прямой с

яркой звездой в середине Жертвенника [α Aга]²². Затем, более северная звезда [σ Aга] в основании Жертвенника [σ, θ Aга]²³ лежит почти на одной прямой между пятым сочленением [хвоста] [θ Sco] и средней звездой Жертвенника, примерно на одинаковом расстоянии от каждой из этих звезд.

Относительно звезд Стрельца он пишет, что к востоку и к югу от Венца [Южная Корона], находящегося под Стрельцом, лежат две яркие звезды [α, β Sgr], расположенные приблизительно на расстоянии трех локтей; из них более южная и яркая [β], находящаяся на ноге Стрельца, будет приблизительно на одной прямой со средней [α CrA] из трех ярких звезд Венца [γ, α, β CrA], расположенных в нем к востоку, и с последующей [ζ Sgr] из ярких звезд [$\zeta, \tau, \sigma, \varphi$ Sgr] в противоположных углах четырехугольника; два расстояния [между этими тремя звездами] равны; более северная из них [α Sgr] отклоняется от этой прямой к востоку и находится на одной прямой с двумя яркими звездами [ζ, σ Sgr], расположенными в противолежащих углах четырехсторонника²⁴.

О звездах Водолея он пишет, что две близко расположенные звезды в голове Коня [θ, ν Peg] и последующее плечо Водолея [α Aqr] находятся приблизительно на одной прямой, параллельной проведенной через предшествующее плечо Водолея [β Aqr] к звезде на щеке Коня [ϵ Peg]²⁵. Затем, предшествующее плечо Водолея [β Aqr] и более яркая звезда [ζ Peg] из двух на шее Коня [ζ, ξ Peg], а также звезда на пупке Коня [α And] будут на одной прямой, и их расстояния равны²⁶. И он пишет еще, что прямая, проведенная через морду Коня [ϵ Peg] и восточную [η Aqr] из четырех звезд [η, ζ, π, γ Aqr] сосуда [Водолея], делит пополам и почти под прямым углом прямую через две близко расположенные звезды на голове Коня [θ, ν Peg]²⁷.

Относительно же Рыб он пишет, что звезда во рту более южной рыбы [β Psc], яркая на плечах Коня [α Peg] и яркая на груди [β Peg] лежат на одной прямой²⁸.

Что же касается Овна, то ведущая звезда в основании Треугольника [β Tri] отклоняется на один палец к востоку от прямой, проведенной через звезды на морде Овна [α Ari] и через левую ногу Андромеды [γ And]²⁹. Далее, две ведущие [β, γ Ari] из звезд на голове Овна и середина основания Треугольника [т.е. средняя точка линии, соединяющей звезды β и γ Tri] находятся на одной прямой³⁰.

Относительно звезд Тельца он пишет, что восточные звезды Гиад [α, ϵ Tau] и шестая с юга из звезд шкуры, которую Орион держит в левой руке [π^1 Ori], будут на одной прямой³¹. Далее прямая, проведенная через передний глаз Тельца [ϵ Tau] к седьмой с юга из звезд шкуры [σ^2 Ori], оставляет на 1 палец к северу яркую звезду в Гиадах [α Tau]³².

Что касается звезд Близнецов, то он пишет, что на одной прямой с головами Близнецов [α, β Gem] находится некоторая звезда [ζ Snc], отстоящая от задней головы [β Gem] на тройное расстояние между головами; эта же самая звезда будет на одной прямой с южными звездами [δ, θ Snc] из четырех звезд [$\delta, \theta, \gamma, \eta$ Snc] вокруг туманности [Ясли]³³.

Таким образом, во всех этих конфигурациях, охватывающих большую часть всей сферы, мы не видим до настоящего времени никаких изменений, которые были бы вообще заметными в течение протекших [со времен Гиппарха] 260 лет, а они выявились бы, если бы движение к востоку совершали лишь звезды, расположенные в круге зодиака.

Однако, чтобы астрономы в дальнейшем смогли по прошествии большего времени производить сравнение на основании еще большего числа подобных этим конфигураций, мы прибавим еще некоторые не встречающиеся в более ранних писаниях и наблюденные нами конфигурации, которые особенно легко могут быть замечены начиная от созвездия Овна.

9 Две самые северные $[\alpha, \beta \text{ Ari}]$ из трех звезд $[\alpha, \beta, \gamma \text{ Ari}]$ на голове Овна и яркая звезда в южном колене Персея $[\epsilon \text{ Per}]$, а также так называемая Коза $[\alpha \text{ Aur}]$, Капелла находятся на прямой линии³⁴.

Прямая, проведенная через так называемую Козу $[\alpha \text{ Aur}]$ и самую яркую из Гиад $[\alpha \text{ Tau}]$, проходит немного к востоку от звезды на предшествующей ноге Возничего $[\iota \text{ Aur}]$ ³⁵. Затем, так называемая Коза и звезда, общая для расположенной сзади ноги Возничего и конца северного рога Тельца $[\beta \text{ Tau}]$, лежат на одной прямой со звездой на переднем плече Ориона $[\gamma \text{ Ori}]$ ³⁶.

Далее, [две] яркие звезды на головах Близнецов $[\alpha, \beta \text{ Gem}]$ лежат почти на одной прямой с яркой звездой на шее Гидры $[\theta \text{ Hya}]$ ³⁷.

Затем, две рядом расположенные звезды на передней лапе Большой Медведицы $[\iota, \kappa \text{ UMa}]$ и находящаяся на конце северной клешни Рака $[\iota \text{ Spc}]$ будут на одной прямой с более северным из [двух] Ослят $[\gamma \text{ Spc}]$ ³⁸. Равным образом южный Осленок $[\delta \text{ Spc}]$ и яркая звезда Проциона $[\alpha \text{ CMi}]$ лежат приблизительно на одной прямой с находящейся между ними яркой звездой перед головой Гидры $[\beta \text{ Spc}]$ ³⁹.

10 Далее, прямая, проведенная от средней $[\gamma \text{ Leo}]$ из ярких звезд на шее Льва $[\zeta, \gamma, \eta \text{ Leo}]$ к яркой звезде в Гидре $[\alpha \text{ Hya}]$, чуть-чуть отклоняется к востоку от звезды на сердце Льва $[\alpha \text{ Leo}]$ ⁴⁰. И прямая, проведенная от яркой звезды на крестце Льва $[\delta \text{ Leo}]$ к яркой звезде, находящейся на заднем бедре Большой Медведицы $[\gamma \text{ UMa}]$, являющейся южной звездой на задней стороне четырехугольника, оставляет немного к западу две рядом расположенные звезды $[\nu, \xi \text{ UMa}]$ на конце задней лапы Большой Медведицы⁴¹.

Затем, прямая, проведенная от звезды сзади на бедре Девы $[\zeta \text{ Vir}]$ ко второй звезде от конца хвоста Гидры $[\gamma \text{ Hya}]$, проходит чуть-чуть к западу от так называемого Колоса $[\alpha \text{ Vir}]$ ⁴². Прямая, проведенная от Колоса к звезде на голове Волопаса $[\beta \text{ Boo}]$, слегка отклоняется к востоку от Арктура $[\alpha \text{ Boo}]$ ⁴³. На одной прямой лежат также Колос и звезды на крыльях Ворона $[\delta, \gamma \text{ Crv}]$ ⁴⁴. Колос и звезда сзади на бедре Девы $[\zeta \text{ Vir}]$ лежат на одной прямой с самой северной и яркой $[\eta \text{ Boo}]$ из трех звезд на переднем колене Волопаса $[\eta, \tau, \nu \text{ Boo}]$ ⁴⁵.

Кроме того, яркие звезды Клешней $[\alpha, \beta \text{ Lib}]$ лежат почти на одной прямой со звездой на конце хвоста Гидры $[\pi \text{ Hya}]$. Яркая звезда на южной клешне $[\alpha \text{ Lib}]$, Арктур и средняя из трех звезд на хвосте Большой Медведицы $[\zeta \text{ UMa}]$ лежат на одной прямой. Яркая звезда на северной

клешне [β Lib], Арктур и звезда сзади на бедре Большой Медведицы [γ UMa] лежат на одной прямой⁴⁶.

Далее, звезда на задней голени Змееносца [ξ Oph], звезда на пятом сочленении хвоста Скорпиона [θ Sco] и передняя [ν Sco] из двух близко расположенных звезд на его жале [λ, ν Sco] будут на одной прямой⁴⁷. Передняя [σ Sco] из трех звезд на груди Скорпиона [σ, α, τ Sco] и две звезды на коленях Змееносца [η, ζ Oph] образуют равнобедренный треугольник, вершиной которого служит передняя звезда из трех на груди Скорпиона⁴⁸.

Затем, звезда второй величины на передней, южной лодыжке Стрельца [β Sgr], звезда на острие стрелы [γ Sgr] и звезда на заднем колене Змееносца [η Oph] лежат на одной прямой⁴⁹. Звезда на колене той же [передней] ноги Стрельца [α Sgr], находящаяся по соседству с [Южной] Короной, звезда на острие стрелы [γ Sgr] и звезда на переднем колене Змееносца [ζ Oph] лежат на одной прямой⁵⁰.

Кроме того, прямая, соединяющая яркую звезду в Лире [α Lyr] со звездами на рогах Козерога [α, β, ν, ξ Cap], проходит немного к востоку от яркой звезды в Орле [α Aql]⁵¹. Прямая, проведенная от яркой звезды в Орле к звезде первой величины во рту Южной Рыбы [α PsA], делит приблизительно пополам расстояние между двумя яркими звездами на хвосте Козерога [γ, δ Cap]⁵².

Затем прямая, проведенная от звезды первой величины во рту Южной Рыбы к звезде на морде Коня [ϵ Peg], проходит немного к востоку от яркой звезды на заднем плече Водолея [α Aqr]⁵³.

Далее, две звезды, что во рту Южной Рыбы [α PsA] и южной рыбы [из созвездия Рыб, β Psc], и передние звезды четырехугольника Коня [α, β Peg] лежат на одной прямой⁵⁴.

И если кто-нибудь эти конфигурации снова приложит к изображениям созвездий на небесном глобусе Гиппарха, то найдет, что они теперь приблизительно таковы, какими были положения их на глобусе согласно записям их наблюдений времен [Гиппарха]⁵⁵.

2. О том, что сфера неподвижных звезд совершает некоторое движение в направлении последовательности знаков круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий

Из этих и им подобных наблюдений мы можем установить, что все звезды, называемые обычно неподвижными, сохраняют одно и то же взаимное положение и имеют одно и то же движение. Но, кроме того, их сфера совершает некоторое свойственное ей движение в сторону, противоположную вращению мира, а именно в направлении последовательности знаков, т.е. движению большого круга, проведенного через полюсы равноденственного круга и круга через середины зодиакальных созвездий. Нам легче всего убедиться в этом, если заметить, что одни и те же звезды в древности и в наше время не сохраняют одинаковых расстояний по отношению к точкам солнцеворотов и равноденствий, но всегда в более

поздние времена эти звезды имеют большие расстояния от этих точек в направлении последовательности знаков⁵⁶.

13 Действительно, Гиппарх в своем сочинении «О смещении солнцеворотных и равноденственных точек», сопоставляя лунные затмения, точно наблюденные им самим, с более ранними, наблюденными Тимохарисом, получает вычислением, что в наблюдениях его времени Колос отстоял от точки осеннего равноденствия на 6 градусов в направлении против последовательности знаков, а в наблюдениях Тимохариса приблизительно на 8 градусов. Обо всем этом он говорит так: «Итак, если, например, раньше Колос на зодиаке предшествовал точке осеннего равноденствия по долготе на 8 градусов, то в настоящее время на 6 градусов», и так далее⁵⁷. Он доказывает, что такое же отступление в направлении последовательности знаков произошло почти и у всех других звезд, для которых было произведено сравнение⁵⁸. А мы, сравнивая в наше время видимые расстояния неподвижных звезд от точек солнцеворотов и равноденствий с записями наблюдений Гиппарха, точно так же нашли перемещение их в направлении последовательности знаков, совершающееся в тех же пропорциях, как и предшествующее. Это исследование мы произвели при помощи предварительного построенного нами инструмента для наблюдений различных расстояний Луны от Солнца. Для этого один из кругов астролэбии мы устанавливали по направлению к видимому во время наблюдения положению Луны, а второй поворачивали к исследуемой звезде так, чтобы и звезду, и Луну можно было наблюдать в соответствующих положениях. Таким именно образом по расстояниям от Луны мы и определяем положение каждой в отдельности яркой звезды⁵⁹.

14 В качестве одного из примеров мы приведем наблюдение во 2 год Антонина, в 9-й день египетского месяца Фармути⁶⁰. Когда Солнце уже заходило в Александрии и в меридиане стоял последний градус Тельца, т.е. было $5\frac{1}{2}$ равноденственных часов после полудня 9-го числа, мы наблюдали видимое расстояние Луны от Солнца, находившегося примерно на 3 градусах Рыб, и получили $92\frac{1}{8}$ градуса. Через полчаса, когда Солнце уже зашло и в меридиане стояла первая четверть Близнецов [т.е. $7;30$ градусов Близнецов], видимое положение Луны определялось таким же положением круга астролэбии, и звезда на груди Льва [α Leo], визируемая при помощи второго круга астролэбии, оказалась на расстоянии от Луны в $57\frac{1}{6}$ градусов в направлении последовательности знаков по кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий.

15 В первом наблюдении истинное положение Солнца было очень близко к $3\frac{1}{20}$ градусам Рыб, так что при видимом положении Луны на расстоянии $92\frac{1}{8}$ градусов в направлении последовательности знаков она находилась приблизительно на $5\frac{1}{6}$ градусах Близнецов, где она и должна была находиться согласно нашим основным гипотезам. Через полчаса же Луна должна была продвинуться приблизительно на $\frac{1}{4}$ градуса в направлении последовательности знаков и по сравнению с первым положением иметь параллактическое смещение приблизительно в $\frac{1}{12}$ часть градуса против последовательности знаков. Следовательно, видимое положение Луны через полчаса должно было быть на $5\frac{1}{3}$ градусах Близнецов, так что звезда на груди Льва, поскольку видимое ее расстояние от Луны было $57\frac{1}{6}$ градусов

в направлении последовательности знаков, находилась на $2\frac{1}{2}$ градусах Льва и, следовательно, отстояла на $32\frac{1}{2}$ градуса от точки летнего солнцеворота⁶¹.

Но в 50 год третьего периода Калиппа⁶², как записал Гиппарх исходя из своих наблюдений, эта звезда от той же самой точки летнего солнцеворота отстояла на $29\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусов в направлении последовательности знаков. Следовательно, звезда на груди Льва передвинулась в направлении последовательности знаков на $2\frac{2}{3}$ градуса по кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий за период от времени наблюдений Гиппарха до начала царствования Антонина, когда и мы произвели большую часть наблюдений за положениями неподвижных звезд⁶³, т.е. приблизительно за 265 лет⁶⁴. Из этого обнаруживается, что перемещение в направлении последовательности знаков составляет приблизительно 1 градус за 100 лет. По-видимому, так же предполагал и Гиппарх, если судить по следующим его словам в книге «О продолжительности года»: «Если по этой причине равноденственные и солнцеворотные точки передвигаются против последовательности знаков зодиака не менее, чем на сотую часть градуса за один год, то необходимо, чтобы в 300 лет они передвигались на расстояние, не меньшее 3 градусов»⁶⁵.

Произведя подобным же образом наблюдение расстояний от Луны для Колоса [α Vir] и наиболее ярких звезд вблизи средней окружности зодиака, а затем [опираясь на них] и наблюдения остальных звезд⁶⁶, мы нашли, что их взаимные расстояния приблизительно таковы же, как их наблюдал и Гиппарх, расстояние же от точек солнцеворотов и равноденствий по сравнению с записанными Гиппархом в каждом случае увеличились приблизительно на $2\frac{2}{3}$ градуса в направлении последовательности знаков⁶⁷.

3. О том, что сфера неподвижных звезд совершает движение вокруг полюсов зодиака в направлении последовательности знаков

На основании сказанного нам становится понятным, что сфера неподвижных звезд совершает в направлении последовательности знаков приблизительно такое перемещение по окружности, проходящей через середины зодиакальных созвездий. После этого нам нужно исследовать характер этого движения, иными словами, установить, совершается оно вокруг полюсов равноденственного круга или же вокруг полюсов наклонного круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий. Это можно было бы установить и на основании рассмотренного выше перемещения по долготе, так как большие круги, проводимые через полюсы одного из указанных кругов, отсекают на другом круге неравные дуги, если, конечно, при незначительности перемещения по долготе в течение рассматриваемого небольшого промежутка времени возникающая от этого разница не окажется нечувствительной. Лучше всего это уяснить, исследовав перемещения по широте между прошедшим и настоящим временем. Очевидно, круг, равноденственный или проходящий через середины зодиакальных созвездий, для полюсов которого звезды будут, согласно наблюдениям, сохранять одно и то же расстояние по широте, и окажется тем, по которому совершается движение сферы [неподвижных звезд]⁶⁸.

Гиппарх точно так же предполагает, что вращение происходит вокруг полюсов наклонного круга. Действительно, в книге «О смещении солнцеворотных и равноденственных точек» он приводит [в качестве примера] тот же самый Колос, который по наблюдениям и Тимохариса, и его собственным сохранил неизменной величину своего расстояния по широте по отношению не к равноденственному кругу, а к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий. Эта звезда и раньше, и теперь находилась на 2 градуса южнее круга, проходившего через середины зодиакальных созвездий. На основании этого в книге «О продолжительности года» он полагает, что это движение может совершаться только вокруг полюсов зодиака. Однако, по его собственным словам, он сомневается в полной надежности наблюдений Тимохариса, так как они производились достаточно грубо, а также и поскольку за прошедшее время не накопилось еще достаточной разницы для того, чтобы можно было сделать надежные выводы. Однако мы, пришедшие к тому же выводу на основании наблюдений и за больший промежуток времени, и почти для всех неподвижных звезд, можем уже считать значительно лучше установленным положение, что движение неподвижных звезд совершается вокруг полюсов наклонного круга. Действительно, наблюдая для каждой звезды ее расстояние по широте от круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, т.е. по большому кругу, проведенному через его полюсы, мы нашли, что эти расстояния являются или такими же, какие были записаны и собраны Гиппархом⁶⁹, или же отличающимися только на очень малые величины, которыми можно пренебречь при наблюдениях.

Что же касается расстояний [звезд] до равноденственного круга, отсчитываемых по большому кругу, проведенному через его полюсы, то определенные нами их величины не совпадают ни с записанными Гиппархом в наблюдениях такого рода, ни с теми, которые еще раньше были получены Тимохарисом. Из них, однако, мы еще надежнее установили тождественность широт [звезд] по отношению к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий. В полушарии, идущем от зимнего тропика к летнему через точку весеннего равноденствия, положения звезд относительно равноденственного круга оказались более северными, чем были ранее, а в противоположном полушарии — более южными. Вблизи равноденственных точек в расстояниях получались большие разности, а вблизи точек солнцеворота — меньшие, и почти всегда пропорциональные перемещениям в долготе, когда отрезки зодиакального круга по отношению к равноденственному кругу становились более северными или более южными. Чтобы сделать излагаемое более понятным, мы приведем для каждого из упомянутых полушарий записанные расстояния звезд по широте от равноденственного круга, измеренные по большому кругу, проведенному через его полюса, по Тимохарису, по Гиппарху, а затем и наши, полученные таким же образом.

Яркая звезда в Орле [α Aql], по записям Тимохариса, оказывается севернее равноденственного круга на $54\frac{1}{2}$ градусов, у Гиппарха так же, тогда как мы нашли $51\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусов. Средняя звезда Плеяд [η Tau]⁷⁰, по записям Тимохариса, располагалась севернее равноденственного круга на $14\frac{1}{2}$ градусов, по Гиппарху — на $15\frac{1}{6}$ градусов, а мы получили $16\frac{1}{4}$. Яркая звезда Гиад [α Tau], по записям Тимохариса, была севернее равноденственного круга на $8\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов, а по Гиппарху — на $9\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, мы же получили 11 градусов. Самая яркая звезда Возничего, называемая

Козой [α Aug], по записям Аристилла, располагалась севернее равноденственного круга на 40 градусов, а по Гиппарху — на $40\frac{2}{5}$, мы же нашли величину $41\frac{1}{6}$ градус. Звезда на переднем плече Ориона [γ Ori], по записям Тимохариса, стоит на $1\frac{1}{5}$ градус севернее равноденственного круга, по Гиппарху же — на $1\frac{4}{5}$ градуа, мы же получили расстояние в $2\frac{1}{2}$ градуса. Звезду на заднем плече Ориона [α Ori] Тимохарис записывает севернее равноденственного круга на $3\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градуса, Гиппарх — на $4\frac{1}{3}$, а мы получили $5\frac{1}{4}$ градусов. Яркая звезда во рту Пса [α CMa], по записям Тимохариса, расположена южнее равноденственного круга на $16\frac{1}{3}$ градусов, по Гиппарху — на 16, а мы нашли $15\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов. Передняя яркая звезда на головах Близнецов [α Gem], по записям Аристилла, расположена севернее равноденственного круга на 33 градуса, по Гиппарху — на $33\frac{1}{6}$, а мы получили $33\frac{2}{5}$ градуса. Следующую из них [β Gem] Аристилл записывает расположенной севернее экватора на 30 градусов, Гиппарх дает столько же, мы же нашли $30\frac{1}{6}$ градусов⁷¹.

Все эти данные получены для того из вышеуказанных полушарий, которое в своем протяжении по долготе включает точку весеннего равноденствия. При этом оказывается, что положения относительно равноденственного круга, наблюдаемые в более позднее время, стали по широте более северными, чем были раньше, причем изменения для звезд, расположенных у точек солнцеворотов, вообще малы, а для близких к равноденственным достаточно значительны. Все это является следствием вращения в направлении последовательности знаков вокруг полюсов наклонного круга, так как расположенные дальше отрезки этого полукруга всегда становятся более северными, чем предшествующие им, и расположенные вблизи равноденственных точек дают большие отклонения, а вблизи точек солнцеворота — меньшие.

В противоположном полушарии звезду на сердце Льва [α Leo] Тимохарис записывает расположенной севернее равноденственного круга на $21\frac{1}{3}$ градус, Гиппарх — на $20\frac{2}{3}$, а мы нашли $19\frac{1}{2}\frac{1}{3}$. Так называемый Колос [α Vir] Тимохарис записывает расположенным севернее равноденственного круга на $1\frac{2}{5}$ градус, Гиппарх — всего лишь на $\frac{3}{5}$, а мы нашли, что он будет южнее равноденственного круга на $\frac{1}{2}$ градуса. Самую крайнюю звезду из трех в хвосте Большой Медведицы [η UMa] Аристилл записывает севернее равноденственного круга на $61\frac{1}{2}$ градус, Гиппарх — на $60\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, а мы получили $59\frac{2}{3}$ градусов. Вторая звезда от конца, находящаяся в середине хвоста [ζ UMa], по записям Аристилла, расположена севернее равноденственного круга на $67\frac{1}{4}$ градусов, по Гиппарху — на $66\frac{1}{2}$, а мы нашли 65 градусов. Третья от конца звезда, находящаяся как бы в начале хвоста [ϵ UMa], по записям Аристилла, севернее равноденственного круга на $68\frac{1}{2}$ градусов, по Гиппарху — на $67\frac{3}{5}$ ⁷², а мы получили $66\frac{1}{4}$ градусов. Арктур [α Boo], согласно записям Тимохариса, находился севернее равноденственного круга на $31\frac{1}{2}$ градус, согласно Гиппарху — на 31, а мы получили $29\frac{1}{2}\frac{1}{3}$. Из ярких звезд в клешнях Скорпиона находящуюся на конце южной клешни [α Lib] Тимохарис записывает более южной равноденственного круга на 5 градусов, Гиппарх — на $5\frac{3}{5}$, а мы получили $7\frac{1}{6}$ градусов. Находящаяся в конце северной клешни [β Lib], по записям Тимохариса, расположена севернее равноденственного круга на $1\frac{1}{5}$ градус, по Гиппарху — только на $\frac{2}{5}$ градуса, а мы нашли, что она будет на

1 градус южнее равноденственного круга. Яркую звезду на груди Скорпиона, так называемый Антарес [α Sco], Тимохарис записывает как расположенную южнее экватора на $18\frac{1}{3}$ градусов, Гиппарх — на 19, а мы получили $20\frac{1}{4}$ градусов⁷³.

Итак, из всего этого получается противоположное [установленному ранее] следствие, а именно: более поздние по широте положения относительно равноденственного круга сделались более южными по сравнению с более ранними пропорционально [временным промежуткам и положениям].

Таким образом, можно заключить, что перемещение сферы неподвижных звезд по долготе совершается в направлении последовательности знаков и, как мы сказали, приблизительно на 1 градус в 100 лет, а именно на $2\frac{2}{3}$ градуса за 265 лет, протекших между Гиппарховыми и нашими наблюдениями; и все это устанавливается главным образом на основании разностей в широте тех звезд, что расположены близко к равноденственным точкам.

Действительно, средняя из Плеяд [η Tau], по Гиппарху, находилась севернее экватора на $15\frac{1}{6}$ градусов, мы же нашли $16\frac{1}{4}$, так что в протекшее до нас от Гиппарха время она стала на $1\frac{1}{12}$ градус более северной; 24 приблизительно такую же разницу в широте относительно экватора произведут за то же время $2\frac{2}{3}$ градуса зодиакального круга в конце Овна при перемещении по долготе в направлении последовательности знаков на этот интервал⁷⁴. Так называемая Коза [α Aur], находившаяся, по Гиппарху, севернее экватора на $40\frac{2}{5}$ градусов, а по нашим наблюдениям — на $41\frac{1}{6}$, стала более северной на $\frac{4}{5}$ градуса; на эту самую величину опять будут различаться широты относительно экватора при перемещении середины Тельца на $2\frac{2}{3}$ градуса по зодиакальному кругу⁷⁵. Звезда на переднем плече Ориона [γ Ori], находившаяся, по Гиппарху, севернее экватора на $14\frac{4}{5}$, а по нашим наблюдениям — на $2\frac{1}{2}$ градуса, стала более северной на $\frac{2}{3}$ градуса; приблизительно на такую величину будут опять отличаться по широте относительно экватора $2\frac{2}{3}$ градуса зодиакального круга за двумя третями Тельца⁷⁶.

Так же в противоположном полушарии Колос, находившийся, по Гиппарху, севернее экватора на $\frac{3}{5}$ градуса, а по нашим наблюдениям — южнее на $\frac{1}{2}$ градуса, стал более южным на $1\frac{1}{12}$ градус; на такую величину опять будут отличаться по широте относительно экватора звезды в конце 25 Девы при перемещении на $2\frac{2}{3}$ градуса по зодиакальному кругу⁷⁷. Звезда на конце хвоста Большой Медведицы [η UMa], находившаяся, по Гиппарху, севернее экватора на $60\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов, а по нашим наблюдениям на — $59\frac{2}{3}$ градусов, стала более южной на $1\frac{1}{12}$ градус, на такую же величину по широте относительно экватора будут отличаться звезды у первых градусов знака Весов при перемещении на $2\frac{2}{3}$ градуса по зодиакальному кругу⁷⁸. Арктур, находившийся, по Гиппарху, севернее экватора на 31 градус, а по нашим наблюдениям — на $29\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусов, стал более южным на $1\frac{1}{6}$ градус, на такую же величину приблизительно различаются по широте относительно экватора звезды первой трети Клешиной при передвижении на $2\frac{2}{3}$ градуса по зодиакальному кругу⁷⁹.

Все изложенное, пожалуй, станет для нас еще более ясным на основании следующих наблюдений⁸⁰.

Тимохарис пишет, что он произвел в Александрии такие наблюдения. В 47 год первого 76-летнего Калиппова периода, в 8-й день Анфестерия, или 29-й день египетского месяца Атир, на исходе 3-го часа ночи южная половина Луны наблюдалась точно покрывающей расположенную сзади [т.е. восточную] треть или половину Плеяд⁸¹. И это было в 465 году после Набонассара, в египетском месяце Атир, в ночь с 29-го на 30-е число, за 3 часа до полуночи по местному времени, или за $3\frac{1}{3}$ равноденственных часа, так как Солнце находилось на 7 градусе Водолея. Время до полуночи в средних солнечных сутках получается приблизительно равным такому же числу часов [т.е. $3\frac{1}{3}$]. В этот час, согласно рассмотренным нами выше гипотезам, истинное положение Луны было на $0;20$ градусов Тельца, т.е. она находилась на расстоянии $30;20$ градусов от точки весеннего равноденствия и была на $3;45$ градуса севернее средней линии зодиака. Видимое же ее положение в Александрии было по долготе на $29;20$ градусах Овна и на $3;35$ градуса севернее средней линии зодиака, так как в меридиане стояли $\frac{2}{3}$ знака Близнецов⁸². Таким образом, расположенный сзади (восточный) конец Плеяд отстоял от точки весеннего равноденствия приблизительно на $29\frac{1}{2}$ градусов в направлении последовательности знаков, так как центр Луны находился впереди него и располагался приблизительно на $3\frac{2}{3}$ градуса севернее средней линии зодиака; следовательно, конец Плеяд был чуть-чуть севернее центра Луны.

Агриппа, производивший наблюдения в Вифинии, пишет, что в 12 году Домициана, 7-го числа местного месяца Метроя, в начале 3-го часа ночи Луна своим южным рогом закрыла расположенную сзади южную часть Плеяд⁸³. И соответствующее время было в 840 году после Набонассара, в египетском месяце Тиби, в ночь со 2-го на 3-е число, за 4 часа местного времени до полуночи, или за 5 равноденственных часов, так как Солнце было на 6 градусах Стрельца. Следовательно, для меридиана Александрии наблюдение имело место за $5\frac{1}{3}$ равноденственных часов до полуночи⁸⁴, или за $5\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ часов среднего времени. В этот момент истинное положение центра Луны было на $3;7$ градусах Тельца и на $4\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градуса севернее средней линии зодиака; видимое же положение в Вифинии было по долготе на $3;15$ градусах Тельца и на 4 градуса севернее средней линии зодиака, так как в этот момент через меридиан проходили $\frac{2}{3}$ знака Рыб. Таким образом, в это время расположенная сзади часть Плеяд отстояла по долготе от точки весеннего равноденствия на $33\frac{1}{4}$ градуса в направлении последовательности знаков и была на $3\frac{2}{3}$ градуса севернее средней линии зодиака⁸⁵.

Таким образом, ясно, что расположенная сзади часть Плеяд была и тогда, и в настоящее время по широте севернее средней линии зодиака на те же самые $3\frac{2}{3}$ градуса по большому кругу, проведенному через ее полюсы, по долготе же она продвинулась от точки весеннего равноденствия на $3;45$ градуса в направлении последовательности знаков, так как во время первого наблюдения она отстояла на $29\frac{1}{2}$ градусов от точки весеннего равноденствия, а во время второго на $33\frac{1}{4}$, причем время, прошедшее между обоими наблюдениями, равнялось 375 годам. Таким образом, за 100 лет эта часть Плеяд подвинулась на 1 градус в направлении последовательности знаков.

Далее, Тимохарис, который производил наблюдения в Александрии, пишет, что в 36 году первого Калиппова периода, 15-го числа Элафеболia, или 5-го числа месяца Тиби, в начале 3-го часа Луна серединой своего горба, обращенного к точке равноденственного восхода [т.е. к востоку], коснулась Колоса, который прошел за ней, точно отсекая северную треть [лунного] диаметра. Соответствующее время было в 454 году после Набонассара, в египетском месяце Тиби, в ночь с 5-го на 6-е число, за 4 часа до полуночи как местных, так приблизительно и равноденственных⁸⁶, так как Солнце находилось около 15 градуса Рыб; примерно такое же количество часов дает подсчет и в среднем времени. В этот час истинное положение центра Луны было по долготе на 21;21 градусе Девы, т.е. от точки летнего солнцестояния центр Луны отстоял на 81;21 градус в направлении последовательности знаков и был на $1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градус южнее средней линии зодиака; видимое же его положение по долготе было на $82\frac{1}{12}$ градусах⁸⁷ от точки летнего солнцеворота и к югу от средней линии зодиака приблизительно на 2 градуса, ибо в меридиане стояла середина Рака. Следовательно, на основании сказанного Колос отстоял тогда по долготе на $82\frac{1}{3}$ градуса от точки летнего солнцеворота и был самое большее на 2 градуса южнее эклиптики⁸⁸.

Он также пишет, что в 48 году того же самого [первого Калиппова] периода, в конце 6-го дня от конца последней трети месяца Пианепсия, или 7-го числа месяца Тот, по прошествии половины 10-го часа при восходе Луны на горизонте можно было видеть, что Колос как раз касался ее северной части⁸⁹. Соответствующее время было 466 год после Набонассара, египетский месяц Тот, в ночь с 7-го на 8-е число, как говорит он сам, через $3\frac{1}{2}$ часа местного времени после полуночи, или приблизительно $3\frac{1}{8}$ равноденственных часа, так как Солнце было в середине Скорпиона⁹⁰; отсюда следует, что это происходило через $2\frac{1}{2}$ часа после полуночи. Действительно, именно через столько равноденственных часов после полуночи в меридиане находятся $22\frac{1}{2}$ градуса Близнецов и восходит приблизительно тот же градус Девы; находясь на этом градусе, Луна, как говорит Тимохарис, тогда и взошла⁹¹. Переводя в среднее время, мы нашли, что это занимает всего лишь 2 равноденственных часа после полуночи. В это время истинное положение центра Луны было на расстоянии 81;30 градуса от точки летнего солнцеворота, на $2\frac{1}{6}$ градуса южнее средней линии зодиака; видимое же его положение было по долготе $82\frac{1}{2}$ градуса и $2\frac{1}{4}$ градуса к югу⁹². И, следовательно, согласно этому наблюдению Колос находился южнее средней линии зодиака приблизительно на те же самые 2 градуса, а от точки летнего солнцеворота отстоял на $82\frac{1}{2}$ градуса⁹³. Итак, за 12 лет, протекших между обоими наблюдениями, он продвинулся от точки летнего солнцеворота приблизительно на $\frac{1}{6}$ градуса в направлении последовательности знаков.

Геометр Менелай говорит, что он в первом году Траяна, в ночь с 15-го на 16-е Мехира, по истечении 10-го часа наблюдал в Риме покрытие Колоса Луной; звезду не было видно, но по истечении 11-го часа она была замечена впереди центра Луны [на расстоянии] меньше, чем [один] лунный диаметр, и одинаково удаленной от [обоих] рогов. Соответствующее время было 845 год после Набонассара, египетский месяц Мехир, в ночь с 15-го на 16-е число⁹⁴, через 4 часа местного времени после полуночи, когда центр Луны

приблизительно совпал с Колосом. В равноденственных часах это соответствовало 5, так как Солнце находилось на 20 градусе Козерога, а по александрийскому меридиану в $6\frac{1}{3}$ часов⁹⁵ и по среднему времени в $6\frac{1}{4}$ часов или немного больше. В этот момент истинное положение центра Луны отстояло на $85\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов от точки летнего солнцеворота и приблизительно на $1\frac{1}{3}$ градус южнее средней линии знаков. Видимое же его положение было по долготе на $86\frac{1}{4}$ градусах и на 2 градуса к югу, так как в меридиане стояла самое большое четверть знака Клешней. Следовательно, такое же положение имел в тот момент и Колос⁹⁶.

Ясно, что он опять оказался южнее эклиптики на такое же число градусов, а именно на 2, как это было во времена Тимохариса и в наше время; по долготе же он сместился в направлении последовательности знаков от наблюдения в 36 году [первого Калиппова периода] на $3;55$ градуса за 391 год, от наблюдения же в 48 году — на $3;45$ градуса за 379 лет. Таким образом, и из этих наблюдений получается, что для Колоса перемещение в направлении последовательности знаков за 100 лет равно приблизительно 1 градусу.

32

Кроме того, Тимохарис, наблюдавший в Александрии, говорит, что в 36 году первого Калиппова периода, 25-го Посидеона, или 16-го Фаофи, в начале 10-го часа Луна казалась своим северным краем точно коснувшейся северной звезды на лбу Скорпиона [β Sco]. И соответствующее время было 454 год после Набонассара, египетский месяц Фаофи, в ночь с 16-го на 17-е число⁹⁷, через 3 часа местного времени после полуночи, или $3\frac{2}{5}$ равноденственных часа, так как Солнце было на 26 градусе Стрельца; по среднему же времени это соответствовало $3\frac{1}{6}$ часа. В это время истинное расстояние центра Луны от точки осеннего равноденствия было $31\frac{1}{4}$ градус и на $1\frac{1}{3}$ градус севернее средней линии знаков; видимое же положение было на 32 градусах по долготе и на $1\frac{1}{12}$ градус севернее средней линии знаков⁹⁸, так как в меридиане стояла середина Льва. Следовательно, самая северная звезда на лбу Скорпиона отстояла тогда по долготе на такое же число 32 градуса от точки осеннего равноденствия и была севернее средней линии зодиака приблизительно на $1\frac{1}{3}$ градус.

33

Менелай же, производивший наблюдения в Риме, говорит, что в первом году Траяна, в ночь с 18-го на 19-е число Мехира, на исходе 11-го часа южный рог Луны наблюдался на одной прямой со средней [δ Sco] и южной [λ Sco] звездами на лбу Скорпиона; центр же ее отставал от этой прямой и находился на таком же расстоянии от средней звезды, на каком эта средняя находилась от южной; северная звезда на лбу [β Sco], по-видимому, была закрыта [Луной], так как ее нигде не было видно. И это время было опять 845 год после Набонассара, египетский месяц Мехир, с 18-го на 19-е число⁹⁹, через 5 часов местного времени после полуночи, или через $6\frac{1}{6}$ равноденственных, так как Солнце было на 23 градусе Козерога; по александрийскому меридиану это соответствовало $7\frac{1}{2}$ часам и почти стольким же по среднему времени. В этот момент истинное положение центра Луны было на $35\frac{1}{3}$ градусах от точки осеннего равноденствия и на $2\frac{1}{6}$ градуса севернее средней линии зодиака. Видимое же его положение было на $35;55$ градусах долготы и на $1\frac{1}{3}$ градус к северу, так как в меридиане стоял конец Клешней¹⁰⁰. Следовательно, самая северная звезда на лбу Скорпиона имела тогда приблизительно то же самое положение.

³⁴ Таким образом, ясно, что для этой звезды также расстояние ее по широте от средней линии зодиака в древности и теперь усматривалось одним и тем же, по долготе же она удалилась от точки осеннего равноденствия на 3;55 градуса в направлении последовательности знаков; время, протекшее между наблюдениями, составляет 391 год, откуда опять следует, что за 100 лет перемещение указанной звезды в направлении последовательности знаков оказывается равным 1 градусу.

4. О способе составления каталога неподвижных звезд

На основании наблюдений и сравнения относительных положений этих и других ярких звезд, а также на основании того, что расстояния остальных звезд, которые мы нашли, согласуются с ранее исследованными, мы сочли установленным, что сфера неподвижных звезд совершает указанной величины перемещение от солнцеворотных и равноденственных точек в направлении последовательности знаков зодиака, насколько это возможно заключить для соответствующего промежутка времени наблюдений, а также что это движение совершается вокруг полюсов наклонного круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, а не вокруг полюсов равноденственного круга, как в первом движении. После этого мы сочли ³⁵ уместным провести наблюдения каждой из упомянутых выше, а также и других звезд и составить для них каталог наблюдаемых в настоящее время долгот и широт, отнесенных не к равноденственному кругу, но к проходящему через середины зодиакальных созвездий, отсчитывая соответствующие величины по большему кругу, проведенным через полюсы зодиака и каждую из рассматриваемых звезд; в соответствии с установленной выше гипотезой об упомянутом движении измеряемые по этим кругам расстояния от зодиакального круга необходимо должны всегда усматриваться одними и теми же, а перемещения по долготе в направлении последовательности знаков должны в равные времена охватывать равные дуги.

Поэтому, пользуясь опять тем же самым инструментом (поскольку круги астробии вращаются около полюсов наклонного круга), мы произвели наблюдения всех звезд, какие мы могли увидеть вплоть до шестой величины. Один из кругов упомянутой астробии [круг 5 на рис. 5-А] мы устанавливали на одну из ярких звезд, положение которой было заранее определено при помощи Луны, и на соответствующее деление зодиакального круга [1]; второй же круг [6], полностью градуированный и способный вращаться как по широте [с помощью внутреннего кольца 7], так и вокруг полюсов [e—e] наклонного круга, устанавливался на исследуемую звезду, пока она не усматривалась через отверстие соответствующего ей круга ³⁶ путем его вращения по внешнему кругу, в то время как первая [контрольная] звезда наблюдалась [в установленном положении]¹⁰¹. Достигнув этого, мы легко получали обе координаты, определяющие положение исследуемой звезды, по соответствующему ей кругу астробии: величина долготы определялась общим сечением этого круга [6] с зодиакальным [1], а величина широты — по дуге его, заключающейся между этим сечением и верхним отверстием.

Теперь, чтобы задать этим способом положения звезд на небесном глобусе, мы разместили их в таблице в 4 столбцах, распределив светила по созвездиям. Для каждой звезды мы приводим в первом столбце определяемую этой звездой часть фигуры [созвездия], во втором — положение звезды по долготе относительно [начала] знака зодиака,

приведенное к наблюдениям начала царствования Антонина¹⁰² (начало каждого квадранта зодиака берется относительно [одной из] солнцеворотных и равноденственных точек); в третьем — расстояние каждой звезды от зодиакального круга по широте соответственно к северу или к югу; в четвертом же — номер звезды по ее величине¹⁰³. Расстояния по широте остаются всегда одними и теми же, расстояние же по долготе и вообще положение для [любой] другой эпохи можно легко получить, если число градусов, соответствующее промежутку времени между рассматриваемой и данной выше эпохами (из расчета 1 градус за 100 лет), мы отнимем от соответствующего числа нашей эпохи для более древнего времени или прибавим — для наступающего.

Что касается обозначений частей фигур [созвездий], то их нужно понимать как положения в соответствующем созвездии, а также по отношению к полюсам зодиака. Мы будем говорить о звезде [расположенной] «впереди чего-нибудь» или о «следующей за чем-нибудь» в зависимости от положения рассматриваемой звезды на предшествующем [западном] или последующем [восточном] градусах зодиака¹⁰⁴, а «более южным» или «более северным» мы будем называть в зависимости от близости к соответствующему полюсу зодиака.

А относительно названий звезд по частям фигуры мы не всегда пользовались теми же самыми, что и наши предшественники, поскольку и они так же поступали по отношению к своим предшественникам: они часто брали другие названия в зависимости от удобства или большего соответствия правильности начертания фигуры. Так, например, те звезды, которые Гиппарх помещает на плечи Девы, мы называли звездами «на ее боках», поскольку они показались нам более удаленными от тех, что на голове, чем звезды на концах рук; поэтому они более соответствовали бокам и совершенно ничего не имели общего с плечами. Во всяком случае отождествлять различно названные звезды вполне возможно при помощи сравнения записанных положений¹⁰⁵. Расположение записей каталога таково¹⁰⁶.

5. Каталог созвездий северного неба

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Малой Медведицы					
1	Звезда на конце хвоста	Близнецы 0¼	+66	3	α UMi
2	За ней на хвосте	Близнецы 2¼	+70	4	δ UMi
3	За ней в начале [хвоста]	Близнецы 10¼(?) ¹⁰⁷	+74½	4	ϵ UMi
4	Южная звезда в предше- ствующей стороне четы- рехугольника	Близнецы 29¼	+75¼	4	ζ UMi
5	Северная звезда той же стороны	Рак 3¼	+77¼	4	η UMi
6	Южная звезда последую- щей стороны	Рак 17¼(?) ¹⁰⁸	+72¼½	2	β UMi
7	Северная звезда той же стороны	Рак 26¼	+74¼½	2	γ UMi
Всего 7 звезд, из которых 2 второй величины, 1 третьей, 4 четвертой.					

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Не вошедшая в фигуру, около нее					
8	Одна звезда четвертой величины, на одной прямой с последующей стороной [четыреугольника] к югу от нее	Рак 13	+71½	4	5(A) UMi
Созвездие Большой Медведицы					
1	Звезда на конце морды	Близнецы 25½	+39½½	4	ο UMa
2	Из двух в обоих глазах предшествующая	Близнецы 25½½	+43	5	2(A) UMa
3	Следующая за ней	Близнецы 26½	+43	5	π² UMa
4	Из двух на лбу предшествующая	Близнецы 26½	+47½	5	ρ UMa
5	Следующая за ней	Близнецы 26½	+47	5	σ² UMa
6	На конце переднего уха	Близнецы 28½	+50½	5	24(d) UMa
7	Из двух на шее предшествующая	Рак 0½	+43½½	4	τ UMa
8	Следующая за ней	Рак 2½	+44½	4	23(h) UMa
9	Более северная из двух на груди	Рак 9	+42	4	υ UMa
10	Более южная из них	Рак 11	+44(?) ¹⁰⁹	4-5	φ UMa
11	На левом колене	Рак 10½	+35	3	θ UMa
12	Северная из звезд на передней левой лапе	Рак 5½	+29½	3	ι UMa
13	Самая южная из них	Рак 6½	+28½	3	κ UMa
14	Над правым коленом	Рак 5½	+36	4	18(e) UMa
15	Под правым коленом	Рак 5½½	+33	4	15(f) UMa
16	Из звезд четырехугольника находящаяся на спине	Рак 17½	+49	2	α UMa
17	Из них же на паху	Рак 22½	+44½	2	β UMa
18	Звезда в начале хвоста	Лев 3½	+51	3	δ UMa
19	Последняя на заднем левом бедре	Лев 3	+46½	2	γ UMa
20	На конце задней левой лапы предшествующая	Рак 22½	+29½	3	λ UMa
21	Следующая за ней	Рак 24½	+28½	3	μ UMa
22	На левой подколенной впадине	Лев 1½	+35½	4-3	ψ UMa
23	Самая северная из звезд на правой задней лапе	Лев 9½½	+25½½	3	ν UMa
24	Из них более южная	Лев 10½(?) ¹¹⁰	+ 25	3	ξ UMa
25	Из трех на хвосте первая после начала	Лев 12½(?)	+53½	2	ε UMa
26	Средняя из них	Лев 18	+55½	2	ζ UMa
27	Третья на конце хвоста	Лев 29½½	+54	2	η UMa
Всего 27 звезд, из которых 6 второй величины, 8 третьей, 8 четвертой, 5 пятой.					

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Под [Большой Медведицей], не вошедшие в фигуру					
28	Под хвостом далеко к югу	Лев 27½½	+39½½	3	α CVn
29	Более темная, предшествующая ей	Лев 20½(??) ¹¹¹	+41½	5	β CVn
30	Из звезд между передними лапами Большой Медведицы и головой Льва, более южная	Рак 15	+ 17½	4	40(α) Lyn
31	Более северная из них	Рак 13½	+19½	4	38 Lyn
32	Из трех остальных темных, следующая	Рак 16½	+20	тускл.	10 LhMi(?)
33	Предшествующая ей	Рак 12½(??)	+22½(??) ¹¹²	тускл.	BSC 3809(?)
34	Предшествующая последней	Рак 11½	+20½(??)	тускл.	BSC 3612(?)
35	Звезда между передними лапами и Близнецами	Рак 0	+22½	тускл.	31 Lyn
Всего 8 звезд, не вошедших в фигуру; из них 1 третьей величины, 2 четвертой, 1 пятой, 4 тусклых.					
Созвездие Дракона					
1	Звезда на языке	Весы 26½	+76½	4	μ Dra
2	Звезда в пасти	Скорпион 11½½	+78½	4-3	ν Dra
3	Звезда выше глаза	Скорпион 13½	+75½	3	β Dra
4	Звезда на щеке	Скорпион 27½	+80½	4	ξ Dra
5	Звезда над головой	Скорпион 29½	+75½	3	γ Dra
6	Северная из трех по прямой в первом витке шеи	Стрелец 24½	+82½	4	39(b) Dra
7	Южная из них	Козерог 2½	+78½	4	46(c) Dra
8	Средняя из них	Стрелец 28½½	+80½	4	45(d) Dra
9	Следующая за ними, к востоку	Козерог 19½	+81½(??) ¹¹³	4	σ Dra
10	Южная на предшествующей стороне четырехугольника в следующем витке	Рыбы 8	+81½	4	π Dra
11	Более северная на ведущей стороне [четырехугольника]	Рыбы 20½	+83	4	δ Dra
12	Северная на следующей стороне	Овен 7½	+78½½	4	ϵ Dra
13	Южная на следующей стороне	Рыбы 22½½	+77½½	4	ρ Dra
14	Южная звезда треугольника на следующем витке	Овен 10½	+80½	5	σ Dra
15	Предшествующая из двух остальных звезд треугольника	Овен 21½	+81½(??) ¹¹⁴	5	ν Dra
16	Из них следующая	Овен 26½	+80½	5	τ Dra
17	Предшествующая из трех звезд в ближайшем треугольнике, который предшествует [последнему] ¹¹⁵	Близнецы 13½	+84½	4	ψ Dra

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
18	Южная из двух других звезд, образующих треугольник	Телец 20½	+83½(?) ¹¹⁶	4	χ Dra
19	Более северная из них	Телец 11½½	+84½½	4	φ Dra
20	Из двух малых звезд к западу от треугольника, последующая	Рак 28½	+87½	6	27(f) Dra
21	Предшествующая из них	Рак 21½	+86½½	6	ω Dra
22	Из следующих трех по прямой, более южная	Дева 9	+81¼	5	18(g) Dra
23	Средняя из этих трех	Дева 9½	+83(?) ¹¹⁷	5	19(h) Dra
24	Более северная из них	Дева 8½	+84½½	3	ζ Dra
25	Из двух следующих к западу, более северная	Дева 10	+78	3	η Dra
26	Из них более южная	Дева 13(?) ¹¹⁸	+74½	4-3	θ Dra
27	Звезда к западу от них в завитке, ближайшем к хвосту	Дева 12½	+70	3	ι Dra
28	Предшествующая из двух на достаточном расстоянии от нее	Лев 7½	+64½	4	10(i) Dra
29	Следующая из этих двух	Лев 11½	+65½	3	α Dra
30	Примыкающая к ним у хвоста	Рак 19½	+61¼	3	κ Dra
31	Последняя на конце хвоста	Рак 13½	+56¼	3	λ Dra

Всего 31 звезда, из которых 8 третьей величины, 16 четвертой, 5 пятой, 2 шестой.

Созвездие Цефея

1	Звезда на правой ступне	Телец 5	+75½	4	κ Cep
2	Звезда на левой ступне	Телец 3	+64¼	4	γ Cep
3	Звезда под поясом с правого бока	Овен 7½	+71¼	4	β Cep
4	Звезда над правым плечом, касающаяся его	Рыбы 16½	+69	3	α Cep
5	Звезда над правым локтем, касающаяся его	Рыбы 9½	+72	4	η Cep
6	Звезда под правым локтем, также касающаяся его	Рыбы 10	+74	4	θ Cep
7	Звезда на груди	Рыбы 28½	+65½	5	ξ Cep
8	Звезда на левой руке	Овен 7½	+62½	4-3	ι Cep
9	Южная из трех на венце	Рыбы 16½	+60¼	5	ε Cep
10	Средняя из этих трех	Рыбы 17½	+61¼(?) ¹¹⁹	4	ζ Cep
11	Самая северная из трех	Рыбы 19	+61½	5	λ Cep

Всего 11 звезд, из них 1 третьей величины, 7 четвертой, 3 пятой.

Не вошедшие в фигуру вокруг Цефея

12	Предшествующая венцу	Рыбы 13½	+64	5	μ Cep
13	Следующая за венцом	Рыбы 21½	+59½	4	δ Cep

Две не вошедшие в фигуру, из которых 1 четвертой величины и 1 пятой.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Волопаса					
1	Из трех в левой руке, предшествующая	Дева 2½	+58½	5	κ Boo
2	Средняя и более южная из трех	Дева 4½	+58½	5	ι Boo
3	Последующая из трех	Дева 5½(?) ¹²⁰	+60½	5	θ Boo
4	Звезда на левом локте	Дева 9½	+54½	5	λ Boo
5	Звезда на левом плече	Дева 19½	+49	3	γ Boo
6	Звезда на голове	Дева 26½	+53½½	4-3	β Boo
7	Звезда на правом плече	Весы 5½	+48½	4-3	δ Boo
8	Более северная, чем они, и на палице	Весы 5½	+53¼	4	μ Boo
9	Более северная, чем эта, на конце палицы	Весы 5	+57½	4	ν Boo
10	Более северная из двух на палице ниже плеча	Весы 7½	+46½(?) ¹²¹	4-3	η CrB(?)
11	Более южная из них	Весы 8½	+45½	5	ο CrB
12	Звезда на конце правой руки	Весы 8½	+41½	5	45(c) Boo(?)
13	Ведущая звезда из двух на кисти	Весы 6½	+41½	5	ψ Boo(?)
14	Из них последующая	Весы 7	+42½	5	46(b) Boo(?)
15	На конце ручки палицы	Весы 7½	+40½	5	ω Boo(?)
16	Звезда на правом бедре на опоясании	Весы 0	+40¼	3	ε Boo
17	Последующая из двух на поясе	Дева 25½	+41½	4	σ Boo
18	Предшествующая из них	Дева 25	+42½	4-3	ρ Boo
19	Звезда на правой пятке	Весы 5½	+28	3	ζ Boo
20	Более северная из трех на левой голени	Дева 21½	+28	3	η Boo
21	Средняя из этих трех	Дева 20½	+26½	4	τ Boo
22	Южная из них	Дева 21½	+25	4	υ Boo
Всего 22 звезды, из которых 4 третьей величины, 9 четвертой, 9 пятой.					
Не вошедшая в фигуру [Волопаса], под ним					
23	Звезда между бедрами, называемая Арктуром, красноватая	Дева 27	+31½	1	α Boo
Одна звезда первой величины.					
Созвездие Северной Короны					
1	Яркая звезда на короне	Весы 14½	+44½	2-1	α CrB
2	Звезда, предшествующая всем	Весы 11½	+46½(?) ¹²²	4-3	β CrB
3	Следующая за ней, более северная	Весы 11½½	+48	5	θ CrB
4	Следующая за этой и более северная	Весы 13½	+50½	6	π CrB
5	Следующая за яркой с юга ¹²³	Весы 17½	+44½¼	4	γ CrB

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
6	Следующая за этой близко	Весы 19½	+44½⅓	4	δ CrB
7	После них следующая	Весы 21½	+46½	4	ε CrB
8	Последняя за всеми [звез- дами] Короны	Весы 21¾	+49½	4	ι CrB

Всего 8 звезд, из которых 1 второй величины, 5 четвертой, 1 пятой, 1 шестой.

Созвездие Коленопреклоненного¹²⁴

54	1	Звезда на голове	Скорпион 17¾	+37½	3	α Her
	2	Звезда на правом плече у подмышки	Скорпион 3¾	+43	3	β Her
	3	Звезда на правой руке	Скорпион 1¾	+40½	3	γ Her
	4	Звезда на правом локте	Весы 28	+37½	4	κ Her
	5	Звезда на левом плече	Скорпион 16¾	+48	3	δ Her
	6	Звезда на левой руке	Скорпион 22	+49½	4-3	λ Her
	7	Звезда на левом локте	Скорпион 27¾	+52	4-3	μ Her
	8	Из трех звезд на левой кисти последующая	Стрелец 5½	+52½⅓	4-3	ο Her
	9	Северная из двух осталь- ных	Стрелец 1¾	+54	4-3	ν Her
	10	Южная из них	Стрелец 1½	+53	4	ξ Her
	11	Звезда на правом боку	Скорпион 3½⅓	+53½(?) ¹²⁵	3	ζ Her
	12	Звезда на левом боку	Скорпион 10½	+53½	5(?) ¹²⁶	ε Her
	13	Более северная этой на левой ягодице	Скорпион 10	+56½(?) ¹²⁷	5	59(d) Her
	14	Звезда в начале того же бедр	Скорпион 11½	+58½	3	61(c) Her
	15	Предшествующая звезда из трех на левом бедре	Скорпион 14	+59½⅓	4	π Her
	16	Следующая за ней	Скорпион 15½	+60½(?) ¹²⁸	4	69(e) Her
	17	Звезда, следующая и за этой	Скорпион 16½	+61¼	4-3	ρ Her
	18	Звезда на левом колене	Стрелец 0½⅓	+61	4	θ Her
	19	Звезда на левой голени	Скорпион 22½	+69½	4	ι Her
	20	Ведущая звезда из трех на левой ступне	Скорпион 15½	+70¼(?) ¹²⁹	6	74(x) Her
	21	Средняя из этих трех	Скорпион 16½⅓	+71¼	6	77(y) Her
	22	Последующая из них	Скорпион 19¾	+72¼(?) ¹³⁰	6	82(z) Her
	23	Звезда в начале правого бедр	Скорпион 0¾	+60¼(?) ¹³¹	4-3	η Her
	24	Более северная, на том же бедре	Весы 25½	+63	4	σ Her
	25	Звезда на правом колене	Весы 15¾	+65½	4-3	τ Her
	26	Более южная из двух звезд под правым коленом	Весы 13¾	+63¾	4	φ Her
	27	Из них более северная	Весы 10½	+64¼	4	υ Her
	28	Звезда на правой голени	Весы 11½	+60	4	χ Her

Звезда на конце правой ступни, тождественная со звездой на конце палицы Волопаса¹³².

Не считая последнюю, 28 звезд, из которых 6 третьей величины, 17 четвертой, 2 пятой, 3 шестой.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Вне этого созвездия, не вошедшая в фигуру					
29	Звезда, расположенная южнее той, что на правой руке	Скорпион 22½	+38¼	5	ω Her(?)
Одна звезда пятой величины.					
Созвездие Лиры					
1	Яркая звезда на раковине ¹³³ , называемая Лирой	Стрелец 17½	+62	1	α Lyr
2	Северная из двух смежных, прилежащих к ней	Стрелец 20½	+62½	4-3	ε Lyr
3	Более южная из них	Стрелец 20½	+61	4-3	ζ Lyr
4	Следующая за ними посередине у основания рогов [Лиры] ¹³⁴	Стрелец 23½	+60	4	δ Lyr(?)
5	Северная из двух смежных к востоку от раковины	Козерог 2	+61½	4	η Lyr
6	Более южная из них	Козерог 1½	+60½	4	θ Lyr
7	Более северная из двух предыдущих в креплении	Стрелец 21	+56¼	3	β Lyr
8	Более южная из них	Стрелец 20½½	+55	4-5	ν Lyr(?)
9	Более северная из двух последующих в креплении	Стрелец 24¼	+55½	3	γ Lyr
10	Более южная из них	Стрелец 24¼(?) ¹³⁵	+54½¼	4-5	λ Lyr
Всего 10 звезд, из которых 1 первой величины, 2 третьей, 7 четвертой.					
Созвездие Птицы ¹³⁶					
1	Звезда на клюве	Козерог 4½	+49(?) ¹³⁷	3	β Cyg
2	Следующая за ней, на голове	Козерог 9	+50½	5	φ Cyg
3	Звезда на середине шеи	Козерог 16½	+54½	4-3	η Cyg
4	Звезда на груди	Козерог 28½	+57½	3	γ Cyg
5	Яркая звезда на хвосте	Водолей 9¼	+60	2	α Cyg
6	Звезда на сгибе правого крыла	Козерог 19½(?)	+64½	3	δ Cyg
7	Южная из трех на правом крыле	Козерог 22½	+69½	4	θ Cyg
8	Средняя из этих трех	Козерог 21¼	+71½	4-3	ι Cyg
9	Северная из них, на конце крыла	Козерог 16½(?) ¹³⁸	+74	4-3	κ Cyg
10	Звезда на сгибе левого крыла	Водолей 0½½	+49½	3	ε Cyg
11	Более северная от этой на середине того же крыла	Водолей 3½½	+52¼	4-3	λ Cyg
12	Звезда на конце левого крыла	Водолей 6½	+44	3	ζ Cyg
13	Звезда на левой лапе	Водолей 10	+55¼	4-3	ν Cyg
14	Звезда на левом колене	Водолей 14½	+57	4-3	ξ Cyg

60

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
15	Предшествующая из двух на правой лапе	Водолей $1\frac{1}{6}$	+64	4	σ^1 Cyg
16	Следующая из них	Водолей $2\frac{2}{3}$	+64 $\frac{1}{2}$	4	σ^2 Cyg
17	Туманная звезда ¹³⁹ на правом колене	Водолей $12\frac{1}{6}$	+64 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	5	ω Cyg

Всего 17 звезд, из которых 1 второй величины, 5 третьей, 9 четвертой, 2 пятой.

Не вошедшие в фигуру [Птицы], соседние

18	Более южная из двух звезд под левым крылом	Водолей $10\frac{2}{3}$	+49 $\frac{2}{3}$	4-3	τ Cyg
19	Более северная из них	Водолей $13\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+51 $\frac{2}{3}$	4-3	σ Cyg

Всего 2 звезды четвертой величины.

Созвездие Кассиопеи

62

1	Звезда на голове	Овен $7\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+45 $\frac{1}{3}$	4-3	ζ Cas
2	Звезда на груди	Овен $10\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+46 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	3	α Cas
3	Более северная на поясе	Овен 13	+47 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	η Cas
4	Звезда над троном у бедер	Овен $16\frac{2}{3}$	+49	3-2	γ Cas
5	Звезда на коленях	Овен $20\frac{2}{3}$	+45 $\frac{1}{2}$	3	δ Cas
6	Звезда на голени	Овен 27	+47 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	ϵ Cas
7	Звезда на конце ноги	Телец $1\frac{2}{3}$ (?) ¹⁴⁰	+47 $\frac{1}{3}$	4	ι Cas
8	Звезда на левой руке	Овен $14\frac{2}{3}$	+44 $\frac{1}{3}$	4	θ Cas(?)
9	Звезда ниже левого локтя	Овен $17\frac{2}{3}$	+45	5	φ Cas(?)
10	Звезда на правом локте	Овен $2\frac{1}{3}$	+50	6	σ Cas
11	Звезда над подножием трона	Овен 15	+52 $\frac{2}{3}$	4-5	κ Cas
12	Звезда на середине спинки трона	Овен $7\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+51 $\frac{2}{3}$	3	β Cas
13	Звезда на конце спинки трона	Овен $3\frac{2}{3}$	+51 $\frac{2}{3}$	6	ρ Cas

Всего 13 звезд, из которых 4 третьей величины, 6 четвертой, 1 пятой, 2 шестой.

Созвездие Персея

1	Туманное скопление на конце правой руки	Овен $26\frac{2}{3}$	+40 $\frac{1}{2}$	тум.	h, χ Per
2	Звезда на правом локте	Телец $1\frac{1}{6}$	+37 $\frac{1}{2}$	4	η Per
3	Звезда на правом плече	Телец $2\frac{2}{3}$	+34 $\frac{1}{2}$	3-4	γ Per
4	Звезда на левом плече	Овен $27\frac{1}{2}$	+32 $\frac{1}{3}$	4	θ Per
5	Звезда на голове	Телец $0\frac{2}{3}$	+34 $\frac{1}{2}$	4	τ Per
6	Звезда на лопатках	Телец $1\frac{1}{2}$	+31 $\frac{1}{6}$	4	ι Per
7	Яркая звезда на правом боку	Телец $4\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+30	2	α Per
8	Предшествующая из трех, стоящих за звездой на боку	Телец $5\frac{1}{3}$	+27 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	σ Per
9	Средняя из этих трех	Телец 7	+27 $\frac{2}{3}$	4	ψ Per
10	Следующая из них	Телец $7\frac{2}{3}$	+27 $\frac{1}{3}$	3	δ Per
11	Звезда на левом локте	Телец $0\frac{1}{2}$	+27	4	κ Per

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
12	Яркая из тех, что на голове Медузы	Овен 29 $\frac{2}{3}$	+23	2	β Per
13	Следующая за ней	Овен 29 $\frac{1}{6}$	+21	4	ω Per
14	Звезда, предшествующая яркой	Овен 27 $\frac{2}{3}$	+21	4	ρ Per
15	Предшествующая и этой последняя звезда	Овен 26 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+22 $\frac{1}{4}$	4	π Per
16	Звезда на правом колене	Телец 14 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+28(?) ¹⁴¹	4	72(b) Per
17	Предшествующая ей, под коленом	Телец 13	+28 $\frac{1}{6}$	4	λ Per
18	Предшествующая из двух, над сгибом колена	Телец 12 $\frac{1}{3}$	+25	4	48(c) Per
19	Следующая за ней, на самом сгибе колена	Телец 14	+26 $\frac{1}{4}$	4	μ Per
20	Звезда на правой икре	Телец 14 $\frac{1}{6}$	+24 $\frac{1}{2}$	5	53(d) Per
21	Звезда на правой лодыжке	Телец 16 $\frac{1}{3}$	+18 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	5(?)	58(e) Per
22	Звезда на левом бедре	Телец 6 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+21 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4-3	ν Per
23	Звезда на левом колене	Телец 8 $\frac{2}{3}$	+19 $\frac{1}{4}$	3	ε Per
24	Звезда на левой голени	Телец 8 $\frac{1}{3}$	+14 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	ξ Per
25	Звезда на левой пятке	Телец 4 $\frac{1}{6}$	+12	3-4	σ Per
26	Следующая за ней, на конце левой ноги	Телец 6 $\frac{1}{3}$	+11	3-2	ζ Per

Всего 26 звезд, из них 2 второй величины, 5 третьей, 16 четвертой, 2 пятой, 1 туманная.

Не вошедшие в фигуру вокруг Персея

27	Звезда к востоку от той, что на левом колене ¹⁴²	Телец 11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+18	5	52(f) Per
28	Звезда к северу от той, что на правом колене	Телец 15	+31	5	BSC 1314(?)
29	Предшествующая тем, что на голове Медузы	Овен 24 $\frac{2}{3}$	+20 $\frac{2}{3}$	тускл.	16 Per

Всего 3 звезды, 2 пятой величины, 1 тусклая.

Созвездие Возничего

1	Северная из двух, что на голове	Близнецы 2 $\frac{1}{2}$	+30	4	δ Aug
2	Более северная, над головой	Близнецы 2 $\frac{1}{3}$	+31 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ (?) ¹⁴³	4	ξ Aug
3	Звезда на левом плече, так называемая Коза [Капелла]	Телец 25	+22 $\frac{1}{2}$	1	α Aug
4	Звезда на правом плече	Близнецы 2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+20	2	β Aug
5	Звезда на правом локте	Близнецы 1 $\frac{1}{6}$	+15 $\frac{1}{4}$	4	ν Aug
6	Звезда на правой кисти	Близнецы 2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+13 $\frac{1}{3}$	4-3	θ Aug
7	Звезда на левом локте	Телец 22	+20 $\frac{2}{3}$	4-3	ε Aug
8	Из двух на левой кисти, называемых Козлятами, следующая	Телец 22 $\frac{1}{6}$	+18	4-3	η Aug
9	Предшествующая из них	Телец 22	+18	4	ζ Aug
10	Звезда на левой лодыжке	Телец 19 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+10 $\frac{1}{6}$ (?) ¹⁴⁴	3-4	ι Aug

64

66

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
11	Звезда на правой лодыжке, общая с рогом [Тельца] ¹⁴⁵	Телец 25½	+5	3-2	β Tau
12	Звезда к северу от нее, около нижнего края [одеяния] ¹⁴⁶	Телец 26	+8½	5	χ Aug
13	Еще более северная, на ягодице	Телец 26½	+12½	5	φ Aug
14	Маленькая звезда над левой ступней	Телец 20¾(?) ¹⁴⁷	+10½(?) ¹⁴⁸	6	14 Aug(?)

Всего 14 звезд, из них 1 первой величины, 1 второй, 2 третьей, 7 четвертой, 2 пятой, 1 шестой.

Созвездие Змееносца

1	Звезда на голове	Скорпион 24½½	+36	3-2	α Oph
2	Передняя из двух на правом плече	Скорпион 28	+27¼	4-3	β Oph
3	Задняя из этих двух	Скорпион 29	+26½	4	γ Oph
4	Передняя из двух на левом плече	Скорпион 13½	+33	4	ι Oph
5	Задняя из них	Скорпион 14¾	+31½½	4	κ Oph
6	Звезда на левом локте	Скорпион 8½	+24½(?) ¹⁴⁹	4	λ Oph
7	Передняя из двух на конце левой руки	Скорпион 5	+17	3	δ Oph
8	Задняя из них	Скорпион 6	+16½	3	ε Oph
9	Звезда на правом локте	Скорпион 26¾	+15	4	μ Oph
10	Передняя из двух на конце правой руки	Стрелец 2½	+13¾	4-5	ν Oph
11	Задняя из них	Стрелец 3½	+14½	4	τ Oph
12	Звезда на правом колене	Скорпион 21½	+7½	3	η Oph
13	Звезда на правой голени	Скорпион 23¾(?) ¹⁵⁰	+2¼	4-3	ξ Oph(?)
14	Передняя из четырех на правой ступне	Скорпион 23	-2¼(?) ¹⁵¹	4	36(A) Oph(?)
15	Следующая за ней	Скорпион 24½	-1½(?)	4-3	θ Oph(?)
16	Следующая за этой	Скорпион 25	-0½(?)	4	44(b) Oph(?)
17	Последняя из четырех, самая задняя	Скорпион 25½½	-0¼(?)	5	51(c) Oph(?)
18	Звезда, следующая за ними, касающаяся пятки	Скорпион 27½	+1	5	51 Oph ¹⁵²
19	Звезда на левом колене	Скорпион 12½	+11½½	3	ζ Oph
20	Северная из трех по прямой на левой голени	Скорпион 11¾	+5½	5-4	φ Oph
21	Средняя из них	Скорпион 10¾	+3½	5	χ Oph
22	Южная из этих трех	Скорпион 9½½	+1¾(?) ¹⁵³	5-4	ψ Oph
23	Звезда на левой пяте	Скорпион 12½	+0¾	5	ω Oph
24	Звезда, касающаяся подошвы левой ноги	Скорпион 10¾	-0½¼	4	ρ Oph

Всего 24 звезды, из них 5 третьей величины, 13 четвертой, 6 пятой.

[Но- мер]	Конфигурацин	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Не вошедшие в фигуру вокруг Змееносца					
25	Северная из трех, что к востоку от правого плеча	Стрелец 2	+28½	4	66(n) Oph
26	Средняя из трех	Стрелец 2½	+26½	4	67(o) Oph
27	Южная из них	Стрелец 3(?) ¹⁵⁴	+25	4	68(k) Oph
28	Следующая за тремя, как бы посередине	Стрелец 3½	+27	4	70(p) Oph
29	Уединенная звезда, более северная, чем эти четыре	Стрелец 4½	+33	4	72(s) Oph
Всего 5 звезд четвертой величины.					
Созвездие Змеи Змееносца ¹⁵⁵					
1	Звезда на конце нижней челюсти в четырехуголь- нике головы	Весы 18½½	+38	4	ι Ser
2	Звезда, касающаяся нозд- рей	Весы 21½	+40	4	ρ Ser
3	Звезда на виске	Весы 24½(?) ¹⁵⁶	+36	3	γ Ser
4	Звезда у начала шеи	Весы 22	+34½	3	β Ser
5	Средняя в четырехуголь- нике или во рту	Весы 21½	+37½	4	κ Ser
6	Звезда вне головы, к се- веру от нее	Весы 23½	+42½	4	π Ser
7	Звезда за первым изгибом шеи	Весы 21½	+29½	3	δ Ser
8	Северная звезда из трех за ней следующих	Весы 24½½	+26½	4	λ Ser
9	Средняя из этих трех	Весы 24½	+25½	3	α Ser
10	Южная из них	Весы 26½	+24	3	ε Ser
11	Звезда за следующим вт- ком, предшествующая ле- вой руке Змееносца	Весы 28½½	+16½	4	μ Ser
12	Звезда сзади тех, что на руке	Скорпион 8½	+13¼(?) ¹⁵⁷	5	ν Oph
13	Звезда за правым бедром Змееносца	Скорпион 23½	+10½	4	ν Ser
14	Южная из двух, следу- ющих за ней	Скорпион 27	+ 8½	4-3	ξ Ser
15	Северная из них	Скорпион 27½½	+10½½	4	ο Ser
16	Звезда за правой рукой на изгибе хвоста	Стрелец 3½	+20	4	ζ Ser
17	Следующая за ней, тоже на хвосте	Стрелец 8½	+21½	4-3	η Ser
18	Звезда на конце хвоста	Стрелец 18½	+27	4	θ Ser
Всего 18 звезд, из которых 5 третьей величины, 12 четвертой, 1 пятой.					
Созвездие Стрелы					
1	Уединенная звезда на ос- трие	Козерог 10½	+39½	4	γ Sge
2	Задняя из трех на древке	Козерог 6½	+39½	6	ζ Sge
3	Средняя из них	Козерог 5½½	+39½	5	δ Sge

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
4	Передняя из трех	Козерог $42\frac{1}{2}$	+39	5	α Sge
5	Звезда на конце выреза	Козерог $31\frac{1}{2}$	+38 $\frac{2}{3}$ (?) ¹⁵⁸	5	β Sge

Всего 5 звезд, из них 1 четвертой величины, 3 пятой, 1 шестой.

Созвездие Орла

1	Звезда посередине головы	Козерог $71\frac{1}{6}$	+26 $\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	4	τ Aql
2	Предшествующая ей, на шею	Козерог $41\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	+27 $\frac{1}{6}$	3	β Aql
3	Яркая звезда на спине, называемая Орлом	Козерог $31\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	+29 $\frac{1}{6}$	2-1	α Aql
4	Близкая к ней, к северу	Козерог $42\frac{1}{2}$	+30	3-4	σ Aql(?)
5	Передняя из двух на левом плече	Козерог $31\frac{1}{6}$	+31 $\frac{1}{2}$	3	γ Aql
6	Задняя из них	Козерог 6	+31 $\frac{1}{2}$	5	φ Aql
7	Передняя из двух на правом плече	Стрелец $29\frac{2}{3}$	+28 $\frac{2}{3}$	5	μ Aql
8	Следующая за ней	Козерог $11\frac{1}{6}$	+26 $\frac{2}{3}$	5-4	σ Aql
9	Звезда на некотором расстоянии ниже хвоста Орла, касающаяся Млечного Пути	Стрелец $22\frac{1}{6}$	+36 $\frac{1}{3}$	3	ζ Aql

Всего 9 звезд, из них 1 второй величины, 4 третьей, 1 четвертой, 3 пятой.

Звезды около Орла, которым присвоено имя «Антиной»¹⁵⁹

10	Передняя из двух к югу от головы Орла	Козерог $32\frac{1}{3}$	+21 $\frac{2}{3}$	3	η Aql
11	Задняя из них	Козерог $81\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	+19 $\frac{1}{6}$	3	θ Aql
12	Звезда к юго-западу от правого плеча Орла	Стрелец 26	+25	4-3	δ Aql
13	Звезда к югу от этой	Стрелец $281\frac{1}{2}$	+20	3	ι Aql
14	Еще более южная	Стрелец $29\frac{2}{3}$	+15 $\frac{1}{2}$	5	κ Aql
15	Стоящая впереди всех	Стрелец $211\frac{1}{6}$	+18 $\frac{1}{6}$	3	λ Aql

Всего 6 звезд, из которых 4 третьей величины, 1 четвертой, 1 пятой.

Созвездие Дельфина

1	Передняя из трех на хвосте	Козерог $172\frac{1}{3}$	+29 $\frac{1}{6}$	3-4	ε Del
2	Северная из двух остальных	Козерог $182\frac{1}{3}$	+29	4-5	ι Del
3	Южная из них	Козерог $182\frac{1}{3}$	+27 $\frac{1}{2}\frac{1}{4}$	4	κ Del
4	Южная звезда на передней стороне ромбовидного четырехугольника	Козерог $181\frac{1}{2}$	+32	3-4	β Del
5	Северная звезда на передней стороне	Козерог $201\frac{1}{6}$ (?) ¹⁶⁰	+33 $\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ (?)	3-4	α Del
6	Южная звезда на задней стороне ромба	Козерог $211\frac{1}{3}$	+32	3-4	δ Del
7	Северная звезда на задней стороне	Козерог $231\frac{1}{6}$	+33 $\frac{1}{6}$	3-4	γ Del
8	Южная из трех между хвостом и ромбом	Козерог $171\frac{1}{2}$	+30 $\frac{1}{4}$ (?) ¹⁶¹	6	η Del

[Номер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Величины	[Современные обозначения]
9	Передняя из двух остальных северных	Козерог 17½	+31½½	6	ζ Del
10	Последняя, следующая за этой	Козерог 19	+31½	6	θ Del

Всего 10 звезд, из которых 5 третьей величины, 2 четвертой, 3 шестой.

Созвездие Головы Коня¹⁶²

1	Передняя из двух звезд на голове	Козерог 26½	+20½	Тускл.	α Equ
2	Следующая за ней	Козерог 28	+20½	Тускл.	β Equ
3	Передняя из двух во рту	Козерог 26½	+25½	Тускл.	γ Equ
4	Следующая за ней	Козерог 27½	+25	Тускл.	δ Equ

Всего 4 тусклые звезды.

Созвездие Коня¹⁶³

1	Звезда на пупке, общая со звездой на голове Андромеды	Рыбы 17½½	+26	2-3	α And ¹⁶⁴
2	Звезда на пояснице у конца крыла	Рыбы 12½	+12½	2-3	γ Peg
3	Звезда на правом плече у начала ноги	Рыбы 2½	+31	2-3	β Peg
4	Звезда на спине у плечевой части крыла	Водолей 26½	+19½	2-3	α Peg
5	Более северная из двух на теле под крылом	Рыбы 4½	+25½	4	τ Peg
6	Более южная из них	Рыбы 5	+25	4	ν Peg
7	Более северная из двух на правом колене	Водолей 29	+35	3	η Peg
8	Более южная из них	Водолей 28½	+34½	5	ο Peg
9	Передняя из двух смежных на груди	Водолей 26½	+29	4	λ Peg
10	Задняя из них	Водолей 27	+29½	4	μ Peg
11	Передняя из двух смежных на шее	Водолей 18½½	+18	3	ζ Peg
12	Задняя из них	Водолей 20½	+19	4	ξ Peg
13	Из двух на гриве более южная	Водолей 21½	+15	5	ρ Peg
14	Более северная	Водолей 20½	+16	5	σ Peg
15	Из двух близких на голове более северная	Водолей 9½(?) ¹⁶⁵	+16½	3	θ Peg
16	Более южная	Водолей 8	+16	4	ν Peg
17	Звезда на морде	Водолей 5½	+22½	3-2	ε Peg
18	Звезда на правой лодыжке	Водолей 23½	+41½	4-3	π Peg
19	Звезда на левом колене	Водолей 17½	+34½	4-3	ι Peg
20	Звезда на левом коленном сухожилии	Водолей 12½	+36½½	4-3	κ Peg

Всего 20 звезд, из которых 4 второй величины, 4 третьей, 9 четвертой, 3 пятой.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Андромеды					
1	Звезда между лопатками	Рыбы 25½	+24½	3	δ And
2	Звезда на правом плече	Рыбы 26½	+27	4	π And
3	Звезда на левом плече	Рыбы 24½	+23	4	ε And
4	Южная из трех на правом предплечье	Рыбы 23½	+32	4	σ And
5	Из них более северная	Рыбы 24½	+33½	4	θ And
6	Средняя из трех	Рыбы 25	+32½	5	ρ And
7	Южная из трех на конце правой руки	Рыбы 19½	+41	4	ι And
8	Средняя из них	Рыбы 20½	+42	4	κ And
9	Северная из трех	Рыбы 22½	+44	4	λ And
10	Звезда на левом предплечье	Рыбы 24½	+17½	4	ζ And
11	Звезда на левом локте	Рыбы 25½	+15½½	4	η And
12	Более южная из трех над поясом	Овен 3½½	+26½	3	β And
13	Средняя из них	Овен 1½½	+30	4	μ And
14	Северная из трех	Овен 2	+32½	4	ν And
15	Звезда над левой ступней	Овен 16½½	+28	3	γ And
16	Звезда на правой ступне	Овен 17½	+37½	4-5	φ Per
17	Звезда южнее этой	Овен 15½	+35½	4-3	51 And ¹⁶⁶
18	Северная из двух на левом коленном сгибе	Овен 12½	+29	4	υ And
19	Южная из них	Овен 12	+28	4	τ And
20	Звезда на правом колене	Овен 10½	+35½	5	φ And
21	Из двух на бахrome более северная	Овен 12½	+34½	5	49(A) And(?)
22	Южная из них	Овен 14½	+32½	5	χ And(?)
23	Предшествующая трем на правой руке, вне руки	Овен 11½	+44	3	ο And

Всего 23 звезды, из них 4 третьей величины, 15 четвертой, 4 пятой.

Созвездие Треугольника

1	Звезда в вершине треугольника	Овен 11	+16½	3	α Tri
2	Передняя из трех на основании	Овен 16	+20½	3	β Tri
3	Средняя из них	Овен 16½	+19½	4	δ Tri
4	Задняя из трех	Овен 16½½	+19	3	γ Tri

Всего 4 звезды, из них 3 третьей величины, 1 четвертой.

В северном полушарии всего 360 звезд, из них 3 первой величины, 18 второй, 81 третьей, 177 четвертой, 58 пятой, 13 шестой, 9 тусклых, 1 туманная.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездия [северной части] зодиака					
Созвездие Овна					
1	Передняя звезда из двух на рогах	Овен 6 $\frac{2}{3}$	+7 $\frac{1}{2}$	3-4	γ Ari
2	Задняя из них	Овен 7 $\frac{2}{3}$	+8 $\frac{1}{2}$	3	β Ari
3	Более северная из двух на морде	Овен 11	+7 $\frac{2}{3}$	5	η Ari
4	Более южная из них	Овен 11 $\frac{1}{2}$	+6	5	θ Ari
5	Звезда на шее	Овен 6 $\frac{1}{2}$ (?) ¹⁶⁷	+5 $\frac{1}{2}$	5	ι Ari
6	Звезда на бедрах	Овен 17 $\frac{2}{3}$	+6	6	ν Ari
7	Звезда в начале хвоста	Овен 21 $\frac{1}{3}$	+4 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	5	ε Ari
8	Передняя из трех на хвосте	Овен 23 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+1 $\frac{2}{3}$	4	δ Ari
9	Средняя из трех	Овен 25 $\frac{1}{3}$	+2 $\frac{1}{2}$	4	ζ Ari
10	Последняя из них	Овен 27	+1 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	τ Ari
11	Звезда на заднем бедре	Овен 19 $\frac{2}{3}$	+1 $\frac{1}{2}$ (?) ¹⁶⁸	5	ρ Ari
12	Звезда под коленом	Овен 18	-1 $\frac{1}{2}$	5	σ Ari
13	Звезда на конце задней ноги	Овен 15	-5 $\frac{1}{4}$	4-3	μ Cet
Всего 13 звезд, из которых 2 третьей величины, 4 четвертой, 6 пятой, 1 шестой.					
Около Овна, не вошедшие в фигуру					
14	Звезда над головой, которую Гиппарх называет «звезда на морде» ¹⁶⁹	Овен 10 $\frac{2}{3}$	+10(?) ¹⁷⁰	3-2	α Ari
15	Из четырех над крестцом задняя и более яркая	Овен 21 $\frac{2}{3}$	+10 $\frac{1}{6}$	4	41(c) Ari
16	Из трех более тусклая северная	Овен 21 $\frac{1}{3}$	+12 $\frac{2}{3}$	5	39 Ari
17	Средняя из трех	Овен 19 $\frac{2}{3}$	+11 $\frac{1}{6}$	5	35 Ari
18	Южная из них	Овен 19 $\frac{1}{6}$	+10 $\frac{2}{3}$	5	33 Ari
Всего 5 звезд, из которых 1 третьей величины, 1 четвертой, 3 пятой.					
Созвездие Тельца					
1	Северная из четырех на срезе ¹⁷¹	Овен 26 $\frac{1}{3}$	-6	4	5(f) Tau
2	Близкая к ней	Овен 26	-7 $\frac{1}{4}$	4	4(s) Tau
3	Близкая и к этой	Овен 24 $\frac{1}{3}$ (?) ¹⁷²	-8 $\frac{1}{2}$	4	ξ Tau
4	Самая южная из четырех	Овен 24 $\frac{1}{3}$	-9 $\frac{1}{4}$	4	$\circ$ Tau
5	Следующая за ними на правой лопатке	Овен 29 $\frac{2}{3}$	-9 $\frac{1}{2}$	5	30(e) Tau
6	Звезда на груди	Телец 3 $\frac{2}{3}$	-8	3	λ Tau
7	Звезда на правом колене	Телец 6 $\frac{2}{3}$	-12 $\frac{2}{3}$	4	μ Tau
8	Звезда на правом коленном сухожилии	Телец 3	-14 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	ν Tau
9	Звезда на левом колене	Телец 12 $\frac{1}{6}$	-10	4	90(c ¹) Tau
10	Звезда на левой голени	Телец 13 (?) ¹⁷³	-13(?) ¹⁷⁴	4	88(d) Tau

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Велн- чины	[Современные обозначения]
11	Звезды на морде и так называемые Гиады: звезда на ноздрях	Телец 9	-5½¼	3-4	γ Tau
12	Звезда между этой и се- верным глазом	Телец 10¼	-4¼(?) ¹⁷⁵	3-4	δ ¹ Tau
13	Звезда между этой [№11] и южным глазом	Телец 10½¼	-5½¼	3-4	θ ¹ Tau
14	Яркая из Гиад, на южном глазу, красноватая	Телец 12¼	-5½	1	α Tau
15	Последняя из Гиад, на северном глазу	Телец 11½¼(?) ¹⁷⁶	-3	3-4	ε Tau
16	Звезда у начала южного рога и уха	Телец 17¼(?) ¹⁷⁷	-4	4	97(i) Tau
17	Из двух на южном роге более южная	Телец 20¼	-5	5	104(m) Tau
18	Более северная из них	Телец 20	-3½	5	106(l) Tau
19	Звезда на конце южного рога	Телец 27¼	-2½	3	ζ Tau
20	Звезда у начала северного рога	Телец 15¼	-0¼(?) ¹⁷⁸	4	τ Tau
21	Звезда на конце северного рога, тождественная со звездой на правой ноге Возничего ¹⁷⁹	Телец 25¼	+5	3(?)	β Tau
22	Более северная из двух близких на северном ухе	Телец 12	+0½	5	ν Tau
23	Более южная из них	Телец 11¼	+0¼	5	κ Tau
24	Передняя из двух ма- леньких на шее	Телец 7	+0¼	5	37(A ¹) Tau
25	Следующая за ней	Телец 9	-1(?) ¹⁸⁰	6	ω Tau
26	Самая южная на передней стороне четырехугольни- ка, что на шее	Телец 8 (?) ¹⁸¹	+5	5	44(p) Tau
27	Северная на передней стороне	Телец 8½(?)	+7¼(?) ¹⁸²	5	ψ Tau(?)
28	Более южная на задней стороне	Телец 12	+3	5	χ Tau
29	Более северная на задней стороне	Телец 11¼	+5	5	φ Tau
30	Северный конец передней стороны Плеяд ¹⁸³	Телец 2¼	+4½	5	19 Tau(?)
31	Южный конец передней стороны	Телец 2½	+3¾	5	23 Tau (?)
32	Задний и самый узкий конец Плеяд	Телец 3¾	+3½	5	27 Tau(?)
33	Маленькая звезда к северу от Плеяд	Телец 3¾	+5	4(?)	BSC 1188(?)

Всего 32 звезды, из которых 1 первой величины, 6 третьей, 11 четвертой, 13 пятой, 1 шестой.

[Но- мер]	Конфигурацин	Градусы долготы	Градусы широты	Велн- чины	[Современные обозначения]
Около Тельца, не вошедшие в фигуру					
34	Звезда под правой ногой и лопаткой	Овен 25	-17½	4	10 Tau
35	Передняя из трех над южным рогом	Телец 20	-2	5	ι Tau
36	Средняя из трех	Телец 24 (?) ¹⁸⁴	-1½¼	5	109(п) Tau
37	Последняя из них	Телец 26	-2	5	114(о) Tau
38	Более северная из двух под концом южного рога	Телец 29	-6½	5	126 Tau(?)
39	Более южная из них	Телец 29	-7½	5	129 Tau(?)
40	Передняя из 5 следующих под южным рогом	Телец 27	+0½	5	121 Tau(?)
41	Следующая за ней	Телец 29	+1	5	125 Tau(?)
42	Следующая за этой	Близнецы 1	+1½	5	132 Tau(?)
43	Из двух остающихся зад- них северная	Близнецы 2½	+3½	5	136 Tau(?)
44	Более южная из них	Близнецы 3½	+1¼	5	139 Tau(?)
Всего 11 звезд, из которых 1 четвертой величины, 10 пятой.					
Созвездие Близнецов					
1	Звезда на голове передне- го близнеца	Близнецы 23½	+9½(?) ¹⁸⁵	2	α Gem
2	Красноватая звезда на го- лове заднего близнеца	Близнецы 26½	+6¼	2	β Gem
3	Звезда на левом пред- плечье переднего близне- ца	Близнецы 16½	+10	4	θ Gem
4	Звезда на том же самом предплечье	Близнецы 18½	+7½	4	τ Gem
5	Звезда, следующая за ней, между лопатками	Близнецы 22	+5½	4	ι Gem
6	Следующая за этой, на правом плече того же близнеца	Близнецы 24	+4½¼	4	ν Gem
7	Звезда на заднем плече следующего близнеца	Близнецы 26½	+2½	4	κ Gem
8	Звезда на правом боку переднего близнеца	Близнецы 21½	+2½	5	57(A) Gem
9	Звезда на левом боку зад- него близнеца	Близнецы 23½(?) ¹⁸⁶	+0½(?) ¹⁸⁷	5	58 Gem(?)
10	Звезда на левом колене переднего близнеца	Близнецы 13	+1½	3	ε Gem
11	Звезда под левым коленом заднего близнеца	Близнецы 18¼(?) ¹⁸⁸	-2½	3	ζ Gem
12	Звезда на левом паху зад- него близнеца	Близнецы 21½	-0½	3	δ Gem
13	Звезда на сгибе правого колена того же близнеца	Близнецы 21½(?) ¹⁸⁹	-6(?) ¹⁹⁰	3	λ Gem
14	Звезда на конце ведущей ноги переднего близнеца	Близнецы 6½	-1½	4-3	η Gem

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
15	Следующая за ней, на той же ноге	Близнецы $8\frac{1}{2}(?)^{191}$	$-1\frac{1}{4}$	4-3	μ Gem
16	Звезда на конце правой ноги переднего близнеца	Близнецы $10\frac{1}{6}$	$-3\frac{1}{2}$	4-3	ν Gem
17	Звезда на конце левой ноги заднего близнеца	Близнецы 12	$-7\frac{1}{2}$	3	γ Gem
18	Звезда на конце правой ноги заднего близнеца	Близнецы $14\frac{2}{3}$	$-10\frac{1}{2}$	4	ξ Gem

Всего 18 звезд, из которых 2 второй величины, 5 третьей, 9 четвертой, 2 пятой.

Около Близнецов, не вошедшие в фигуру

19	Предшествующая передней ноге ведущего близнеца	Близнецы $4\frac{1}{6}$	$-0\frac{2}{3}$	4	1(H) Gem
20	Предшествующая переднему колену, яркая	Близнецы $6\frac{1}{2}$	$+5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	4-3	κ Aur
21	Предшествующая левому колену заднего близнеца	Близнецы $15\frac{1}{6}$	$-2\frac{1}{4}$	5	36(d) Gem
22	Северная из трех звезд по прямой, идущих за правой рукой заднего близнеца	Близнецы $28\frac{1}{3}$	$-1\frac{1}{3}$	5	85 Gem(?)
23	Средняя из трех	Близнецы $26\frac{1}{3}$	$-3\frac{1}{3}$	5	81(g) Gem(?)
24	Южная из них, у предплечья [правой руки]	Близнецы 26	$-4\frac{1}{2}$	5	74(f) Gem(?)
25	Следующая за тремя упомянутыми, яркая	Рак $0\frac{2}{3}(?)^{192}$	$-2\frac{2}{3}$	4	ζ Cnc(?)

Всего 7 звезд, из которых 3 четвертой величины, 4 пятой.

Созвездие Рака

1	Средняя звезда туманного скопления на груди, так называемые Ясли	Рак $10\frac{1}{3}$	$+0\frac{1}{3}(?)^{193}$	Тум.	М 44 ¹⁹⁴
2	Северная из двух предшествующих четырехугольнику около туманности	Рак $7\frac{2}{3}$	$+1\frac{1}{4}$	4-5	η Cnc
3	Более южная из двух предшествующих	Рак 8	$-1\frac{1}{6}$	4-5	θ Cnc
4	Северная из двух следующих за четырехугольником, так называемые Ослята	Рак $10\frac{1}{3}$	$+2\frac{2}{3}$	4-3	γ Cnc
5	Южная из двух упомянутых	Рак $11\frac{1}{3}$	$-0\frac{1}{6}$	4-3	δ Cnc
6	Звезда на южной клешне	Рак $16\frac{1}{2}$	$-5\frac{1}{2}$	4	α Cnc
7	Звезда на северной клешне	Рак $8\frac{1}{3}$	$+11\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	4	ι Cnc
8	Звезда на задней части северной лапы	Рак $2\frac{2}{3}$	$+1$	5	μ Cnc
9	Звезда на задней части южной лапы	Рак $7\frac{1}{6}$	$-7\frac{1}{2}(?)^{195}$	4-3	β Cnc

Всего 9 звезд, из которых 7 четвертой величины, 1 пятой, 1 туманная.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Около Рака, не вошедшие в фигуру					
10	Звезда над изгибом юж- ной клешни	Рак $19\frac{2}{3}(?)^{196}$	$-2\frac{1}{3}$	4-5	π Спс(?)
11	Следующая за концом южной клешни	Рак $21\frac{1}{6}(?)^{197}$	$-5\frac{2}{3}$	4-5	κ Спс
12	Передняя из двух, следу- ющих за туманностью	Рак 14	$+7\frac{1}{4}(?)^{198}$	5	ν Спс(?)
13	Задняя из них	Рак 17	$+4\frac{1}{2}\frac{1}{3}(?)$	5	ξ Спс(?)
4 звезды, из них четвертой величины 2, пятой 2.					
Созвездие Льва					
1	Звезда на конце ноздрей	Рак $18\frac{1}{3}$	+10	4	κ Leo
2	Звезда в пасти	Рак $21\frac{1}{6}$	$+7\frac{1}{2}$	4	λ Leo
3	Из двух на голове более северная	Рак $24\frac{1}{3}$	+12	3	μ Leo
4	Более южная из них	Рак $24\frac{1}{6}$	$+9\frac{1}{2}$	3-2	ϵ Leo
5	Северная из трех на шее	Лев $0\frac{1}{6}(?)^{199}$	+11	3	ζ Leo
6	Следующая, средняя из трех	Лев $2\frac{1}{6}$	$+8\frac{1}{2}$	2	γ Leo
7	Южная из них	Лев $0\frac{2}{3}$	$+4\frac{1}{2}$	3	η Leo
8	Звезда на сердце, так на- зываемый Регул	Лев $2\frac{1}{2}$	$+0\frac{1}{6}$	1	α Leo
9	Звезда к югу от нее, как бы на груди	Лев $3\frac{1}{2}$	$-1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	4	31 (A) Leo
10	Звезда, немного предшест- вующая той, что на серд- це	Лев 0	$-0\frac{1}{4}$	5	ν Leo
11	Звезда на правом колене	Рак $27\frac{1}{3}$	0	5	ψ Leo
12	Звезда на передней пра- вой лапе	Рак $24\frac{1}{6}$	$-3\frac{2}{3}$	5 (?)	ξ Leo
13	Звезда на передней левой лапе	Рак $27\frac{1}{3}$	$-4\frac{1}{6}$	4	σ Leo
14	Звезда на левом колене	Лев $2\frac{1}{2}$	$-4\frac{1}{4}$	4	π Leo
15	Звезда на левой подмыш- ке	Лев $9\frac{1}{6}$	$-0\frac{1}{6}$	4	ρ Leo
16	Передняя из трех на брю- хе	Лев 7	+4	6	46 (l) Leo
17	Северная из двух оста- ющихся задних	Лев $10\frac{1}{3}(?)^{200}$	$+5\frac{1}{3}$	6	52 (k) Leo
18	Южная из них	Лев $12\frac{1}{6}(?)^{201}$	$+2\frac{1}{3}$	6	53 (l) Leo
19	Передняя из двух на кре- сте	Лев $11\frac{1}{3}$	$+12\frac{1}{4}$	6 (?)	60 (b) Leo
20	Задняя из них	Лев $14\frac{1}{6}$	$+13\frac{2}{3}$	2-3	δ Leo
21	Северная из двух на кру- пе	Лев $14\frac{1}{3}(?)$	$+11\frac{1}{6}(?)^{202}$	5	81 Leo (?) ²⁰³
22	Южная из них	Лев $16\frac{1}{3}$	$+9\frac{2}{3}$	3	θ Leo
23	Звезда на задних бедрах	Лев $20\frac{1}{3}$	$+5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	3	ι Leo
24	Звезда на задних сгибах ног	Лев $21\frac{2}{3}$	$+1\frac{1}{4}$	4	σ Leo

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
25	Звезда к югу от нее, как бы на передних частях ног	Лев 24 $\frac{2}{3}$	-0 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	τ Leo
26	Звезда на задних когтях	Лев 27 $\frac{1}{2}$	-3 $\frac{1}{6}$ (?) ²⁰⁴	5	ν Leo
27	Звезда на конце хвоста	Лев 24 $\frac{1}{2}$	+11 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	1-2	β Leo

Всего 27 звезд, из них первой величины 2, второй 2, третьей 6, четвертой 8, пятой 5, шестой 4.

Около Льва, не вошедшие в фигуру

28	Передняя из двух над спиной	Лев 6(?) ²⁰⁵	+13 $\frac{1}{3}$	5	41 LMi
29	Задняя из них	Лев 8 $\frac{1}{6}$	+15 $\frac{1}{2}$	5	54 Leo
30	Северная из трех под брюхом	Лев 17 $\frac{1}{2}$	+1 $\frac{1}{6}$	4-5	χ Leo
31	Средняя из них	Лев 17 $\frac{1}{6}$	-0 $\frac{1}{2}$	5	59(c) Leo
32	Южная из них	Лев 18	-2 $\frac{2}{3}$	5	58(d) Leo
33	Северная часть туманного скопления между концами Льва и Медведицы, называемого Волосами [Вероники] ²⁰⁶	Лев 24 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+30	Туск.(?)	15(c) Com(?)
34	Передняя из выступающих южных звезд Волос	Лев 24 $\frac{1}{3}$	+25	Туск.	7(h) Com(?)
35	Следующая за ними в форме листа плюща	Лев 28 $\frac{1}{2}$	+25 $\frac{1}{2}$	Туск.	23(k) Com(?)

5 звезд, из которых 1 четвертой величины, 4 пятой, а также Волосы [Вероники].

Созвездие Девы

1	Южная из двух сверху на голове	Лев 26 $\frac{1}{3}$ (?) ²⁰⁷	+4 $\frac{1}{4}$	5	ν Vir
2	Более северная из них	Лев 27 (?)	+5 $\frac{2}{3}$	5	ξ Vir
3	Более северная из двух следующих за ними на лице	Дева 0 $\frac{2}{3}$	+8	5	σ Vir
4	Более южная из них	Дева 0 $\frac{1}{2}$	+5 $\frac{1}{2}$	5	π Vir
5	Звезда на конце южного, левого крыла	Лев 29	+0 $\frac{1}{6}$ (?) ²⁰⁸	3	β Vir
6	Передняя из четырех на левом крыле	Дева 8 $\frac{1}{4}$	+1 $\frac{1}{6}$ (?) ²⁰⁹	3	η Vir
7	Следующая за ней	Дева 13 $\frac{1}{6}$	+2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	3	γ Vir
8	Следующая за этой	Дева 17 $\frac{1}{2}$	+2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ (?) ²¹⁰	5	46 Vir(?)
9	Последняя и самая задняя из четырех	Дева 21	+1 $\frac{2}{3}$	4	θ Vir
10	Звезда на правом боку под поясом	Дева 14 $\frac{1}{3}$ (?) ²¹¹	+8 $\frac{1}{2}$	3	δ Vir
11	Передняя из трех на правом, северном крыле	Дева 8 $\frac{1}{6}$	+13 $\frac{1}{2}$ (?)	5	ρ Vir
12	Южная из двух остальных	Дева 10 $\frac{1}{6}$	+11 $\frac{2}{3}$	6	32(d ²) Vir
13	Северная из них, так называемая Виндемиат-рикс ²¹²	Дева 12 $\frac{1}{6}$	+15 $\frac{1}{6}$ (?)	3-2	ϵ Vir

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
14	Звезда на конце левой руки, так называемая Колос ²¹³ [Спики]	Дева 26 $\frac{2}{3}$	-2	1	α Vir
15	Звезда под опоясанием, как бы на правой ягодице	Дева 24 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+8 $\frac{2}{3}$	3	ζ Vir
16	Северная звезда на передней стороне четырехугольника на левом бедре	Дева 26 $\frac{1}{3}$	+3 $\frac{1}{3}$	5	74(ρ^2) Vir(?)
17	Южная звезда на передней стороне	Дева 27 $\frac{1}{4}$ (?) ²¹⁴	+0 $\frac{1}{6}$ (?) ²¹⁵	6	76(h) Vir(?)
18	Северная из двух на задней стороне	Весы 0	+1 $\frac{1}{2}$	4-5	82(m) Vir(?)
19	Южная на задней стороне	Дева 28	-3(?) ²¹⁶	5	68(i) Vir(?)
20	Звезда на левом колене	Весы 1 $\frac{2}{3}$	-1 $\frac{1}{2}$ (?) ²¹⁷	5	86 Vir
21	Звезда на правом бедре	Дева 28	+8 $\frac{1}{2}$	5	90(p) Vir(?)
22	Средняя из трех на краю платья у передней ноги	Весы 6 $\frac{2}{3}$ (?) ²¹⁸	+7 $\frac{1}{2}$ (?) ²¹⁹	4	ι Vir
23	Южная из них	Весы 7 $\frac{1}{3}$	+2 $\frac{2}{3}$	4	κ Vir
24	Северная из них	Весы 8 $\frac{1}{3}$	+11 $\frac{2}{3}$	4	φ Vir
25	Звезда на конце левой (южной) ноги	Весы 10	+0 $\frac{1}{2}$	4	λ Vir
26	Звезда на конце правой (северной) ноги	Весы 12 $\frac{2}{3}$	+9 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	μ Vir

104

Всего 26 звезд, из которых 1 первой величины, 6 третьей, 7 четвертой, 10 пятой, 2 шестой.

Около Девы, не вошедшие в фигуру

27	Передняя из трех по прямой под левым локтем	Дева 14 $\frac{2}{3}$	-3 $\frac{1}{2}$	5	χ Vir
28	Средняя из них	Дева 19	-3 $\frac{1}{2}$	5	ψ Vir
29	Задняя из трех	Дева 22 $\frac{1}{4}$	-3 $\frac{1}{3}$ (?) ²²⁰	5	49 Vir
30	Передняя из трех по прямой под Колосом	Дева 27 $\frac{1}{6}$	-7 $\frac{1}{6}$ (?) ²²¹	6	53 Vir
31	Средняя из них, двойная	Дева 28 $\frac{1}{6}$	-8 $\frac{1}{3}$	5	61+63 Vir(?)
32	Последняя из трех	Весы 5	-7 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	6	89 Vir

6 звезд, из которых 4 пятой величины, 2 шестой.

Книга VIII

1. Каталог созвездий южного неба

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездия [южной части] зодиака					
Созвездие Клешней ¹					
1	Яркая звезда на конце южной клешни	Весы 18	+0 $\frac{2}{3}$	2	α Lib
2	Более северная и более темная	Весы 17	+2 $\frac{1}{2}$	5	μ Lib
3	Яркая звезда на конце северной клешни	Весы 22 $\frac{1}{6}$	+8 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	2	β Lib
4	Предшествующая ей, темная	Весы 17 $\frac{2}{3}$	+8 $\frac{1}{2}$	5	δ Lib
5	Звезда в середине южной клешни	Весы 24	-1 $\frac{2}{3}$	4	ι Lib
6	Предшествующая ей на той же клешне	Весы 21 $\frac{1}{3}$	+1 $\frac{1}{4}$	4	ν Lib
7	Звезда посередине северной клешни	Весы 27 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	+4 $\frac{3}{4}$	4	γ Lib
8	Следующая за ней на той же клешне	Скорпион 3	+3 $\frac{1}{2}$ (?) ²	4-5	θ Lib
Всего 8 звезд, из которых 2 второй величины, 4 четвертой, 2 пятой.					
Вокруг Клешней, не вошедшие в фигуру					
9	Передняя из трех, расположенных севернее северной клешни	Весы 26 $\frac{1}{6}$	+9	5	37 Lib
10	Южная из двух следующих	Скорпион 3 $\frac{2}{3}$	+6 $\frac{2}{3}$	4-5	48 Lib
11	Северная из них	Скорпион 4 $\frac{1}{3}$	+9 $\frac{1}{4}$	4-5	ξ Sco
12	Следующая из трех между клешнями	Скорпион 3 $\frac{1}{2}$	+0 $\frac{1}{2}$	6	λ Lib
13	Северная из двух оставшихся, предшествующих [последней]	Скорпион 0 $\frac{1}{3}$	+0 $\frac{1}{3}$ (?) ³	5	41 Lib(?)
14	Южная из них	Скорпион 1 $\frac{1}{6}$	-1 $\frac{1}{2}$	4	BSC 5810(?) ⁴
15	Передняя из трех, расположенных южнее южной клешни	Весы 23	-7 $\frac{1}{2}$	3	20 Lib
16	Северная из двух остальных, следующих	Скорпион 1 $\frac{1}{6}$	-8 $\frac{1}{2}$ (?) ⁵	4	39 Lib

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
17	Более южная из них	Скорпион 2	-92½	4	40 Lib ⁶
Всего 9 звезд, из которых 1 третьей величины, 5 четвертой, 2 пятой, 1 шестой.					
Созвездие Скорпиона					
1	Северная из трех ярких на лбу	Скорпион 6½	+1½	3	β Sco
2	Средняя из них	Скорпион 5½	-1½	3	δ Sco
3	Более южная из них	Скорпион 5½	-5	3	π Sco
4	Южнее этой на одной из лапок	Скорпион 6	-7½½	3	ρ Sco
5	Северная звезда из двух ярких, смежных с более северной [на лбу]	Скорпион 7	+1½	4	ν Sco
6	Южная из них	Скорпион 6½	+0½	4	ω Sco(?)
7	Предшествующая звезда из трех ярких на теле	Скорпион 10½	-3½¼(?) ⁷	3	σ Sco
8	Средняя из них, красноватая, так называемый Антарес	Скорпион 12½	-4	2	α Sco
9	Из трех последующая	Скорпион 14½	-5½	3	τ Sco
10	Из двух под ними, как бы на задней лапке, предшествующая	Скорпион 9½	-6½(?) ⁸	5	13(c ²) Sco
11	Из них последующая	Скорпион 10½	-6½	5	d Sco (BSC 6070)
12	Звезда на первом от тела сочленении [хвоста]	Скорпион 18½	-11	3	ε Sco
13	Следующая за ней на втором сочленении	Скорпион 18½½	-15	3	μ Sco
14	Северная из пары на третьем сочленении	Скорпион 20½(?)	-18(?)	4	ξ ² Sco(?) ⁹
15	Более южная из этой пары	Скорпион 20(?)	-18½(?)	4	ξ ¹ Sco(?)
16	Следующая за четвертым сочленением	Скорпион 23½	-19½	3	η Sco
17	Звезда после нее на пятом сочленении	Скорпион 28½	-18½½	3	θ Sco
18	Звезда на шестом сочленении	Стрелец 0½	-16½	3	ι ¹ Sco
19	Звезда на седьмом сочленении, около жала	Скорпион 29	-15½(?) ¹⁰	3	κ Sco
20	Из двух на жале задняя	Скорпион 27½	-13½	3	λ Sco
21	Передняя из них	Скорпион 27	-13½	4	υ Sco
Всего 21 звезда, из них 1 второй величины, 13 третьей, 5 четвертой, 2 пятой.					
Около Скорпиона, не вошедшие в фигуру					
22	Следующая за жалом, туманная	Стрелец 1½	-13¼	тум.	Г Sco
23	Передняя из двух к северу от жала	Скорпион 25½	-6½	5-4	45(d) Oph
24	Задняя из них	Скорпион 29½(?) ¹¹	-4½(?) ¹²	5	3(X) Sgr(?)
Всего 3 звезды, из них 2 пятой величины, 1 туманная.					

110

112

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Стрельца					
1	Звезда на острие стрелы	Стрелец 41½	-6½	3	γ Sgr
2	Звезда на рукоятке у ле- вой руки	Стрелец 72½	-6½	3	δ Sgr
3	Звезда на южной части лука	Стрелец 8	-10½/3	3	ϵ Sgr
4	На северной части лука более южная [из двух]	Стрелец 9	-1½	3	λ Sgr
5	Более северная из них, на верхушке лука	Стрелец 62½	+2½/3	4	μ Sgr
6	Звезда на левом плече	Стрелец 15½	-3¼ ¹³	3	σ Sgr
7	Предшествующая ей на стреле	Стрелец 13	-3½(?) ¹⁴	4	φ Sgr
8	На глазу двойная и ту- манная звезда	Стрелец 15½	+0½/4	Тум.	$\nu^1 + \nu^2$ Sgr
9	Передняя из трех на го- лове	Стрелец 152½	+2½	4	ξ^2 Sgr
10	Средняя из них	Стрелец 172½	+1½	4	$\circ$ Sgr
11	Задняя из трех	Стрелец 19½	+2	4	π Sgr
12	Более южная из трех на северной завязке пла- ща ¹⁵	Стрелец 21½	+2½/3	5	43(d) Sgr
13	Средняя из них	Стрелец 22½(?) ¹⁶	+4½	4	ρ Sgr
14	Северная из трех	Стрелец 22½/3	+6½	4	ν Sgr
15	Следующая за тремя, тус- клая звезда	Стрелец 252½(?) ¹⁷	+5½	6	55(e) Sgr
16	Более северная из двух, на южной завязке плаща	Стрелец 29½	+5½/3	5	61(g) Sgr
17	Более южная из них	Стрелец 272½	+2	6	57 Sgr(?)
18	Звезда на правом плече	Стрелец 222½(?) ¹⁸	-1½/3	5	χ^1 Sgr(?)
19	Звезда на правом локте	Стрелец 24½/3	-2½/3	4	51(h^1)+52(h^2) Sgr(?)
20	Из трех звезд на спине между плечами	Стрелец 20	-2½	5	ψ Sgr
21	Средняя из них, на лопат- ке	Стрелец 172½	-4½	4-3	τ Sgr
22	Последняя из трех, ниже подмышки	Стрелец 16½	-6½/4	3	ξ Sgr
23	Звезда на переднем левом коленном сухожилии	Стрелец 172½	-23	2(?) ¹⁹	$\beta^1 + \beta^2$ Sgr(?)
24	Звезда на колене той же ноги	Стрелец 17	-18	2-3 ²⁰	α Sgr
25	Звезда на переднем прав- ом коленном сухожилии	Стрелец 62½	-13	3	η Sgr
26	Звезда на левом бедре	Стрелец 27½	-13½	3	$\kappa^1 + \kappa^2$ Sgr ²¹
27	Звезда на задней части низа правой ноги	Стрелец 26½/3(?) ²²	-20½(?) ²³	3	ι Sgr
28	Передняя звезда северной стороны из четырех на корне хвоста	Стрелец 272½(?) ²⁴	-4½/3	5	ω Sgr

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
29	Следующая с северной стороны	Стрелец 28½½	-4½½	5	60(A) Sgr
30	Передняя с южной стороны	Стрелец 28½½	-5½½	5	59(b) Sgr
31	Следующая с южной стороны	Стрелец 29½	-6½	5	62(c) Sgr

116

Всего 31 звезда, из них 2 второй величины, 9 третьей, 9 четвертой, 8 пятой, 2 шестой, 1 туманная.

Созвездие Козерога

1	Северная из трех на заднем роге	Козерог 7½	+7½	3	$\alpha^1 + \alpha^2$ Cap
2	Средняя из них	Козерог 7½	+6½	6	ν Cap
3	Южная из трех	Козерог 7½	+5	3	β Cap
4	Звезда на конце переднего рога	Козерог 5(?) ²⁵	+8	6	$\xi^1 + \xi^2$ Cap
5	Южная звезда из трех на морде	Козерог 9	+0½¼	6	σ Cap
6	Передняя из двух остальных	Козерог 8½	+1½¼	6	π Cap
7	Задняя из них	Козерог 8½½	+1½	6	ρ Cap
8	Ведущая из трех под правым глазом	Козерог 6½	+0½	5	σ Cap
9	Более северная из двух на шее	Козерог 11½	+3½½	6	τ Cap
10	Южная из них	Козерог 11½½	+0½½(?) ²⁶	5	ν Cap
11	Звезда на левом согнутом колене	Козерог 11½	-8½	4	ω Cap
12	Звезда под правым коленом	Козерог 10½½	-6½	4	ψ Cap
13	Звезда на левом плече	Козерог 16½	-7½	4	24(A) Cap
14	Предшествующая из двух смежных под брюхом	Козерог 20½	-6½½	4	ζ Cap
15	Следующая из них	Козерог 20½(?) ²⁷	-6	5	36(b) Cap
16	Последующая из трех посередине тела	Козерог 18½	-4¼	5	φ Cap
17	Более южная из двух остальных предшествующих	Козерог 16½	-4	5	χ Cap
18	Более северная из них	Козерог 16½	-2½½	5	η Cap
19	Передняя из двух на спине	Козерог 16½	-0 ²⁸	4	θ Cap
20	Задняя из них	Козерог 21	-0½½	4	ι Cap
21	Передняя из двух на спинном плавнике ²⁹	Козерог 23½	-4½¼	4	ϵ Cap
22	Задняя из них	Козерог 25	-4½	4	κ Cap
23	Передняя из двух в начале хвоста	Козерог 24½½(?) ³⁰	-2½	3	γ Cap
24	Задняя из них	Козерог 26½	-2	3	δ Cap
25	Передняя звезда из четырех на северной части хвоста	Козерог 26½½	+0½	4	42(d) Cap
26	Из трех остальных южная	Козерог 28½	+0	5	μ Cap

118

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
27	Средняя из них	Козерог 27½	+2½½	5	λ Cap
28	Северная из них, на конце хвоста	Козерог 28½	+4½	5	46(c¹) Cap
Всего 28 звезд, из них 4 третьей величины, 9 четвертой, 9 пятой, 6 шестой.					
Созвездие Водолея					
1	Звезда на голове Водолея	Водолей 0½	+15½¼	5	25(d) Aqr
2	Более блестящая из двух на правом плече	Водолей 6½	+11	3	α Aqr
3	Под ней, более темная	Водолей 5½	+9½	5	ο Aqr
4	Звезда на левом плече	Козерог 26½	+8½½	3	β Aqr
5	Звезда под ней на спине, как бы под подмышкой	Козерог 27½	+6½	5	ξ Aqr
6	Задняя звезда из трех на левой руке, на одеянии	Козерог 17½	+5½	5	ν Aqr
7	Средняя из них	Козерог 16½	+8	4	μ Aqr
8	Передняя из трех	Козерог 14½	+8½	3	ε Aqr
9	Звезда на правом пред-плечье	Водолей 9½	+8½¼	3	γ Aqr
10	Северная из трех на конце правой руки	Водолей 11½	+10½¼	3	π Aqr
11	Передняя из двух остальных к северу ³¹	Водолей 12	+9	3	ζ Aqr
12	Задняя из них	Водолей 13½	+8½	3	η Aqr
13	Передняя из двух смежных на правом бедре	Водолей 6½	+3	4	θ Aqr
14	Следующая за ней	Водолей 7	+3½(?) ³²	5	ρ Aqr
15	Звезда на правой ягоде	Водолей 8½	-0½½	4	σ Aqr
16	Южная из двух на левой ягоде	Водолей 1½	-1½	4	ι Aqr
17	Более северная из них	Водолей 3½	+0¼(?) ³³	6	38(c) Aqr
18	Более южная из двух, на правой голени	Водолей 11½	-7½(?) ³⁴	3	δ Aqr
19	Более северная из них, под коленным сгибом	Водолей 11½	-5	4	τ Aqr
20	Звезда на левом бедре	Водолей 4½	-5½	5	53(f) Aqr
21	Более южная из двух на левой голени	Водолей 8½	-10	5	68(g²) Aqr
22	Более северная из них, под коленом	Водолей 7½½	-9	5	66(g¹) Aqr
23	Передняя из тех, что на потоке воды у руки	Водолей 15	+2	4	κ Aqr(?)
24	Смежная к югу от упомянутой	Водолей 14½½	+0½	4	λ Aqr
25	Следующая за этой после изгиба [потока воды]	Водолей 17½	-1½	4	83(h) Aqr
26	Следующая за этой	Водолей 20	-0½	4	φ Aqr
27	Звезда к югу от той, что в изгибе	Водолей 20½	-1½	4	χ Aqr
28	Более северная из двух, что к югу	Водолей 19	-3½	4	ψ¹ Aqr

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
29	Более южная из двух	Водолей 19½½	-4½	4	ψ^3 Aqr(?) ³⁵
30	Отдельная звезда на не- котором расстоянии к югу от них	Водолей 20½½	-8¼	5	BSC 8958(?)
31	Передняя из двух смеж- ных за ней	Водолей 22½(?) ³⁶	-11(?) ³⁷	5	ω^1 Aqr
32	Задняя из них	Водолей 23½	-10½½	5	ω^2 Aqr
33	Северная из трех в сосед- нем витке	Водолей 21½	-14	5	103(A ¹)+104(A ²) Aqr(?)
34	Средняя из трех	Водолей 22½	-14½¼	5	106(u ¹) Aqr
35	Задняя из них	Водолей 23½	-15½	5	108(u ³) Aqr(?)
36	Северная из трех, точно так же расположенных	Водолей 17	-14½	4	98(b ¹) Aqr
37	Более южная из трех	Водолей 18½	-15½¼	4	101(b ³) Aqr
38	Средняя из них	Водолей 17½	-15	4	99(b ²) Aqr
39	Передняя из трех в по- следнем витке струи	Водолей 11½½	-14½¼(?) ³⁸	4(?)	86(c ¹) Aqr
40	Из двух остальных более южная	Водолей 12½	-15½	4(?)	89(c ³) Aqr
41	Северная из них	Водолей 13½	-14	4(?)	88(c ²) Aqr
42	На конце струи и во рту Южной Рыбы	Водолей 7	-20½	1	α PsA

124

Всего 42 звезды, из них 1 первой величины, 9 третьей, 18 четвертой, 13 пятой, 1 шестой.

Около Водолея, не вошедшие в фигуру

43	Передняя звезда из трех, следующих за изгибом струи	Водолей 26½	-15½	4-3	2 Cet
44	Из двух остальных более северная	Водолей 29½	-14½	4-3	6 Cet
45	Более южная из них	Водолей 29	-18¼	4-3	7 Cet

Всего 3 звезды величиной, несколько большей четвертой.

Созвездие Рыб

1	Звезда во рту передней рыбы	Водолей 21½	+9¼	4(?) ³⁹	β Psc
2	Более южная из двух на ее голове	Водолей 24½	+7½(?) ⁴⁰	4	γ Psc
3	Более северная из них	Водолей 26	+9½	4	7(b) Psc
4	Передняя из двух на спине	Водолей 28½	+9½	4	θ Psc
5	Задняя из них	Рыбы 0½	+7½	4	ι Psc
6	Передняя из двух на брю- хе	Водолей 26	+4½	4	κ Psc
7	Задняя из них	Водолей 29½	+3½	4	λ Psc
8	Звезда на хвосте той же рыбы	Рыбы 6	+6½	4	ω Psc
9	Из звезд на ленте ⁴¹ пе- редняя от хвоста этой рыбы	Рыбы 11	+5½¼	6	41(d) Psc

126

128

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
10	Задняя из них	Рыбы 13	+3½¼	6	51 Psc
11	Передняя из трех следую- щих ярких	Рыбы 17¼	+2¼	4	δ Psc
12	Средняя из них	Рыбы 20½(?) ⁴²	+1¼	4	ε Psc
13	Задняя из трех	Рыбы 23	-0¼(?) ⁴³	4	ζ Psc
14	Северная из двух неболь- ших на изгибе под этими	Рыбы 22½(?) ⁴⁴	-2	6	80(e) Psc
15	Более южная из них	Рыбы 23(?) ⁴⁵	-5	6	89(f) Psc
16	Передняя из трех после изгиба	Рыбы 26½	-2½	4	μ Psc
17	Средняя из них	Рыбы 28⅔(?) ⁴⁶	-4⅔	4	ν Psc
18	Задняя из трех	Овен 0⅔	-7½¼	4	ξ Psc
19	Звезда на узле, соединяю- щем две ленты	Овен 2½	-8½	3	α Psc
20	На северной ленте первая от узла	Овен 0½	-1⅔	4	ο Psc
21	Из трех следующих за ней южная	Овен 0¼	+1½¼	5	π Psc
22	Средняя из них	Овен 0⅔(?) ⁴⁷	+5½	3	η Psc
23	Северная из трех на конце хвоста	Овен 0½	+9	4	ρ Psc
24	Северная из двух во рту задней рыбы	Овен 2	+21½¼	5	82(g) Psc
25	Южная из них	Овен 1⅔	+21⅔	5	τ Psc
26	Задняя из трех малых на голове	Рыбы 28⅔	+20	6	68(h) Psc
27	Средняя из них	Рыбы 27⅔	+19½¼	6	67(k) Psc
28	Передняя из трех	Рыбы 27	+20½(?) ⁴⁸	6	65(i) Psc
29	Передняя из трех на спин- ном плавнике, после звез- ды на локте Андроме- ды ⁴⁹	Рыбы 25⅔	+14½	4	ψ ¹ Psc
30	Средняя из них	Рыбы 26⅔(?) ⁵⁰	+13¼(?) ⁵¹	4	ψ ² Psc
31	Задняя из трех	Рыбы 27⅔	+12	4	χ Psc(?) ⁵²
32	Более северная из двух на брюхе	Овен 2¼	+17	4	υ Psc
33	Более южная из них	Рыбы 29½¼	+15½	4	φ Psc
34	Звезда на следующем плавнике у хвоста	Овен 0	+11½¼	4	ψ ³ Psc(?)
Всего 34 звезды, из них 2 третьей величины, 22 четвертой, 3 пятой, 7 шестой.					
Около Рыб, не вошедшие в фигуру					
35	Передняя из двух север- ных звезд четырехуголь- ника под передней рыбой	Рыбы 1¼	-2⅔	4	27 Psc
36	Задняя из них	Рыбы 2¼	-2½	4	29 Psc

[Номер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Величины	[Современные обозначения]
37	Передняя звезда южной стороны	Рыбы 04½	-5½	4	30 Psc
38	Задняя звезда южной стороны	Рыбы 2½	-5½	4	33 Psc

Всего 4 звезды четвертой величины.

На самом зодиаке 346 звезд, из которых 5 первой величины, 9 второй, 64 третьей, 133 четвертой, 105 пятой, 27 шестой, 3 туманных и Волосы [Вероники].

[Каталог южных созвездий вне пояса зодиака]

Созвездие Кита

1	Звезда на конце ноздрей	Овен 17½	-7½¼	4	λ Cet
2	Задняя из трех на морде, на конце челюсти	Овен 17½	-12½	3	α Cet
3	Средняя из них, в середине рта	Овен 12½	-11½	3	γ Cet
4	Передняя из трех, на щеке	Овен 10½	-14	3	δ Cet
5	Звезда на брови и глазу	Овен 10¼(?) ⁵³	-8¼	4	ν Cet(?)
6	Звезда севернее ее, как бы на волосах	Овен 12½	-6½	4	ξ ² Cet(?)
7	Звезда впереди их, как бы на гриве	Овен 7½(?) ⁵⁴	-4¼	4	ξ ¹ Cet
8	Северная звезда на передней стороне четырехугольника на груди	Овен 3	-24½	4	ρ Cet
9	Южная звезда на передней стороне	Овен 3½	-28	4	σ Cet
10	Северная звезда на задней стороне	Овен 6½	-25¼	4	ε Cet
11	Южная звезда на задней стороне	Овен 7	-27½	3	π Cet
12	Средняя из трех на теле	Рыба 22	-25¼	3	τ Cet
13	Южная из них	Рыба 23	-30¼½	4	υ Cet
14	Северная из трех	Рыбы 25	-20	3	ζ Cet
15	Задняя из двух перед хвостом	Рыбы 19½	-15½(?) ⁵⁵	3	θ Cet
16	Передняя из них	Рыбы 15	-15½	3	η Cet
17	Северная звезда на задней стороне четырехугольника перед хвостом	Рыбы 11	-13½	5	φ ² Cet(?) ⁵⁶
18	Южная звезда на задней стороне	Рыбы 10½	-14½(?) ⁵⁷	5	BSC 227(?)
19	Северная звезда на передней стороне	Рыбы 9½	-13	5-4	φ ¹ Cet(?)
20	Южная звезда на передней стороне	Рыбы 9	-14	5-4	BSC 190(?)
21	Из двух на концах хвостов северная	Рыбы 4½	-9½	3-4	ι Cet
22	Звезда на конце южного хвоста	Рыбы 5½	-20¼	3	β Cet

Всего 22 звезды, из них 10 третьей величины, 8 четвертой, 4 пятой.

130

132

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Ориона					
1	Туманная звезда на голове Ориона	Телец 27	$-13\frac{1}{2}(?)^{58}$	тум.	λ Ori
2	Яркая красноватая звезда на правом плече	Близнецы 2	-17	1-2	α Ori
3	Звезда на левом плече	Телец 24	$-17\frac{1}{2}$	2	γ Ori
4	Следующая за этими	Телец 25	-18	4-5	32(A) Ori
5	Звезда на правом локте	Близнецы $4\frac{1}{3}$	$-14\frac{1}{2}$	4	μ Ori
6	Звезда на предплечье правой руки	Близнецы $6\frac{1}{3}$	$-11\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	6	74(k) Ori
7	Задняя двойная звезда на южной стороне четырех-угольника на конце правой руки	Близнецы $6\frac{1}{2}$	-10	4	ξ Ori(?) ⁵⁹
8	Передняя звезда на южной стороне	Близнецы 6	$-9\frac{1}{2}\frac{1}{4}$	4	ν Ori
9	Задняя звезда на северной стороне	Близнецы $7\frac{1}{3}$	$-8\frac{1}{4}$	6	72(f ²) Ori
10	Передняя звезда на северной стороне	Близнецы $6\frac{2}{3}$	$-8\frac{1}{4}$	6	69(f ¹) Ori
11	Передняя звезда из двух на палице	Близнецы $1\frac{2}{3}$	$-3\frac{1}{2}\frac{1}{4}$	5	χ^1 Ori
12	Задняя из них	Близнецы $4\frac{2}{3}(?)^{60}$	-4 $\frac{1}{4}$	5	χ^2 Ori
13	Задняя звезда из четырех, как бы на прямой на спине	Телец $27\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	$-19\frac{2}{3}$	4	ω Ori
14	Предшествующая ей	Телец $26\frac{1}{3}$	-20	6	38(n ²) Ori
15	Предшествующая этой	Телец $25\frac{1}{3}$	$-20\frac{1}{6}(?)^{61}$	6	33(n ¹) Ori
16	Последняя, предшествующая из четырех	Телец $24\frac{1}{6}$	$-20\frac{2}{3}$	5	ψ Ori
17	Более северная из тех, что на шкуре в левой руке	Телец $20\frac{1}{2}$	-8	4	15(y ²) Ori
18	Вторая от самой северной	Телец $19\frac{1}{3}$	$-8\frac{1}{6}$	4	11(y ¹) Ori
19	Третья от самой северной	Телец 18	$-10\frac{1}{4}$	4	σ^2 Ori
20	Четвертая от самой северной	Телец $16\frac{1}{3}$	$-12\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	4	π^1 Ori
21	Пятая от самой северной	Телец $15\frac{1}{6}$	$-14\frac{1}{4}$	4	π^2 Ori
22	Шестая от самой северной	Телец $14\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	$-15\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	3	π^3 Ori
23	Седьмая от самой северной	Телец $14\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	$-17\frac{1}{6}$	3	π^4 Ori
24	Восьмая от самой северной	Телец $15\frac{1}{3}$	$-20\frac{1}{3}$	3	π^5 Ori
25	Последняя, самая южная на шкуре	Телец $16\frac{1}{3}$	$-21\frac{1}{2}$	3	π^6 Ori
26	Передняя из трех звезд на поясе	Телец $25\frac{1}{3}$	$-24\frac{1}{6}$	2	δ Ori
27	Средняя из них	Телец $27\frac{1}{3}$	$-24\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	2	ϵ Ori
28	Задняя из трех	Телец $28\frac{1}{6}$	$-25\frac{2}{3}$	2	ζ Ori
29	Звезда у рукоятки меча	Телец $23\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	$-25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	3	η Ori

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
30	Северная из трех близких на конце меча	Телец 26½(?) ⁶²	-28½(?) ⁶³	4	42+45(c) Ori(?)
31	Средняя из них	Телец 26½	-29¼	3-4	$\theta_1 + \theta_2$ Ori(?)
32	Южная из трех	Телец 27	-29½½	3	ι Ori(?)
33	Задняя звезда из двух под концом меча	Телец 27½	-30½	4	49(d) Ori
34	Передняя из них	Телец 26½(?) ⁶⁴	-30½½	4	ν Ori
35	Яркая звезда на конце левой ступни, общая с «водой» ⁶⁵	Телец 19½½	-31½	1	β Ori
36	Более северная из них на голени над лодыжкой	Телец 21	-30¼	4-3	τ Ori
37	Внешняя под левой пяткой	Телец 23½	-31¼	4	29(e) Ori
38	Звезда под правым, последующим коленом	Близнецы 0¼	-33½	3-2	κ Ori

136

Всего 38 звезд, из них 2 первой величины, 4 второй, 8 третьей, 15 четвертой, 3 пятой, 5 шестой и [1] туманная.

Созвездие Реки⁶⁶

1	Звезда после той, что на конце ступни Ориона, в начале реки	Телец 18½	-31½½	4-3	λ Eri
2	Более северная на изгибе у голени Ориона	Телец 18½	-28¼	4	β Eri
3	Задняя из двух, следующих за ней	Телец 18	-29½½	4	ψ Eri
4	Передняя из них	Телец 14½	-28¼	4	ω Eri
5	Из двух следующих задняя	Телец 13¼(?) ⁶⁷	-25½½	4	μ Eri
6	Передняя из них	Телец 10¼(?) ⁶⁸	-25½	4	ν Eri
7	Из трех за этой задняя	Телец 6 ½	-26	5	ξ Eri
8	Средняя из них	Телец 5½	-27	4	σ^2 Eri
9	Передняя из трех	Телец 2½½	-27½½	4	σ^1 Eri
10	Из четырех в следующем промежутке задняя	Овен 27	-32½½	3	γ Eri
11	Предшествующая ей	Овен 24½	-31	4	π Eri
12	Предшествующая и этой	Овен 24¼	-28½½	3	δ Eri
13	Передняя из четырех	Овен 22	-28	3	ϵ Eri
14	Точно так же из четырех в следующем промежутке задняя	Овен 17¼	-25½	3	ζ Eri
15	Предшествующая ей	Овен 14½(?) ⁶⁹	-23½½	4	$\rho^3 + \rho^2$ Eri(?) ⁷⁰
16	Предшествующая и этой	Овен 12¼	-23½(?) ⁷¹	3	η Eri(?)
17	Передняя из четырех	Овен 10½	-23¼	4	BSC 859(?)
18	На повороте реки, первая касающаяся груди Кита	Овен 5¼	-32¼	4	τ^1 Eri
19	За ней следующая	Овен 5½½	-34½½	4	τ^2 Eri
20	Передняя из трех следующих	Овен 8½½	-38½	4	τ^3 Eri
21	Средняя из них	Овен 13½½	-38¼	4	τ^4 Eri

138

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
22	Последняя из трех	Овен 17½	-39	4	τ^5 Eri
23	Из четырех следующих, как бы трапеции, северная звезда на передней стороне	Овен 21½	-41½	4	τ^6 Eri
24	Более южная на передней стороне	Овен 21½	-42½	5	τ^7 Eri
25	Передняя звезда на задней стороне	Овен 22½	-43¼	4	τ^8 Eri
26	Следующая за ней, последняя из четырех	Овен 24½	-43½	4	τ^9 Eri
27	Северная звезда из двух смежных на некотором расстоянии к востоку	Телец 4½	-50½(?) ⁷²	4	ν^1 Eri
28	Более южная из них	Телец 5	-51½¼	4	ν^2 Eri
29	Задняя из двух следующих за изгибом	Овен 28½	-53½¼	4	ν^3 Eri
30	Передняя из них	Овен 25½¼	-53½	4	ν^4 Eri
31	Из трех на следующем промежутке задняя	Овен 17½¼	-53	4	g Eri(?) ⁷³
32	Средняя из них	Овен 14½¼	-53½	4	f Eri(?)
33	Передняя из трех	Овен 11½¼	-52½	4	h Eri(?)
34	Последняя звезда реки, яркая	Овен 0½	-53½	1(?) ⁷⁴	θ Eri

Всего 34 звезды, из них 1 первой величины, 5 третьей, 26 четвертой, 2 пятой.

Созвездие Зайца

1	Северная звезда на передней стороне четырехугольника на ушах	Телец 19½	-35	5	ι Lep
2	Южная звезда на передней стороне	Телец 19½¼	-36½	5	κ Lep
3	Северная звезда на задней стороне	Телец 21½	-35½	5	ν Lep
4	Южная звезда на задней стороне	Телец 21½	-36½	5	λ Lep
5	Звезда на подбородке	Телец 19½	-39¼	4-3	μ Lep
6	Звезда на конце передней левой лапы	Телец 16½	-45¼	4-3	ϵ Lep
7	Звезда на середине тела	Телец 25½¼	-41½	3	α Lep
8	Звезда под брюхом	Телец 24½¼(?) ⁷⁵	-44½	3	β Lep
9	Северная из двух на задних лапах	Близнецы 1	-44½(?) ⁷⁶	4-3	δ Lep
10	Более южная из них	Телец 29	-45½¼	4-3	γ Lep
11	Звезда на крестце	Близнецы 0	-38½	4-3	ζ Lep
12	Звезда на конце хвоста	Близнецы 2½	-38½	4-3	η Lep

Всего 12 звезд, из них 2 третьей величины, 6 четвертой, 4 пятой.

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
Созвездие Пса⁷⁷					
1	Красноватая, самая яркая [из всех неподвижных звезд] звезда во рту, называемая Псом ⁷⁸	Близнецы 17 $\frac{2}{3}$	-39 $\frac{1}{6}$	1	α CMa
2	Звезда на ушах	Близнецы 19 $\frac{2}{3}$	-35	4	θ CMa
3	Звезда на голове	Близнецы 21 $\frac{1}{3}$	-36 $\frac{1}{2}$	5	μ CMa
4	Северная из двух на шее	Близнецы 23 $\frac{1}{3}$	-37 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	γ CMa
5	Южная из них	Близнецы 25 $\frac{1}{3}$ (?) ⁷⁹	-40	4	ι CMa
6	Звезда на груди	Близнецы 20 $\frac{1}{2}$	-42 $\frac{2}{3}$	5	π CMa
7	Северная из двух на правом колене	Близнецы 16 $\frac{1}{6}$	-41 $\frac{1}{4}$	5	ν^3 CMa
8	Более южная из них	Близнецы 16	-42 $\frac{1}{2}$	5	ν^2 CMa
9	На конце передней лапы	Близнецы 11	-41 $\frac{1}{3}$	3	β CMa
10	Передняя из двух на левом колене	Близнецы 14 $\frac{2}{3}$	-46 $\frac{1}{2}$	5	ξ^1 CMa
11	Задняя из них	Близнецы 16 $\frac{1}{6}$	-45 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	5	ξ^2 CMa
12	Задняя из двух на левом плече	Близнецы 24 $\frac{2}{3}$	-46 $\frac{1}{6}$ (?)	4	σ^2 CMa
13	Передняя из них	Близнецы 21 $\frac{2}{3}$	-47	5	σ^1 CMa
14	Звезда в начале левого бедра	Близнецы 26 $\frac{2}{3}$	-48 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	3-4	δ CMa
15	Звезда под брюхом между бедрами	Близнецы 23 $\frac{2}{3}$	-51 $\frac{1}{2}$	3	ϵ CMa
16	Звезда на сгибе правой лапы	Близнецы 23	-55 $\frac{1}{6}$	4	κ CMa
17	Звезда на конце правой лапы	Близнецы 9 $\frac{2}{3}$	-53 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	3	ζ CMa
18	Звезда на хвосте	Рак 2 $\frac{1}{6}$	-50 $\frac{2}{3}$	3-4	η CMa
Всего 18 звезд, из них 1 первой величины, 5 третьей, 5 четвертой, 7 пятой.					
Около Пса, не вошедшие в фигуру					
19	Звезда к северу от головы Пса	Близнецы 19 $\frac{1}{2}$	-25 $\frac{1}{4}$ (?)	4	22 Mon(?) ⁸⁰
20	Самая южная из четырех по прямой под задними лапами	Близнецы 10(?) ⁸¹	-61 $\frac{1}{2}$	5	θ Col
21	Более северная от нее	Близнецы 11 $\frac{1}{3}$	-58 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	κ Col
22	Более северная от этой	Близнецы 13	-57	4	δ Col
23	Последняя и самая северная из четырех	Близнецы 14 $\frac{1}{6}$	-56	4	λ CMa
24	Передняя из трех по прямой к западу от этих четырех	Телец 28	-55 $\frac{1}{2}$	4	μ Col
25	Средняя из них	Близнецы 0 $\frac{1}{3}$	-57 $\frac{2}{3}$	4	λ Col
26	Задняя из трех	Близнецы 2 $\frac{1}{3}$	-59 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	4	γ Col
27	Задняя из двух блестящих за ними	Телец 29	-59 $\frac{2}{3}$	2	β Col
28	Предшествующая ей	Телец 26	-57 $\frac{2}{3}$	2	α Col

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
29	Последняя и более южная из упомянутых	Телец 22½	-59½	4	ε Col
Всего 11 звезд, из них 2 второй величины, 9 четвертой.					
Созвездие Проциона ⁸²					
1	Звезда на шее	Близнецы 25	-14	4	β CMi
2	Яркая на задних лапах, называемая Проционом	Близнецы 29½(?) ⁸³	-16½	1	α CMi
Всего 2 звезды, из которых 1 первой величины, 1 четвертой.					
Созвездие Арго ⁸⁴					
1	Из двух на корме корабля предшествующая	Рак 10½	-42½	5	11(e) Pup
2	Следующая за ней	Рак 14½	-43½	3	ρ Pup
3	Более северная из двух смежных над небольшим щитом на корме	Рак 8½½	-45	4	ξ Pup
4	Более южная из них	Рак 8½	-46(?) ⁸⁵	4	ο Pup
5	Звезда, им предшествующая	Рак 5½	-45½	4	η Pup
6	Яркая звезда посередине небольшого щита	Рак 6½	-47¼	3 ⁸⁶	BSC 2948+2949
7	Передняя из трех звезд под небольшим щитом	Рак 5½	-49½(?) ⁸⁷	4	ρ Pup
8	Задняя из них	Рак 9½	-49½(?) ⁸⁸	4	3 Pup
9	Средняя из трех	Рак 8½	-49¼	4	1 Pup
10	Звезда на гуське ⁸⁹	Рак 14	-49½½	4	BSC 3113
11	Более северная из двух на киле кормы	Рак 4	-53	4	BSC 2834(?) ⁹⁰
12	Более южная из них	Рак 4	-58½	3	π Pup
13	Более северная из тех, что на палубе кормы	Рак 10½	-55½	5	f Pup
14	Передняя из трех следующих	Рак 12½	-58½	5	BSC 2961+2964(?)
15	Средняя из них	Рак 13½	-57¼	4	c Pup
16	Задняя из трех	Рак 16½	-57½½(?) ⁹¹	4	b Pup
17	Следующая за ними яркая звезда на палубе	Рак 21½	-58½	2	ξ Pup
18	Передняя из двух тусклых под яркой	Рак 18½	-60	5	a Pup
19	Задняя из них	Рак 21	-59½	5	BSC 3162(?)
20	Передняя из двух над упомянутой яркой	Рак 23½(?)	-56½	5	h ¹ Pup
21	Задняя из них	Рак 24½	-57½	5	h ² Pup
22	Северная из трех на щитах, как бы у основания мачты	Лев 5½	-51½(?) ⁹²	4-3	BSC 3439 ⁹³
23	Средняя из них	Лев 6½	-55½	4-3	d Vel
24	Южная из трех	Лев 4	-57½	4-3	e Vel

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
25	Северная из двух близких под этими	Лев 9¼	-60	4-3	a Vel(?)
26	Более южная из них	Лев 9	-61¼	4-3	b Vel(?)
27	Южная из двух на се- редине мачты	Лев 0¼	-51½¼(?) ⁹⁴	3	β Pux
28	Более северная из них	Рак 29¼	-49	3	α Pux
29	Передняя из двух на вер- шине мачты	Рак 28	-43¼(?) ⁹⁵	4	γ Pux
30	Задняя из них	Рак 29	-43½	4	δ Pux
31	Звезда под третьим зад- ним щитом	Лев 14¼	-54½	2	λ Vel
32	Звезда на срезе палу- бы ⁹⁶	Лев 17½	-51¼	2-3	ψ Vel
33	Звезда на киле между кормилами ⁹⁷	Рак 11¼	-63	4	σ Pup(?)
34	Следующая за ней, туск- лая	Рак 19	-64½	6	P Pup(?)
35	Следующая за этой яркая под палубой	Лев 0	-63½¼	2	γ Vel
36	Яркая к югу от этой на нижней [части] киля	Лев 8½	-69¾	2	χ Car(?)
37	Из трех следующих за этой передней	Лев 15¼	-65¾	3	ο Vel(?)
38	Средняя из них	Лев 21¼	-65½¼	3	δ Vel(?)
39	Задняя из трех	Лев 26	-67¼	2	f Car(?)
40	Из двух следующих за этим у среза передней	Дева 1	-62½¼	3	κ Vel
41	Задняя из них	Дева 8	-62¼	3	N Vel
42	Передняя из двух на се- верном и переднем кор- миле	Близнецы 4	-65½¼	4-3	η Col
43	Задняя из них	Близнецы 20¼	-65¾	3-2	ν Pup
44	Передняя из двух на ос- тавшемся кормиле, так называемый Канопус	Близнецы 17¼	-75	1	α Car
45	Последняя, задняя из них	Близнецы 29	-71½¼(?) ⁹⁸	3-2	τ Pup

152

Всего 45 звезд, из них 1 первой величины, 6 второй, 11 третьей, 19 четвертой, 7 пятой, 1 шестой.

Созвездие Водяного Змея⁹⁹

1	Из пяти звезд на голове южная из двух передних, на ноздрях	Рак 14	-15	4	σ Hya
2	Более северная из них, над глазом	Рак 13¼	-13¼	4	δ Hya
3	Из двух следующих за ними северная, на голове	Рак 15¼	-11½	4	ε Hya
4	Более южная из них, на глотке	Рак 15½	-14¼(?) ¹⁰⁰	4	η Hya
5	Следующая за всеми, как бы на щеке	Рак 17½	-12¼(?) ¹⁰¹	4	ζ Hya

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
6	Передняя из двух в начале шеи	Рак 20½	-11½ ¹⁰²	5	ω Нуа
7	Задняя из них	Рак 23½	-13½(?) ¹⁰³	4	θ Нуа
8	Средняя из трех следую- щих на изгибе шеи	Рак 28½½	-15½	4	τ² Нуа
9	Задняя из трех	Лев 0½	-14½½	4	ι Нуа
10	Самая южная из трех	Рак 28½	-17½	4	τ¹ Нуа
11	Из двух близких на спине тусклая и северная	Рак 29½	-19½¼	6	BSC 3750(?)
12	Яркая из двух смежных	Лев 0	-20½(?) ¹⁰⁴	2	α Нуа
13	Передняя из трех, следую- щих за изгибом [шеи]	Лев 6	-26½	4	κ Нуа
14	Средняя из них	Лев 8½	-26	4	ν¹ Нуа
15	Задняя из трех	Лев 11½	-23½(?) ¹⁰⁵	4	ν² Нуа
16	Передняя из трех, следую- щих по прямой	Лев 18	-24½	3	μ Нуа
17	Средняя из них	Лев 20	-23¼	4	φ Нуа
18	Задняя из трех	Лев 23(?) ¹⁰⁶	-22½(?) ¹⁰⁷	3	ν Нуа
19	Более северная из двух, за основанием Чаши	Дева 1½	-25½¼	4-3	β Crt
20	Более южная из них	Дева 2½	-30½	4	χ¹ Нуа
21	Передняя из трех за эти- ми, как бы в треугольнике	Дева 12½	-31½	4	ξ Нуа
22	Средняя и более южная из них	Дева 14½	-33½	4	ο Нуа
23	Задняя из трех	Дева 16½	-31½	3	β Нуа
24	Звезда у начала хвоста, за Вороном	Весы 0	-13½	4-3	γ Нуа
25	Звезда на конце хвоста	Весы 13½	-17½(?) ¹⁰⁸	4-3	π Нуа

Всего 25 звезд, из них 1 второй величины, 3 третьей, 19 четвертой, 1 пятой, 1 шестой.

Около Водяного Змея, не вошедшие в фигуру

26	Звезда к югу от головы	Рак 12½	-23¼	3	BSC 3314
27	Звезда, следующая на не- котором расстоянии за звездами на шее	Лев 11	-16½(?) ¹⁰⁹	3	ε Sex(?)

Всего 2 звезды третьей величины.

Созвездие Чаши

1	Звезда на основании Чаши, общая с Водяным Змеем	Лев 23½(?) ¹¹⁰	-23	4	α Crt
2	Более южная из двух, на середине Чаши	Лев 2½	-19½	4	γ Crt
3	Более северная из них	Дева 0	-18	4	δ Crt

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
4	На южной окружности края	Дева 7	-18½	4-3	ζ Crt
5	На северной окружности	Лев 29½	-13¾	4	ε Crt
6	На южной ручке	Дева 9¼	-16¼	4-5	η Crt
7	На северной ручке	Дева 12¾	-11½	4	θ Crt

Всего 7 звезд четвертой величины.

Созвездие Ворона

1	Звезда на клюве, общая с Водяным Змеем ¹¹¹	Дева 15½	-21¾	3	α Crv
2	Звезда на шее у головы	Дева 14½	-19¾	3	ε Crv
3	Звезда на груди	Дева 16¾	-18¼	5	ζ Crv
4	Звезда на переднем пра- вом крыле	Дева 13½	-14½¼	3	γ Crv
5	Передняя звезда из двух на заднем крыле	Дева 16¾	-12½	3	δ Crv
6	Задняя из них	Дева 17	-11½¼	4	η Crv
7	Звезда на конце лапы, общая с Гидрой	Дева 20½	-18¼	3	β Crv

158

Всего 7 звезд, из них 5 третьей величины, 1 четвертой, 1 пятой.

Созвездие Кентавра

1	Самая южная из четырех на голове	Весы 10½	-21¾	5-4	2(g) Cen
2	Более северная из них	Весы 10	-18½¼	5-4	4(h) Cen
3	Передняя из двух осталь- ных, средних	Весы 9¼	-20½	4-3	1(i) Cen
4	Задняя из них и послед- няя из четырех	Весы 10	-20	5-4	3(k) Cen
5	Звезда на левом, предше- ствующем плече	Весы 6¼	-25¾	3	ι Cen
6	Звезда на правом плече	Весы 15¾	-22½	3	θ Cen
7	Звезда на левой лопатке	Весы 9¼	-27½	4	d Cen
8	Из четырех звезд на тир- се ¹¹² северная из двух передних	Весы 18¼	-22½	4	ψ Cen
9	Более южная из них	Весы 19¼	-23½¼	4	a Cen
10	Из двух остальных звезда на верхушке тирса	Весы 22	-18¼	4	c ¹ +c ² Cen
11	Последняя, южнее этой	Весы 22½	-20½¼(?) ¹¹³	4	b Cen
12	Передняя из трех на пра- вом боку	Весы 13½	-28½	4-3	ν Cen
13	Средняя из них	Весы 14	-29½	4-3	μ Cen
14	Задняя из трех	Весы 15¼	-28	4-3	φ Cen
15	Звезда на правом пред- плечье	Весы 16½	-26½	4-3	χ Cen
16	Звезда на правом локте	Весы 22½¼	-25¼	3	η Cen
17	Звезда на конце правой руки	Весы 27½	-24¼	4	κ Cen
18	Яркая звезда в начале человеческого тела	Весы 18	-33½	3-2	ζ Cen

160

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
19	Задняя из двух тусклых, севернее упомянутой	Весы 17 $\frac{1}{2}$	-31	5	ν^2 Cen
20	Передняя из них	Весы 16 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	-30 $\frac{1}{3}$ (?) ¹¹⁴	5	ν^1 Cen
21	Звезда в начале спины	Весы 12 $\frac{1}{6}$	-34 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	5	ω Cen ¹¹⁵
22	Предшествующая ей на спине лошади	Весы 9	-37 $\frac{2}{3}$	5	ι Cen(?)
23	Задняя из трех на крупе	Весы 5 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	-40	3	γ Cen
24	Средняя из них	Весы 5	-40 $\frac{1}{3}$ (?) ¹¹⁶	4	τ Cen
25	Передняя из трех	Весы 2 $\frac{2}{3}$	-41	5	σ Cen
26	Передняя из двух близких на правом бедре	Весы 2 $\frac{2}{3}$	-46 $\frac{1}{6}$	3	δ Cen
27	Задняя из них	Весы 3 $\frac{1}{2}$	-46 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	ρ Cen
28	Звезда на груди лошади, ниже подмышки	Весы 18 $\frac{1}{3}$	-40 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	4	μ Cen
29	Передняя из двух под брюхом	Весы 16 $\frac{1}{3}$	-43	2	ϵ Cen
30	Задняя из них	Весы 17 $\frac{2}{3}$	-43 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$	3	η Cen
31	Звезда на сгибе правой [задней] ноги	Весы 10	-51 $\frac{1}{6}$ (?) ¹¹⁷	2	γ Cru
32	Звезда на лодыжке той же ноги	Весы 15 $\frac{1}{3}$	-51 $\frac{1}{3}$	2	β Cru
33	Звезда под сгибом левой ноги	Весы 6 $\frac{1}{3}$	-55 $\frac{1}{6}$	4	δ Cru
34	Звезда на копыте той же ноги	Весы 11 $\frac{1}{6}$	-55 $\frac{1}{3}$	2	α Cru
35	Звезда на конце передней правой ноги	Скорпион 8 $\frac{1}{3}$	-41 $\frac{1}{6}$ (?) ¹¹⁸	1	α Cen
36	Звезда на колене левой [передней] ноги	Весы 24 $\frac{1}{6}$	-45 $\frac{1}{3}$	2	β Cen
37	Звезда вне тела Кентавра под правой задней ногой	Весы 14 $\frac{2}{3}$ (?)	-49 $\frac{1}{6}$	4	μ Cru
Всего 37 звезд, из них 1 первой величины, 5 второй, 7 третьей, 16 четвертой, 8 пятой.					
Созвездие Звєря ¹¹⁹					
1	Звезда на конце задней лапы у руки Кентавра	Весы 28	-24 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	3	β Lup
2	На сгибе той же лапы	Весы 25 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	-29 $\frac{1}{6}$ (?) ¹²⁰	3	α Lup
3	Передняя из двух на лопатке	Скорпион 1	-21 $\frac{1}{4}$	4	δ Lup
4	Задняя из них	Скорпион 4 $\frac{1}{6}$	-21	4	γ Lup
5	Звезда посередине туловища зверя	Скорпион 3	-25 $\frac{1}{6}$	4	ϵ Lup
6	Звезда на брюхе под пахом	Скорпион 0 $\frac{1}{6}$	-27	5	λ Lup
7	Звезда на бедре	Скорпион 0 $\frac{1}{2}$	-29	5	π Lup
8	Более северная из двух у начала бедра	Скорпион 4 $\frac{2}{3}$	-28 $\frac{1}{2}$	5	μ Lup
9	Более южная из них	Скорпион 3 $\frac{2}{3}$	-30 $\frac{1}{6}$	5	κ Lup
10	Звезда на конце [спины], у крестца	Скорпион 5 $\frac{2}{3}$	-33 $\frac{1}{6}$	5	ζ Lup
11	Из трех на конце хвоста самая южная	Весы 22(?) ¹²¹	-31 $\frac{1}{3}$	5	ρ Lup(?)
12	Средняя из них	Весы 21 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$	-30 $\frac{1}{2}$	4	ι Lup

[Номер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Величины	[Современные обозначения]
13	Более северная из трех	Весы 23	-29½	4-3	τ Lup
14	Из двух на шее более южная	Скорпион 8½½	-17	4	η Lup
15	Более северная из них	Скорпион 9½	-15½	4-3	θ Lup
16	Передняя из двух на морде	Скорпион 5¾	-13½	4	ψ Lup(?) ¹²²
17	Задняя из них	Скорпион 6¾	-11½½	4	χ Lup(?)
18	Самая южная из двух на передней лапе	Весы 27½(?) ¹²³	-11½½ ¹²⁴	4-3	1(i) Lup
19	Более северная из них	Весы 26½	-10	4-3	2(f) Lup

Всего 19 звезд, из них 2 третьей величины, 11 четвертой, 6 пятой.

Созвездие Жертвенника

1	Более северная из двух на основании ¹²⁵	Скорпион 27¾	-22¾	5	σ Ara
2	Более южная из них	Стрелец 3(?) ¹²⁶	-25½¼	4	θ Ara
3	В середине алтаря	Скорпион 26½(?) ¹²⁷	-26½	4-3	α Ara
4	Из трех на очаге северная	Скорпион 20¾	-30½	5	ε ¹ Ara
5	Из двух остальных близких более южная	Скорпион 25½	-34½	4-3	γ Ara
6	Более северная из них	Скорпион 25	-33½	4	β Ara
7	Звезда на конце сжигателя	Скорпион 20½½	-34¼(?) ¹²⁸	4	ζ Ara

Всего 7 звезд, из них 5 четвертой величины, 2 пятой.

Созвездие Южной Короны

1	Звезда вне [короны], предшествующая южному краю	Стрелец 9½	-21½	4	α Tel(?) ¹²⁹
2	Следующая за ней, на короне	Стрелец 11¾	-21	5	η ¹ +η ² CrA
3	Следующая за этой	Стрелец 13½	-23(?) ¹³⁰	5	BSC 7122
4	Следующая и за этой	Стрелец 14½½	-20	4	ζ CrA
5	Звезда после этой, у колена Стрельца	Стрелец 16½	-18½	5	δ CrA
6	Звезда после этой, более северная, чем яркая звезда колена Стрельца ¹³¹	Стрелец 17	-17½	4	β CrA
7	Звезда севернее этой	Стрелец 16½½	-16	4	α CrA
8	Звезда еще более северная	Стрелец 16½	-15½	4	γ CrA
9	Из двух предшествующих этой на северном краю задняя	Стрелец 15½	-15½	6	ε CrA
10	Предшествующая из двух тусклых	Стрелец 14¾	-14½½	6	BSC 7129
11	Предшествующая этой на достаточном расстоянии	Стрелец 11½½	-14¾	5	λ CrA
12	Звезда, предшествующая этой	Стрелец 9¾	-15½½	5	BSC 6942(?) ¹³²

164

166

[Но- мер]	Конфигурации	Градусы долготы	Градусы широты	Вели- чины	[Современные обозначения]
13	Последняя звезда, южнее упомянутой	Стрелец 9½	-18½	5	θ CrA
Всего 13 звезд, из них 5 четвертой величины, 6 пятой, 2 шестой.					
Созвездие Южной Рыбы					
1	Звезда во рту, совпадаю- щая с началом воды [Во- долей] ¹³³	Водолей 7	-20½	1	α PsA
2	Из трех на южном крае головы передняя	Водолей 0¾	-20½	4	β PsA
3	Средняя из них	Водолей 4½	-22¼	4	γ PsA
4	Задняя из трех	Водолей 5½	-22½	4	δ PsA
5	Звезда на жабрах	Водолей 4½	-16¼	4-3	ϵ PsA
6	Звезда на южном спинном плавнике	Козерог 25½	-19½	5	μ PsA
7	Из двух на брюхе задняя	Водолей 1½	-15½	5	ζ PsA
8	Передняя из них	Козерог 28½½	-14¾(?) ¹³⁴	4	λ PsA
9	Из трех на северном плав- нике задняя	Козерог 25½	-15	4	η PsA
10	Средняя из них	Козерог 21½½	-16½	4	θ PsA
11	Передняя из трех	Козерог 21	-18½	4	ι PsA
12	На конце хвоста	Козерог 20½(?) ¹³⁵	-22¼	4	γ Gru
Всего 11 звезд ¹³⁶ , из них 9 четвертой, 2 пятой величины.					
Около Рыбы, не вошедшие в фигуру					
13	Передняя из трех ярких, предшествующих звездам [Южной] Рыбы	Козерог 8	-22½	3-4	η Mic(?) ¹³⁷
14	Средняя из них	Козерог 11½	-22½	3-4	θ^1 Mic(?)
15	Последняя из трех	Козерог 14	-21½	3-4	ξ Gru(?)
16	Тусклая звезда, предшест- вующая этой	Козерог 12	-20½½	5	θ^2 Mic(?)
17	Из остающихся двух к северу более южная	Козерог 13½½	-17	4	γ Mic(?)
18	Северная из них	Козерог 13½½	-14½½	4	α Mic(?)
Всего 6 звезд, из них 3 третьей величины, 2 четвертой, 1 пятой.					
В южной части 316 звезд, из них 7 первой величины, 18 второй, 63 третьей, 164 четвертой, 54 пятой, 9 шестой, 1 туманная.					
Всех неподвижных звезд вместе 1022 ¹³⁸ , из них 15 первой величины, 45 второй, 208 третьей, 474 четвертой, 217 пятой, 49 шестой, 9 тусклых, 5 туманных, а также Волосы [Вероники].					

2. О положении круга Млечного Пути

Итак, порядок неподвижных звезд дан нами в приведенном выше изложении. В дополнение к этому согласно логической последовательности [изложения] скажем также и о положении круга Млечного Пути, насколько это возможно сделать и как мы наблюдали каждую из его частей; это будет попыткой изобразить его форму в различных местах.

Нужно сказать, что Млечный Путь представляет собой не просто круг, но некоторый пояс, имеющий как бы цвет молока, в связи с чем он и получил свое наименование. И этот круг не является во всех частях ни одинаковым, ни правильным, но различается и по ширине, и по цвету, и по плотности, и по положению и в одном месте он оказывается даже раздвоенным, как легко могут заметить с первого взгляда все смотрящие на него. Что же касается деталей, требующих более тщательного наблюдения, то мы нашли их такими, как это описано ниже.

Раздвоенная часть этого пояса имеет [две] так называемые развилки, одну у Жертвенника, а другую у Птицы. Предшествующий [более западный] пояс нигде не касается другого; он образует разрыв у обеих развилки — и около Жертвенника, и около Птицы. Последующий же пояс соединяется с остальной частью Млечного Пути и образует [вместе с ней] единый пояс, посередине которого можно было бы провести большой круг; его-то прежде мы и опишем, начиная с самой южной его части.

Эта часть проходит через ноги Кентавра, где [Млечный Путь] является наиболее разреженным и темным. Звезда [γ Cgr], находящаяся на сгибе задней правой ноги, расположена несколько севернее южной линии Млечного Пути, так же, как и звезды, находящиеся у переднего левого колена [β Cen] и под задней правой лодыжкой [β Cgr]. Звезда же на нижней части задней левой ноги расположена посередине Млечного Пути [δ Cgr], а звезды на лодыжке этой же ноги [α Cgr] и на передней правой лодыжке [α Cen] отстоят к северу от южной дуги приблизительно на 2 градуса, каких в большом круге содержится 360. Части, находящиеся у задних ног, значительно более плотные¹³⁹.

В дальнейшем северная дуга Млечного Пути отстоит от звезды на крестце Звезря [ζ Lup] приблизительно на $1\frac{1}{2}$ градус; южная же часть занимает место у пламени Жертвенника [ζ Aqa] и касается более северной [β Aqa] из двух смежных звезд на верхней части очага и более южной [θ Aqa] из двух на его основании. Звезды же, находящиеся в более северной части очага [ϵ^1 Aqa] и в середине его [α Aqa], расположены на самом Млечном Пути, и соответствующие части последнего будут наиболее разреженными¹⁴⁰.

Затем, северная часть Млечного Пути охватывает три сочленения [θ , ι , κ Sco] перед жалом Скорпиона [G Sco] и следующее за жалом туманообразное скопление; южная же дуга касается звезды, расположенной в правой задней пятке Стрельца [η Sgr], и захватывает также звезду на левой руке [δ Sgr]. Звезда, находящаяся на южной части лука [ϵ Sgr], расположена вне Млечного Пути, звезда же на острие стрелы [γ Sgr] — в самой его середине. Звезды, находящиеся в северной части лука [λ , μ Sgr], также лежат на Млечном Пути, отклоняясь чуть больше 1 градуса от обеих дуг, а именно южная звезда к югу, а северная в противоположную сторону¹⁴¹. Часть [Млечного Пути] около трех сочленений [хвоста

Скорпиона] значительно более плотная, а часть на острие стрелы очень плотная и кажется дымообразной.

Следующая часть менее плотная. Она простирается до Орла, сохраняя приблизительно одинаковую ширину. Звезда, находящаяся на конце хвоста 173 Змеи [θ Ser], которую держит Змееносец, лежит в чистом воздухе¹⁴² и немного больше, чем на 1 градус отстоит от предшествующей дуги Млечного Пути. Из расположенных под Орлом ярких звезд две предшествующие находятся на самом Млечном Пути, причем более южная [λ Aql] отстоит от задней дуги на 1 градус, а более северная [δ Aql] — на 2. И задняя [из двух] звезда [σ Aql] из тех, которые находятся на правом плече Орла, касается этой самой дуги, а предшествующая ей [μ Aql] находится внутри нее, как и предшествующая [последней] яркая звезда на левом крыле [γ Aql]. Яркая звезда на спине [α Aql] и две, находящиеся с ней на одной прямой, тоже почти касаются этой дуги¹⁴³. Далее, Стрела целиком охватывается Млечным Путем; звезда ее, находящаяся на острие [γ Sge], отстоит на 1 градус от восточной дуги, а звезда на оперении [β Sge] — на 2 градуса от западной¹⁴⁴. Часть Млечного Пути в районе Орла более плотная, а остальные более разреженные.

После этого Млечный Путь проходит через Птицу, и дуга, лежащая к северу и западу, граничит в своем изгибе со звездой, лежащей на южном плече Птицы [λ Cyg], затем с лежащей под ней на том же [южном] крыле [ϵ Cyg] и с двумя звездами на южной ноге [ν , ξ Cyg]; к востоку же и к югу дуга граничит со звездой, лежащей на конце южной лапы [ζ Cyg], и охватывает две звезды, не вошедшие в фигуру [τ , σ Cyg], под тем же самым крылом, так что они отстоят от дуги приблизительно на 2 градуса¹⁴⁵. 174 Часть [Млечного Пути] вокруг этого крыла значительно более плотная. Следующая за ним часть соединена с этим поясом, но [она] гораздо более плотная и исходит как бы от другой начальной точки. Они действительно отклоняются к крайним частям другого пояса, образуя с ним некоторый промежуток; они примыкают южной стороной к описываемому нами поясу, который в месте соединения будет очень разреженным. После же разрыва между обеими частями он становится более плотным, начиная от яркой звезды в правой части хвоста Птицы [α Cyg] и от туманного скопления на северном колене [ω Cyg]. Затем, слегка поворачиваясь, он сохраняет свою плотность до звезды на южном колене [ξ Cyg] и понемногу разрежается до тиары Цефея. Северная сторона ограничивается южной звездой из трех в тиаре [ϵ Ser], а также следующей за этими тремя звездой [δ Ser]; около нее он образует два выступа, из которых один направляется как бы к северо-востоку, а другой — как бы к юго-востоку¹⁴⁶.

После этого Млечный Путь охватывает всю Кассиопею за исключением звезды на конце ноги [ι Cas]. Южная дуга определяется звездой на голове Кассиопеи [ζ Cas], а северная — звездой на подножии трона [κ Cas] и 175 звездой на голени Кассиопеи [ϵ Cas]¹⁴⁷. Остальные окружающие их звезды [Кассиопеи] расположены все на Млечном Пути, причем места по краям представляются более разреженным потоком, а посередине Кассиопеи кажутся уплотненными.

Дальше правые части Персея тоже охватываются Млечным Путем. Северную часть, также более разреженную, ограничивает уединенная звезда, находящаяся вне правого колена Персея [BSC 1314], а с очень плотной

южной граничат яркая звезда на правом боку [α Per] и две следующие звезды из трех, находящихся к югу от нее [ψ , δ Per]. На Млечном Пути располагается также и туманообразное скопление [h, χ Per], находящееся на рукоятке, звезда на голове [τ Per], на правом плече [γ Per] и на правом локте [η Per]. Посередине Млечного Пути лежит четырехугольник на правом колене [72, λ , 48, μ Per], затем звезда на икре той же ноги [53 Per]. В его пределах находится также звезда на правой пятке [58 Per] на небольшом расстоянии от его южного края¹⁴⁸.

После этого пояс идет через Возничего, причем поток представляется более разреженным. При этом звезда на левом плече, так называемая Коза [α Aur], и две звезды на правом локте [ν , θ Aur] почти касаются северо-восточного края Млечного Пути; небольшая звезда над левой ступней [14 Aur] лежит на границе с юго-западным краем. Звезда же над правой ступней [χ Aur] находится на полградуса внутри от этого края, а две смежные звезды, находящиеся на левой локтевой части, называемые Козлятами [η , ζ Aur], расположены посередине пояса¹⁴⁹.

Далее Млечный Путь проходит через ноги Близнецов, образуя большое и достаточно протяженное уплотнение около звезд, находящихся на концах ног. Задняя звезда из трех звезд по прямой под правой ногой Возничего [1(H) Gem] и задняя звезда из двух на палице Ориона [χ^2 Ori], а также две северные звезды из четырех на его руке [f^1 , f^2 Ori] ограничивают передний край Млечного Пути, а яркая звезда под правой рукой Возничего [κ Aur] и звезда на конце последующей ноги заднего Близнеца [ξ Gem] находятся приблизительно на 1 градус внутри от заднего края пояса. Остальные же звезды на концах ног [η , μ , ν , γ Gem] расположены посреди Млечного Пути¹⁵⁰.

Затем пояс проходит в стороне от Прорциона и Пса, оставляя Прорцион целиком к востоку и достаточно далеко от Млечного Пути, а Пса — к западу и также почти целиком вне Млечного Пути. Он как бы выступом охватывает звезду, находящуюся на спине¹⁵¹ Пса [θ CMA], и почти касается следующих за ней трех звезд на шее Пса [μ , γ , ι , π CMA], а уединенная звезда, расположенная над головой Пса [22 Mon], находится внутри восточной дуги приблизительно на расстоянии $2\frac{1}{2}$ градуса¹⁵². Плотность [Млечного Пути] в этом месте несколько разреженнее.

После этого Млечный Путь проходит через Арго. При этом северная и передняя звезда из находящихся на щитах кормы [m Pup] ограничивает западную дугу пояса. Звезда же посередине щита [BSC 2948 + 2949], затем две смежные с ней [3, l Pup], яркая звезда в начале палубы у кормила [ζ Pup] и средняя из трех на киле [δ Vel] почти касаются этого края. Северная звезда из трех на основании мачты [BSC 3439] ограничивает восточную дугу, тогда как яркая звезда на борту [ρ Pup] располагается на 1 градус внутри от этого [восточного] края, а яркая звезда под следующим щитом на палубе [λ Vel] находится тоже на 1 градус за пределами этого края. Южная из двух ярких звезд посередине мачты [β Pux] касается этого же края, а две яркие звезды на краю киля [γ Vel, χ Car] находятся приблизительно на 2 градуса внутри от предшествующей дуги¹⁵³. В этом месте Млечный Путь соединяется с поясом, проходящим через ноги Кентавра. В области Арго он в высшей степени разрежен; больше

всего он уплотняется в местах около щитов, около основания мачты и около края киля.

Вышеупомянутый пояс¹⁵⁴ образует, как мы уже сказали, разрыв между [развилкой у Птицы] и частью, которую мы описали у Жертвенника. Начиная с этой точки он включает три сочленения хвоста Скорпиона [ϵ, μ, ζ^2 Sco], но оставляет на 1 градус вне западной дуги заднюю из трех звезд на туловище [τ Sco]. Звезда же на четвертом сочленении [η Sco] лежит в свободном пространстве между обоими поясами¹⁵⁵, отстоя от каждого из них приблизительно на одинаковое расстояние, немного большее 1 градуса.

Отсюда предшествующий пояс поворачивает на восток по дуге круга и ограничивает передний [западный] край Млечного Пути звездой на правом колене Змееносца [η Oph], а задний — звездой на его передней голени [ξ Oph]. Предшествующая же звезда из тех, что на конце той же ноги [36 Oph], касается этого же края. Затем, с западной дугой граничит звезда на правом локте Змееносца [μ Oph], а с восточной — передняя из двух на конце той же руки [ν Oph]. Отсюда идет достаточно большой разрыв со свободным пространством, в котором расположены две звезды на хвосте Змеи [ζ, η Ser], следующие после звезды на его конце [θ Ser]¹⁵⁶. Вся упомянутая часть этого пояса совершенно разрежена и почти воздушна, за исключением места, включающего три хвостовых сочленения [Скорпиона]; здесь она значительно уплотняется.

После этого разрыва Млечный Путь начинается вновь от четырех звезд, следующих за правым плечом Змееносца [66, 67, 68, 70 Oph]. Восточный край этого пояса ограничивает касающаяся его яркая звезда, уединенно стоящая под хвостом Орла [ζ Aql], а противолежащую дугу определяет звезда, удаленная на некоторое расстояние к северу от названных четырех [72 Oph]. Отсюда упомянутый пояс становится не только разреженным, но и сильно сужается в местах, предшествующих клюву Птицы [β Cyg], так что имеет вид разрыва. Однако остальная часть этого пояса, от звезды около клюва и до звезды на груди Птицы [γ Cyg], более широкая и достаточно плотная. Звезда на шее Птицы [η Cyg] расположена в середине уплотнения. От звезды на груди некоторая разреженная часть уходит к северу до звезды на плече правого крыла [δ Cyg] и до двух смежных звезд на конце правой ноги [σ^1, σ^2 Cyg]. Отсюда, как мы сказали, начинается разрыв, идущий от упомянутых звезд Птицы до яркой звезды на хвосте [α Cyg]¹⁵⁷.

3. Об устройстве небесного глобуса

Итак, мы указали места расположения различных частей Млечного Пути. Но мы также хотим построить при помощи глобуса изображение, соответствующее установленным предположениям относительно сферы неподвижных звезд, которая перемещается, как и сферы блуждающих светил, первым движением вокруг полюсов равноденственного круга с востока на запад и одновременно движется в противоположную сторону вокруг полюсов зодиака и круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий. Построение глобуса и нанесение созвездий произведем следующим образом¹⁵⁸.

Цвет фона глобуса мы сделаем довольно темным, чтобы он походил на цвет не дневного, но ночного неба, в котором появляются звезды. Взяв на нем две точки, расположенные точно на одном диаметре, мы, используя их в качестве полюсов, опишем большой круг, который всегда будет находиться в плоскости, проходящей через середины зодиакальных созвездий. Под прямыми углами к этому кругу и через его полюсы мы проводим другой круг и, начиная от одной из точек его сечения с первым, делим круг через середины зодиакальных созвездий на 360 частей, надписывая на нем числа градусов, насколько это окажется возможным. После этого сделаем из крепкого и хорошо сохраняющего свою форму материала¹⁵⁹ два круга, которые образовывали бы на поверхностях квадранты и были бы везде хорошо обточены; пусть меньший из них касается сферы по всей своей вогнутой поверхности, а другой будет немного больше. Посередине выпуклой поверхности каждого круга вырежем [средние] линии, которые точно разделят пополам толщину этих кругов; используя эти линии как ориентиры,отрежем одну из половин каждого круга¹⁶⁰; при помощи насечек, сделанных на [оставшейся] половине периметра, разделим полуокружность на 180 частей. Когда это будет сделано, наложим меньший круг так, чтобы поверхность упомянутого выреза всегда проходила через полюсы равноденственного и зодиакального кругов, а также и через точки солнцеворотов, и, просверлив его посередине по диаметру у концов выреза, приладим его при помощи шпенок к взятым на сфере полюсам круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, так, чтобы он мог вращаться по всей сферической поверхности.

В качестве постоянного начала для созвездий неподвижных звезд (поскольку не будет хорошо, если мы возьмем точки равноденствий и солнцестояний на зодиаке глобуса, ибо расстояния наносимых звезд от них не остаются постоянными) мы выбираем самую яркую звезду, а именно расположенную во рту Пса¹⁶¹, и на круге, проведенном перпендикулярно зодиаку через сечение, отмечаем в качестве начальной точки деление, соответствующее числу градусов широты [которое принято для этой звезды в каталоге] от средней линии зодиака по направлению к южному его полюсу. Мы отмечаем каждую из остальных неподвижных звезд в последовательности их записи, вращая вокруг полюсов зодиака круг с разделенным вырезом. Придвигая поверхность вырезанной его стороны к той точке круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, которая отстоит от отмеченного сечения Пса в начале отсчета на то число градусов, на какое рассматриваемая звезда отстоит по записанной в каталоге долготе от Пса¹⁶², и, приходя к точке на вращающейся и разделенной стороне [широтного круга], отстоящей от средней линии зодиака на число градусов, соответствующее расстоянию звезды по направлению к северному или южному полюсу, мы отмечаем там место звезды, накладывая желтый или для некоторых звезд какой-нибудь другой выбранный цвет соразмерно и соответственно величине звезд.

Очертания каждого из созвездий мы сделаем возможно более простыми, соединяя только одними линиями служащие для их изображения звезды, причем эти линии не должны очень отличаться от цвета всей сферы, чтобы, с одной стороны, не была утеряна практическая цель обозначений звезд по образуемым ими фигурам, а с другой — чтобы наложение пестрых цветов не уничтожило сходство изображения с действительностью; это позволяет нам, когда мы начнем изучать [звездное небо], легче запомнить,

а потом сравнить относительные положения звезд, поэтому мы должны привыкнуть к неприукрашенному изображению звезд также и на глобусе.

Поместим затем [на глобусе] и расположение круга Млечного Пути в соответствии с его положениями, очертаниями, сгущениями и разрывами, как они описаны выше. Затем мы прилаживаем больший из кругов, который всегда будет изображать меридиан, к объемлющему глобус меньшему и к полюсам, которые в дальнейшем будут совпадать с полюсами равноденственного круга. Эти точки должны быть отмечены по диаметру на большем меридианном круге опять на концах вырезанной и разделенной ею стороны, которая обозначает часть меридиана, находящуюся над поверхностью Земли; на меньшем же круге, проходящем через обе пары полюсов, они должны быть расположены по диаметру на концах дуг, отстоящих от полюсов зодиака на градусы наклона эклиптики, а именно 23;51; по вырезам на обеих сторонах круга должны быть вставлены маленькие шипы, соответствующие отверстиям для полюсов¹⁶³.

Затем вырезанную сторону меньшего из кругов, которая, конечно, должна быть всегда тождественной с меридианом, проходящим через точки
184 солнцеворотов, мы будем каждый раз устанавливать на ту из точек деления зодиака, которая будет отстоять на столько градусов от начала Пса, на сколько Пес в рассматриваемое время отстоит от точки летнего солнцеворота; так, для начала царствования Антонина — на 12½ градусов в направлении, противоположном последовательности знаков зодиака¹⁶⁴. Меридиан мы сделаем перпендикулярным к находящемуся на основании горизонту так, чтобы он разделился пополам видимой поверхностью последнего. Он тоже может вращаться в своей плоскости, и поэтому при помощи делений меридиана мы сможем поднимать над горизонтом северный полюс на дугу, соответствующую предполагаемому климату¹⁶⁵.

Не будет никакого вреда для нас, если не оказалось возможным отметить на сфере положения равноденственного круга и тропиков. Действительно, на разделенной стороне меридианного круга точка, находящаяся между полюсами равноденственного круга и отстоящая от каждого из них на 90 градусов четверти круга, будет эквивалентна точкам равноденственного круга, а точки, отстоящие от нее на 23;51 градуса в обе стороны, будут обладать свойствами точек каждого из тропиков, а именно северная — лет-
185 ного тропика, а южная — зимнего. Таким образом, передвигая первым вращением с востока на запад каждую из исследуемых звезд к разделенной стороне меридианного круга, при помощи его делений мы сможем также определить расстояние их от тропиков или экватора, как если бы мы были в состоянии определить их при помощи круга, проходящего через полюсы равноденственного.

4. О свойственных неподвижным звездам конфигурациях

После того как мы определили собственные расположения неподвижных звезд по созвездиям, нам остается рассказать об их конфигурациях. Если оставить в стороне фиксированные их расположения по отношению друг к другу, например, когда некоторые из них расположены по прямой или образуют треугольники или иные фигуры, то из меняющихся их положений некоторые рассматриваются по отношению к одним только блуждающим светилам, к Солнцу и Луне или к делениям зодиака; другие же — по отношению к одной Земле; наконец, [третьи] — по отношению одновременно

к Земле и блуждающим светилам, к Солнцу и Луне или к делениям зодиака.

Положения неподвижных звезд по отношению к одним только блуждающим светилам или к частям зодиака вообще определяются или когда звезды и планеты оказываются на одном и том же круге, проходящем через полюсы зодиака, или на различных, образуя своими расстояниями треугольники, квадраты или шестиугольники, т.е. когда они образуют углы или прямые, или треть прямого угла, или больше, или меньше¹⁶⁶. В особом смысле это бывает, если какое-нибудь из блуждающих светил может пройти под какой-нибудь неподвижной звездой, причем последние находятся в образуемой зодиаком призме, включающей отклонения по широте движущихся светил¹⁶⁷. По отношению к пяти блуждающим светилам они определяются по их видимым сближениям или соединениям, по отношению же к Солнцу и Луне — их заходами, покрытиями и восходами. Мы называем заходом конфигурацию, при которой какая-нибудь звезда становится невидимой из-за сияния светила, покрытием, когда она покрывается центром одного из них, и восходом, когда она становится видимой, удаляясь от сияния светила.

Положения же неподвижных звезд по отношению только к Земле бывают четырех родов, некоторые называют их основными. Это будут восход, прохождение через меридиан над Землей, заход и прохождение через меридиан под Землей¹⁶⁸. Там, где равноденственный круг проходит через точку непосредственно над головой, все неподвижные звезды восходят и заходят и при каждом [суточном] обращении один раз проходят через меридиан над Землей и один раз под Землей, так как полюсы равноденственного круга касаются горизонта, и ни один из параллельных кругов не будет или всегда видимым, или никогда невидимым. Там же, где полюс оказывается прямо над головой, ни одна из неподвижных звезд не восходит и не заходит; равноденственный круг занимает положение горизонта, и одно из определяемых им полушарий будет всегда вращаться над Землей, а другое под Землей; так что во время одного оборота каждое светило два раза проходит через меридиан, одни [светила] над Землей, а другие под ней¹⁶⁹. При других наклоне [равноденственного круга относительно горизонта], лежащих между указанными, одни круги бывают или всегда видимыми, или всегда невидимыми, и звезды, заключенные между ними со стороны полюсов, не будут ни восходить, ни заходить, и в течение каждого оборота они производят два прохождения через меридиан: те, которые находятся в вечно видимой области, — над Землей, а находящиеся в вечно невидимой — под Землей. Остальные же звезды, находящиеся на больших параллельных кругах, и восходят, и заходят, и в каждом обращении бывают [в меридиане] один раз над Землей, один раз под ней. Время этих оборотов от одного основного положения до другого такого же всегда будет одним и тем же; для наших чувств оно составляет время полного оборота. Время же перехода из какого-нибудь основного положения в прямо противоположное по диаметру меридианного круга тоже будет всегда одним и тем же, ибо оно содержит половину одного оборота. По отношению же к горизонту оно будет всегда одним и тем же, только если равноденственный круг проходит через точку над головой, ибо [в этом случае] каждый переход включает половину времени полного оборота, так

как все параллели делятся пополам не только равноденственным кругом, но и горизонтом. Для других же наклонов время пребывания над и под Землей не будет одинаковым ни для всех светил вместе, ни для каждого в отдельности, если только светило не окажется на самом равноденственном круге, ибо только он один делится горизонтом на равные части и на наклонной сфере, все же другие круги пересекаются и на неравные, и на неподобные части. В соответствии с этим время от восхода или захода до какого-нибудь прохождения через меридиан будет для каждого светила равно времени от этого прохождения до следующего восхода или захода вследствие того, что меридиан делит на равные части отрезки параллелей как над, так и под Землей. Время же от восхода или захода до прохождения через соответствующий меридиан на наклонной сфере не будет одинаковым [для всех звезд], разве только на прямой сфере, так как только в этом случае все отрезки над Землей оказываются равными отрезками под ней. Поэтому на прямой сфере звезды, одновременно проходящие через меридиан, будут всегда одновременно восходить и заходить, по крайней мере если их перемещения вокруг полюсов зодиака не будут заметными¹⁷⁰. На наклонной же сфере звезды, одновременно проходящие через меридиан, не будут одновременно ни восходить, ни заходить, но более южные звезды будут всегда позднее восходить и ранее заходить по сравнению с более северными.

Конфигурации же неподвижных звезд, наблюдаемые по отношению к Земле и одновременно к планетам или частям зодиака, вообще определяются тоже или по совместным восходам, прохождениям через меридиан, или по заходам вместе с какой-нибудь из планет или частей зодиака¹⁷¹; в частности, по отношению к Солнцу выделяют положения следующих 9 видов.

Первый вид конфигураций представляет так называемый утренний восход вместе с Солнцем, когда звезда оказывается вместе с Солнцем на восточном горизонте. Одна его разновидность называется невидимым поздним утренним восходом, когда звезда, у которой вот-вот наступит первая видимость, восходит сейчас же за Солнцем; другая разновидность называется истинным совместным утренним восходом, когда звезда находится на восточном горизонте одновременно с Солнцем и в том же месте; еще одна разновидность называется видимым утренним ранним восходом, когда звезда, начавшая уходить от Солнца, предшествует своим восходом Солнцу¹⁷².

Второй вид конфигураций — утреннее прохождение через меридиан — бывает, когда Солнце находится на восточном горизонте, а звезда на меридиане — над или под Землей. Одна его разновидность опять называется невидимым утренним прохождением через меридиан, когда звезда проходит через меридиан сейчас же после восхода Солнца, другая — истинным утренним прохождением через меридиан, когда звезда проходит через меридиан одновременно с восходом Солнца; еще одна называется утренним ранним прохождением через меридиан, когда при прохождении звезды через меридиан Солнце сейчас же восходит, и если прохождение бывает над Землей, то оно бывает видимым.

Третий вид конфигураций называется утренним заходом, когда Солнце находится на восточном горизонте, а звезда на западном. Опять одна его разновидность называется утренним невидимым поздним заходом, когда звезда заходит непосредственно после восхода Солнца, другая — утренним истинным совместным заходом, когда одновременно с восходящим Солнцем

звезда заходит, третья — утренним видимым ранним заходом, когда Солнце тотчас же восходит после захода звезды¹⁷³.

Четвертый вид конфигураций называется полуденным восходом, когда при нахождении Солнца на меридиане звезда будет на восточном горизонте. Одна разновидность [этого положения] опять называется дневным и невидимым восходом, когда звезда восходит при прохождении Солнца через меридиан над Землей, другая же — ночным и видимым, когда звезда восходит при прохождении Солнца через меридиан под Землей.

Пятый вид конфигураций называется полуденным прохождением через меридиан, когда и звезда, и Солнце оказываются одновременно на меридиане. И здесь имеются две разновидности: дневных и невидимых, когда Солнце проходит через меридиан над Землей, а звезда вместе с ним проходит меридиан или над Землей, или в диаметрально противоположном положении под Землей; а также две ночных, когда Солнце проходит через меридиан под Землей, из них одна будет невидимой, когда звезда и сама вместе с Солнцем проходит через меридиан под Землей, другая же видимая, когда она в диаметрально противоположном направлении проходит через меридиан над Землей.

Шестой вид конфигураций называется полуденным заходом, когда при нахождении Солнца на меридиане звезда будет на западном горизонте. Одна разновидность будет опять дневной и невидимой, когда при прохождении Солнца через меридиан над Землей звезда заходит; другая же ночной и видимой, когда звезда заходит при прохождении Солнца через меридиан под Землей.

Седьмой вид конфигураций называется вечерним восходом, когда при нахождении Солнца на западном горизонте звезда будет на восточном. Здесь опять одна разновидность [этого положения] называется вечерним поздним видимым восходом, когда при заходе Солнца звезда тотчас же восходит¹⁷⁴; другая называется вечерним одновременным истинным заходом, когда звезда восходит вместе с заходом Солнца; третья называется вечерним ранним невидимым восходом, когда при восходе звезды Солнце сейчас же заходит.

Восьмой вид конфигураций называется вечерним прохождением через меридиан, когда Солнце находится на западном горизонте, а звезда на меридиане над или под Землей. Здесь опять одна разновидность называется вечерним видимым поздним прохождением через меридиан, когда после захода Солнца звезда сейчас же проходит через меридиан, другая — вечерним истинным одновременным прохождением через меридиан, когда одновременно Солнце заходит, а звезда проходит через меридиан, а третья — вечерним невидимым ранним прохождением через меридиан, когда после прохождения звезды через меридиан Солнце сейчас же заходит.

Девятый вид конфигураций называется вечерним заходом, когда звезда вместе с Солнцем оказывается на западном горизонте. Здесь опять одна разновидность [этого положения] называется вечерним видимым поздним заходом, когда звезда, у которой имеет место последняя видимость, заходит сейчас же после Солнца¹⁷⁵, другая называется вечерним истинным совместным заходом, когда звезда и Солнце заходят одновременно, третья же называется вечерним невидимым ранним заходом, когда звезда, начавшая уходить от Солнца, заходит перед Солнцем.

5. Об одновременных восходах, кульминациях и заходах неподвижных звезд

Для указанных положений времена истинных, т.е. относимых к центру Солнца, совместных восходов, кульминаций и заходов могут быть
 194 определены нами немедленно геометрически, если известны положения [рассматриваемых звезд] по созвездиям [на небесном глобусе]. Точки же средней линии зодиака, с которыми одновременно кульминирует, восходит и заходит каждая звезда, могут быть геометрически определены при помощи приведенных выше теорем¹⁷⁶.

Пусть сначала в случае одновременных кульминаций кругом, проходящим через полюсы равноденственного и зодиакального кругов, будет АВГД [рис. 8.1], полуокружностью равноденственного будет АЕГ около полюса Z, а зодиака — ВЕД около полюса Н. Через полюсы зодиака проведем отрезок большого круга НΘКΛ, на котором в точке Θ вообразим исследуемую неподвижную звезду. Положения звезд по отношению к полученным таким образом кругам¹⁷⁷ могут быть определены по нашим наблюдениям и каталогу. Затем через полюсы равноденственного круга и звезду Θ проведем отрезок ZΘМN большого круга.

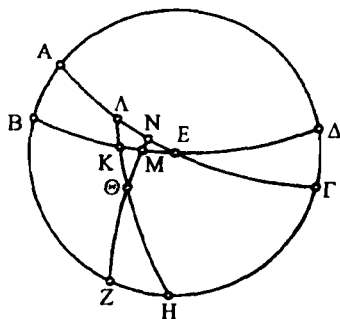


Рис. 8.1

Теперь очевидно, что находящаяся в Θ звезда кульминирует одновременно с точками М и N равноденственного круга и зодиака¹⁷⁸; но положения
 195 этих точек и дуга ΘN известны, что выяснится из дальнейшего рассмотрения. Действительно, на основании доказанного в первых книгах этого сочинения, две дуги больших кругов АН и АN пересечены дугами больших кругов НΛ и NZ, и отношение стягивающей удвоенную дугу НА к стягивающей удвоенную АZ складывается из отношения стягивающей удвоенную дугу НА к стягивающей удвоенную ΛΘ и отношения стягивающей удвоенную дугу NΘ к стягивающей удвоенную ZN. Но каждая из дуг AZ, ZN и НК будет равна четверти окружности, и по каталогу звезд будут известны дуги KΘ широты и KB на основе долготы, а поскольку известен наклон зодиакальной линии, то будут заданными и дуги ZH и КΛ. Следовательно, ясно, что из искомых дуг будут заданными НА, AZ, ΛΘ, НΛ и NZ, а при их помощи определится и остающаяся дуга NΘ¹⁷⁹.

Далее, поскольку отношение стягивающей удвоенную дугу ZH к стягивающей удвоенную НА складывается из отношения стягивающей удвоенную дугу ZΘ к стягивающей удвоенную ΘN и отношения стягивающей удвоенную дугу NΛ к стягивающей удвоенную ΛА, на основании
 196 изложенного выше из искомых дуг известны ZH и НА, затем ZΘ и ΘN; и дуга ΛА определится по KB на основе дуг равноденственного круга, которые восходят одновременно с дугами наклонного круга в прямой сфере; и, следовательно, будет известной и остающаяся NΛ. Аналогичным образом по дуге NA определится и дуга MB зодиака¹⁸⁰.

Если известны одновременно кульминирующие точки¹⁸¹, то точки равноденственного круга и зодиака, одновременно восходящие и заходящие с [данной] неподвижной звездой, легко могут быть найдены следующим способом.

EZ, то звезда с меньшей величиной, хотя бы она и находилась от Солнца на равном по широте расстоянии, появится впервые, когда Солнце будет находиться на дуге, большей EZ, так как эффект от ее сияния будет слабее. И, далее, для звезд одинаковой величины, если расположенная ближе по широте к точке E [звезда] будет увидена на расстоянии EZ [Солнца от горизонта], то [звезда] находящаяся на большем, чем у [точки] E, расстоянии по широте появится при меньшем расстоянии Солнца. Так как для одного и того же положения Солнца под Землей сияние Солнца на самом зодиаке [в точке E] больше, чем на более от него дальнем расстоянии [по широте]. Что же касается звезд одинаковой величины, восходящих на одинаковых расстояниях по широте, то чем больше будет зодиак склоняться к горизонту, делая меньшим угол ΔEZ , тем на большем расстоянии EZ будет впервые становиться видимой звезда.

Действительно, если мы, как это сделано на следующем рисунке [рис. 8.4], проведем дополнительно через полюс горизонта и точку Z, где находится Солнце, большой круг, который будет, конечно, перпендикулярным к горизонту, а именно $H\Theta ZK$, то расстояние Солнца под Землей для тех же самых звезд будет всегда оставаться равным $Z\Theta$, так как при одинаковости этого расстояния будут одинаковыми и лучи Солнца над поверхностью Земли. Если же, как мы сказали, дуга ΘZ будет оставаться одной и той же, то дуга EZ при положении зодиака ближе к перпендикуляру в точке восхода будет меньше, а при более наклонных [положениях зодиака] — больше.

Следовательно, если мы хотим определить по зодиаку расстояние Солнца под Землей, то необходимы наблюдения для каждой отдельной звезды¹⁸⁵. А если и измеренное перпендикулярно горизонту расстояние, как, например, $Z\Theta$ на

приведенном чертеже, не остается одним и тем же для всех климатов и для одних и тех же звезд вследствие того, что солнечное сияние не будет таким же в более плотном воздухе северных стран, то нам понадобятся наблюдения не только для одного климата, но и для каждого из остальных.

Если же для одних и тех же звезд дуга $Z\Theta$ остается той же самой везде, как можно считать вероятным на основании того, что при изменении климата сияния и Солнца, и звезд необходимо должны изменяться одинаково, то для нас будут достаточными и расстояния, наблюдаемые только в одном климате¹⁸⁶. Все же остальные можно будет исследовать геометрически, даже если в различных климатах будет изменяться наклонение зодиака и по отношению к нему будет происходить упомянутое движение сферы неподвижных звезд в направлении последовательности знаков.

Действительно, пусть на указанном рисунке [8.4] будет дано расстояние EZ на основании наблюдений в одном каком-нибудь климате. Теперь, поскольку опять две дуги больших кругов, $H\Theta$ и HZ , пересечены дугами $B\Theta$ и ZA , отношение стягивающей двойную дугу AB к стягивающей двойную дугу BH складывается из отношения стягивающей двойную дугу AE к

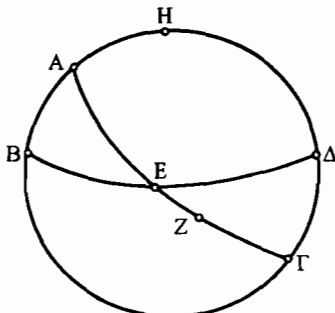


Рис. 8.3

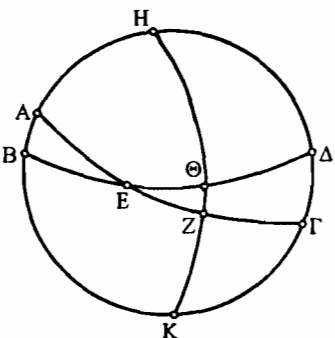


Рис. 8.4

стягивающей двойную дугу EZ и отношения стягивающей двойную дугу ZΘ к стягивающей двойную дугу ΘН.

Но из рассматриваемых дуг ВН и ΘН каждая будет равна четверти окружности. И так как точка Е [зодиака], одновременно с которой восходит звезда, известна, то будет также заданной и кульминирующая точка А меридиана, определяемая по теории времен восхода. Вследствие этого будет известной дуга АЕ, а по наблюдениям — и EZ; будет также известной и дуга АН, определяемая по расстоянию точки А от равноденственного круга при помощи таблицы склонений, и по расстоянию равноденственного круга от точки зенита по тому же меридиану, которое будет равно высоте полюса. Следовательно, будет известной и остающаяся дуга ZΘ¹⁸⁷.

Так как эта дуга будет найдена и остается везде одинаковой, то мы при помощи тех же самых рассуждений определим через нее получающиеся при других наклонках величины EZ. Действительно, отношение стягивающей удвоенную дугу НВ к стягивающей удвоенную АВ складывается из отношения стягивающей удвоенную дугу НΘ к стягивающей удвоенную ZΘ и отношении стягивающей удвоенную ZE к стягивающей удвоенную ЕА. Из рассматриваемых дуг мы ZΘ предполагаем теперь известной, а точка Е, одновременно с которой восходит звезда в рассматриваемом климате, дана согласно показанному выше. Точно так же будут даны дуги ЕА и ВА, и, следовательно, будет известной и остающаяся дуга EZ зодиака¹⁸⁸.

Тот же самый способ мы можем применить и для гелиакических заходов, если только начертим на таком же рисунке с другой стороны положение зодиака согласно его наклону, так что дугу горизонта мы теперь предполагаем западной. Итак, чтобы не опускать совершенно этой темы, мы считаем, что сказанного будет вполне достаточно для получения выводов и в этой теории. Действительно, получаемые из такого рода предсказаний выводы, вообще говоря, ненадежны не только вследствие очень больших различий в климатах и наклонениях зодиака, но также и вследствие самого множества звезд; и, кроме того, и сами наблюдения появлений звезд очень трудны и неясны вследствие различия наблюдателей и состояния воздуха в местах наблюдения, что может сделать неодинаковыми и ненадежными времена первой видимости, как я сам хорошо узнал на опыте по различиям, получаемым в такого рода наблюдениях.

Кроме того, вследствие перемещения сферы неподвижных звезд нельзя думать, чтобы всегда даже в одном и том же климате оставались постоянными те же самые одновременные восходы, кульминации и заходы, что и в настоящее время, вычисленные при помощи тех же самых числовых данных и чертежей¹⁸⁹. Поэтому мы отказались от ненужной траты времени, удовлетворяясь для настоящего времени только приближенными [данными о восходах и заходах звезд], поскольку все это в каждом случае можно получить или по самим записям наших предшественников¹⁹⁰, или непосредственно по положению звезд на глобусе. Даже указания на состояние воздуха, получаемые из [наблюдений] таких восходов и заходов (если приписывать причину различий [в погоде] именно этим обстоятельствам, а не местам [Солнца] в зодиаке), как мы почти всегда видим, не являются ни правильными, ни неизменными, так как эта причина действует лишь самым общим образом и не зависит от точного времени самих первых восходов или заходов звезд, а скорее от положений относительно Солнца, выраженных как интервалы в круглых числах, и частично от различий в положениях по отношению к Луне¹⁹¹.

Книга IX

1. О последовательности расположения сфер Солнца, Луны и пяти планет

Мы изложили приблизительно все, что можно в основных чертах сказать относительно неподвижных звезд на основании достигнутых до сих пор успехов в понимании связанных с ними явлений. Так как для полноты сочинения нам остается еще теория пяти планет, мы во избежание повторений изложим ее сначала насколько возможно в общем виде, а потом присоединим выводы для каждой из планет в отдельности.

Прежде всего нужно сказать о последовательности, в которой расположены их сферы. Мы видим согласие почти всех первостепенных математиков в том, что все эти сферы располагаются как бы вокруг полюсов наклонного круга или круга, проходящего через середины знаков зодиака; что все они ближе к Земле, чем сфера неподвижных звезд, и дальше от нее, чем лунная сфера; что три сферы, а именно самая большая сфера Сатурна, затем более близкая к Земле и вторая по величине сфера Юпитера и, наконец, находящаяся под ней сфера Марса, являются более далекими от Земли, чем остальные сферы, включая и [сферу] Солнца. Что же касается сфер Венеры и Меркурия, которые более древние математики помещали под солнечной, то некоторые из более поздних помещают их выше Солнца¹ на том основании, что последнее никогда не затмевалось никакой из планет. Нам, однако, это рассуждение кажется неосновательным, поскольку возможно, что некоторые светила могут вообще находиться не в плоскости, проходящей через Солнце и место нашего наблюдения, а в какой-нибудь другой. Вследствие этого они не будут казаться нам загораживающими его, подобно тому как [зачастую] не происходит затмений в синодических обращениях Луны, когда последняя проходит под Солнцем².

Поскольку мы никоим образом не можем уйти от этих соображений, так как ни одно из этих светил не дает заметного параллакса, на основании которого только и можно определять расстояния, то наиболее вероятным нам кажется порядок, установленный более древними [астрономами]. В нем находящееся в середине Солнце более естественно разделяет планеты, могущие находиться [по долготе] на любых от него расстояниях, и те, для которых это не имеет места, но которые всегда движутся около него; при этом, конечно, в перигеях не получается такого расстояния, которое могло бы произвести какой-нибудь заметный параллакс³.

2. Об изложении гипотез относительно планет

208

Вот что можно сказать о расположении сфер. Так как мы поставили себе цель объяснить для пяти планет все наблюдаемые у них неравенства, как для Луны и Солнца, при помощи круговых равномерных движений, которые по природе свойственны божественному, чуждому беспорядка и неравномерности, то хотя и следует высоко ценить окончательное и правильное достижение этого как истинную цель математической теории в философии⁴, но все-таки эта задача представляет очень большие трудности и как следует еще не была решена никем из предшествующих⁵. Действительно, что касается исследований периодических движений каждого из светил, то при сопоставлении наблюдений малейшая возможная ошибка наблюдателя в дальнейшем может привести к заметной разнице очень быстро, если эти наблюдения охватывают небольшой промежуток времени, или более медленно, если этот промежуток больше. Время же, для которого мы имеем записи планетных наблюдений, слишком коротко для подробных теорий и делает ненадежным предсказания для значительно большего промежутка времени⁶. Что же касается исследования неравномерных движений, то немалым препятствием является то обстоятельство, что для каждой планеты наблюдаются два неравенства, и оба они неодинаковы как по величине, так и по временам возвращения; одно из них наблюдается по отношению к Солнцу, другое же — к различным частям зодиака; и оба они настолько смешаны друг с другом, что очень трудно различать, что именно относится к какому⁷.

209

Далее, древние наблюдения записаны недостаточно достоверно и не так уж подробно. Те из них, которые дают достаточно непрерывные ряды, содержат только стояния и гелиакические восходы и заходы. Однако никакая из этих особенностей не может быть определена достаточно надежно, ибо стояния не могут дать точное время, так как за много дней до и после стояния изменение места [планеты] становится неощутимым. Что же касается гелиакических восходов и заходов, то для наблюдателей первой и последней видимости одновременно с ними не только исчезают их места, но можно также ошибиться и относительно времени из-за различий в погоде и в [остроте] зрения наблюдателей. Вообще говоря, наблюдения [планет], произведенные для довольно больших расстояний от какой-нибудь неподвижной звезды, если они не сделаны во всем тщательно и со знанием дела, дают с трудом вычисляемое и подверженное случайностям значение измеряемой величины⁸. Это происходит не только потому, что проводимые через наблюдаемые светила [звезду и планету] линии не всегда образуют прямые углы с кругом, проходящим через середины зодиакальных созвездий, но могут образовывать углы любой величины (откуда, естественно, вследствие разнообразия наклонений зодиака [относительно горизонта] происходят большие колебания в определении расстояний по долготе и широте), но и по той причине, что расстояния [между звездой и планетой] у горизонта представляются глазам большими, а в меридиане — меньшими⁹. Вследствие этого, конечно, возможно, что измеренные расстояния будут иногда большими, иногда же меньшими тех, которые имеют место в действительности.

210

Поэтому я полагаю, что Гиппарх выказал себя наиболее любящим истину, поскольку как на основании всего изложенного, так и главным

образом потому, что, у него не было более ранних таких же точных наблюдений, какие он сам оставил для нас, он занялся только исследованием гипотез относительно Солнца и Луны и показал [так точно], как только было возможно, что они всецело объясняются при помощи круговых равномерных движений. Относительно же пяти планет, как можно видеть из дошедших до нас его произведений, он даже не положил начала разработке их теории, но только собрал их наблюдения, расположив в удобном для [практического] использования виде, и показал при их помощи, что наблюдавшиеся явления не соответствовали тогдашним математическим гипотезам¹⁰. Он, по-видимому, считал, что еще не в состоянии как следует объяснить их движения, так как каждая из планет имела два неравенства, и у каждой из них получались неодинаковые попятные движения такой-то величины, в то время как другие математики доказывали геометрически, что все это происходит в силу только одного и всегда неизменного неравенства и попятного движения. Однако можно было клясться Зевсом, что этого нельзя объяснить ни при помощи эксцентрических кругов, ни в силу гомоцентрических с зодиаком кругов, несущих эпициклы, ни при помощи того и другого одновременно (что зодиакальное неравенство имеет такую-то величину, а неравенство по отношению к Солнцу такую-то). А ведь почти только на это опирались те, кто хотели определять круговые и равномерные движения при помощи так называемых вечных таблиц¹¹; при своих ошибках и отсутствии доказательств одни из них совсем не достигли своей цели, а другие достигли лишь отчасти.

Он также считал, что человеку, достигшему такой степени точности и любви к истине при помощи всех математических наук, не следует останавливаться на этой ступени, как это делают другие, не заботящиеся [о совершенстве]. Желая убедить самого себя и других интересующихся необходимо должен был определить величину и периоды каждого из неравенств при помощи очевидных и согласных друг с другом наблюдений, а затем, соединив их снова вместе, определить положение и последовательность кругов, при помощи которых они получаются, и найти такой характер их движений, чтобы, наконец, можно было почти целиком согласовать явления с характерными особенностями гипотез этих кругов. Это, как я полагаю, показалось трудным и ему самому.

Я сказал это не для того, чтобы похвалиться [собственными достижениями]. Но когда мы где-нибудь по самому существу дела вынуждены пользоваться при доказательствах чем-нибудь, не вполне отвечающим истине, как, например, когда мы при доказательствах используем простые круги, описываемые движением планет на их сферах, [предполагая] для большего удобства, что они расположены в одной плоскости с кругом, проходящим через середины знаков зодиака¹², или когда мы делаем какие-нибудь предположения, не исходя просто из наблюдаемых данных, а пользуясь понятиями, полученными из постоянных проб и прилагиваний¹³, или когда мы соглашаемся допустить, что не во всех случаях характер движения или наклона кругов остается одним и тем же и неизменным¹⁴, мы знаем, что использование чего-либо подобного не повредит ни в чем поставленной цели, если от этого не получается заметной ошибки. Мы знаем, что сделанные без доказательства предположения в случае их полного согласия с явлениями не могут быть найдены без какого-нибудь [фундаментального] метода или соображения, даже если

трудно изложить способ их определения. Вообще причина для первых начал или совсем не может быть изложена по существу, или же излагается с большими трудностями. Мы знаем, что видоизменения гипотез, связанных с кругами [планет], не могут показаться кому-нибудь удивительными и противоречащими разуму, если обратить внимание на разнообразие явлений для различных светил. Поскольку круговое равномерное движение используется для [объяснения движений] всех [планет] без исключения, отдельные явления оказываются связанными с принципом, более фундаментальным и более широко приложимым, чем подобие гипотез.

213

Для отдельных доказательств мы использовали наиболее надежные наблюдения, а именно относящиеся к соединениям или наибольшим сближениям светил друг с другом или с Луной, полученные главным образом инструментально при помощи астролябии. При этом луч зрения [наблюдателя] как бы направляется при помощи расположенных по диаметру отверстий, и равные расстояния всегда соответствуют равным дугам, а положение каждой планеты по долготе и широте относительно зодиака можно точно определить вращением относительно наблюдаемых светил изображающего зодиак круга астролябии, а широту — при помощи отверстий, расположенных диаметрально на кругах¹⁵, проходящих через полюсы зодиака.

3. О периодических возвращениях пяти планет

После этих предварительных замечаний мы приведем сначала для каждой из пяти планет наименьший период, за который она совершает приближенное возвращение по обеим аномалиям согласно тому, что вычислил Гиппарх¹⁶. Эти периоды исправляются нами после сопоставления их [т.е. планет] позиций [разделенных большим промежутком времени], что стало возможным после того, как мы определили их аномалии. Это будет объяснено в своем месте, однако мы предварительно приводим их [эти периоды] здесь, чтобы иметь отдельные средние движения по долготе и аномалии, представленные в виде, удобном для вычисления аномалий. В действительности не должно быть заметной разницы в вычислениях, даже если использовать определенные более грубо средние движения¹⁷. Следует иметь в виду, что вообще движение по долготе определяется перемещением центра эпицикла по эксцентрическому кругу, а по аномалии — перемещением светила по эпициклу.

214

Итак, мы находим, что 57 аномалистических периодов Сатурна распределяются на 59 наших солнечных годов, а именно начинающихся и кончающихся у тех же самых тропических или равноденственных точек. К этому промежутку следует еще прибавить приблизительно $1\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ день; указанное время охватывает 2 полных обращения [по долготе] светила с добавлением $1\frac{2}{3}\frac{1}{20}$ градуса. Действительно, для трех светил, постоянно обгоняемых Солнцем¹⁸, в течение каждого периода возвращения Солнце делает всегда столько полных оборотов, сколько составляют вместе взятые числа обращений светила по долготе и возвращений аномалий. Для Юпитера мы находим, что 65 аномалистических периодов распределяются на 71 солнечный год, определенный подобным образом с недостатком приблизительно $4\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{15}$ дня, или на 6 оборотов светила от одной тропической точки к той же самой с недостатком $4\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градуса. Затем 37 ано-

215

малистических периодов Марса мы находим распределенными на 79 наших солнечных годов приблизительно с $31\frac{1}{6}\frac{1}{20}$ днями, или 42 оборота светила от одной тропической точки к ней же с избытком $31\frac{1}{6}$ градуса. А для Венеры 5 аномалистических периодов распределяются на 8 наших солнечных годов с недостатком приблизительно $2\frac{1}{4}\frac{1}{20}$ дня, число же обращений планеты [по долготе] одинаково с числом 8 обращений Солнца с недостатком в $2\frac{1}{4}$ градуса. Для Меркурия же 145 аномалистических периодов распределяются на 46 таких же годов с избытком приблизительно $1\frac{1}{30}$ день, число же обращений светила [по долготе] опять будет одинаково с числом 46 обращений Солнца с избытком 1 градус¹⁹.

Если мы для каждого светила выразим время возвращения в днях в соответствии с данной нами величиной года, а величину аномалии в градусах, которых в круге содержится 360, то мы будем иметь:

216	для Сатурна	21 551;18 день	и 20 520 градусов аномалии,
	для Юпитера	25 927;37 дней	и 23 400 градусов аномалии,
	для Марса	28 857;43 дней ²⁰	и 13 320 градусов аномалии,
	для Венеры	2 919;40 дней	и 1 800 градусов аномалии,
	для Меркурия	16 802;24 дня ²¹	и 52 200 градусов аномалии.

Разделим теперь для каждой планеты количество градусов аномалии на соответственное число дней; таким образом, мы получим приблизительно среднее дневное движение по аномалии²²:

для Сатурна	0;57,7,43,41,43,40	градусов,
для Юпитера	0;54,9,2,46,26,0	градусов,
для Марса	0;27,41,40,19,20,58	градусов,
для Венеры	0;36,59,25,53,11,28	градусов,
для Меркурия	3;6,24,6,59,35,50	градуса.

217 Если от каждой из этих величин мы возьмем $\frac{1}{24}$ часть, то получим среднее часовое движение по аномалии, а именно:

для Сатурна	0;2,22,49,19,14,19,10	градусов,
для Юпитера	0;2,15,22,36,56,5	градусов,
для Марса	0;1,9,14,10,48,22,25	градусов,
для Венеры	0;1,32,28,34,42,58,40	градусов,
для Меркурия	0;7,46,0,17,28,59,35	градусов.

Затем, увеличив в 30 раз дневное движение для каждой планеты, получим среднее месячное движение по аномалии, а именно:

для Сатурна	28;33,51,50,51,50,0	градусов,
для Юпитера	27;4,31,23,13,0,0	градусов,
для Марса	13;50,50,9,40,29,0	градусов,
для Венеры	18;29,42,56,35,44,0	градусов,
для Меркурия	93;12,3,29,47,55,0	градуса.

Точно так же, умножив дневное движение для каждой планеты на 365 дней одного египетского года, получим среднее годовое движение по аномалии, а именно:

для Сатурна	347;32,0,48,50,38,20	градусов,
для Юпитера	329;25,1,52,28,10,0	градусов,
для Марса	168;28,30,17,42,32,50	градусов,
для Венеры	225;1,32,28,34,39,15	градусов,
для Меркурия	53;56,42,32,32,59,10	градуса
(избыток [если отбросить целые обороты]).		

Подобным же образом, умножив каждое годовое движение на 18, как это делается при составлении таблиц Солнца и Луны, получим средний избыток по аномалии за период в 18 египетских лет, а именно: 218

для Сатурна	135;36,14,39,11,30,0	градусов,
для Юпитера	169;30,33,44,27,0,0	градусов,
для Марса	152;33,5,18,45,51,0	градуса,
для Венеры	90;27,44,34,23,46,30	градусов,
для Меркурия	251;0,45,45,53,45,0	градус.

Мы можем также найти средние движения по долготе, соответствующие величинам, полученным выше, без обращения числа оборотов [по долготе] в градусы и деления их на число дней в периоде, установленном выше для каждой планеты. Для Венеры и Меркурия мы, очевидно, получим те же самые величины, что и изложенные выше для Солнца, для остальных же трех светил [требуемые] числа получатся после вычитания чисел их [средних движений по] аномалии из соответствующей величины среднего движения Солнца²³. Таким образом, мы получим для среднего дневного движения по долготе:

для Сатурна	0;2,0,33,31,28,51	градусов,
для Юпитера	0;4,59,14,26,46,31	градусов,
для Марса	0;31,26,36,53,51,33	градусов.

Среднее часовое движение будет:

для Сатурна	0;0,5,1,23,48,42,7,30	градусов,
для Юпитера	0;0,12,28,6,6,56,17,30	градусов,
для Марса	0;1,18,36,32,14,39 ²⁴	градусов.

219

Среднее месячное движение:

для Сатурна	1;0,16,45,44,25,30	градус,
для Юпитера	2;29,37,13,23,15,30	градуса,
для Марса	15;43,18,26,55,46,30	градусов.

Среднее годовое движение:

для Сатурна	12;13,23,56,30,30,15	градусов,
для Юпитера	30;20,22,52,52,58,35	градусов,
для Марса	191;16,54,27,38,35,45	градус.

Среднее движение за 18 лет:

для Сатурна	220;1,10,57,9,4,30	градусов,
для Юпитера	186;6,51,51,53,34,30	градусов
	(избыток над полными оборотами),	
для Марса	203;4,20,17,34,43,30	градуса
	(избыток над полными оборотами).	

Теперь ради удобства использования мы для каждой планеты по порядку последовательным суммированием упомянутых величин составим таблицы средних движений. Как и другие таблицы [средних движений], они будут состоять из 45 строк и подразделяться на 3 части, из которых первая будет содержать последовательные кратные для 18-летних периодов, вторая — годовые и часовые движения, а третья — месячные и дневные. Таблицы эти таковы²⁵.

4. Таблицы средних движений по долготе и аномалии для пяти планет

220-249

См. с. 283-297

Сатурн

Среднее положение [для начальной эпохи]
по долготе 26;43° Козерога

Место апогея 14;10° Скорпиона.
Среднее положение по аномалии 34;2°

18-летние периоды	Градусы долготы							Градусы аномалии						
18	220°	1'	10"	57'''	9 ^V	4 ^V	30 ^{VI}	135°	36'	14"	39'''	11 ^{IV}	30 ^V	0 ^{VI}
36	80	2	21	54	18	9	0	271	12	29	18	23	0	0
54	300	3	32	51	27	13	30	46	48	43	57	34	30	0
72	160	4	43	48	36	18	0	182	24	58	36	46	0	0
90	20	5	54	45	45	22	30	318	1	13	15	57	30	0
108	240	7	5	42	54	27	0	93	37	27	55	9	0	0
126	100	8	16	40	3	31	30	229	13	42	34	20	30	0
144	320	9	27	37	12	36	0	4	49	57	13	32	0	0
162	180	10	38	34	21	40	30	140	26	11	52	43	30	0
180	40	11	49	31	30	45	0	276	2	26	31	55	0	0
198	260	13	0	28	39	49	30	51	38	41	11	6	30	0
216	120	14	11	25	48	54	0	187	14	55	50	18	0	0
234	340	15	22	22	57	58	30	322	51	10	29	29	30	0
252	200	16	33	20	7	3	0	98	27	25	8	41	0	0
270	60	17	44	17	16	7	30	234	3	39	47	52	30	0
288	280	18	55	14	25	12	0	9	39	54	27	4	0	0
306	140	20	6	11	34	16	30	145	16	9	6	15	30	0
324	0	21	17	8	43	21	0	280	52	23	45	27	0	0
342	220	22	28	5	52	25	30	56	28	38	24	38	30	0
360	80	23	39	3	1	30	0	192	4	53	3	50	0	0
378	300	24	50	0	10	34	30	327	41	7	43	1	30	0
396	160	26	0	57	19	39	0	103	17	22	22	13	0	0
414	20	27	11	54	28	43	30	238	53	37	1	24	30	0
432	240	28	22	51	37	48	0	14	29	51	40	36	0	0
450	100	29	33	48	46	52	30	150	6	6	19	47	30	0
468	320	30	44	45	55	57	0	285	42	20	58	59	0	0
486	180	31	55	43	5	1	30	61	18	35	38	10	30	0
504	40	33	6	40	14	6	0	196	54	50	17	22	0	0
522	260	34	17	37	23	10	30	332	31	4	56	33	30	0
540	120	35	28	34	32	15	0	108	7	19	35	45	0	0
558	340	36	39	31	41	19	30	243	43	34	14	56	30	0
576	200	37	50	28	50	24	0	19	19	48	54	8	0	0
594	60	39	1	25	59	28	30	154	56	3	33	19	30	0
612	280	40	12	23	8	33	0	290	32	18	12	31	0	0
630	140	41	23	20	17	37	30	66	8	32	51	42	30	0
648	0	42	34	17	26	42	0	201	44	47	30	54	0	0
666	220	43	45	14	35	46	30	337	21	2	10	5	30	0
684	80	44	56	11	44	51	0	112	57	16	49	17	0	0
702	300	46	7	8	53	55	30	248	33	31	28	28	30	0
720	160	47	18	6	3	0	0	24	9	46	7	40	0	0
738	20	48	29	3	12	4	30	159	46	0	46	51	30	0
756	240	49	40	0	21	9	0	295	22	15	26	3	0	0
774	100	50	50	57	30	13	30	70	58	30	5	14	30	0
792	320	52	1	54	39	18	0	206	34	44	44	26	0	0
810	180	53	12	51	48	22	30	342	10	59	23	37	30	0

Сатурн

Годы простые	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	12°	13'	23"	56'''	30 ^{IV}	30 ^V	15 ^{VI}	347°	32'	0"	48'''	50 ^{IV}	38 ^V	20 ^{VI}
2	24	26	47	53	1	0	30	335	4	1	37	41	16	40
3	36	40	11	49	31	30	45	322	36	2	26	31	55	0
4	48	53	35	46	2	1	0	310	8	3	15	22	33	20
5	61	6	59	42	32	31	15	297	40	4	4	13	11	40
6	73	20	23	39	3	1	30	285	12	4	53	3	50	0
7	85	33	47	35	33	31	45	272	44	5	41	54	28	20
8	97	47	11	32	4	2	0	260	16	6	30	45	6	40
9	110	0	35	28	34	32	15	247	48	7	19	35	45	0
10	122	13	59	25	5	2	30	235	20	8	8	26	23	20
11	134	27	23	21	35	32	45	222	52	8	57	17	1	40
12	146	40	47	18	6	3	0	210	24	9	46	7	40	0
13	158	54	11	14	36	33	15	197	56	10	34	58	18	20
14	171	7	35	11	7	3	30	185	28	11	23	48	56	40
15	183	20	59	7	37	33	45	173	0	12	12	39	35	0
16	195	34	23	4	8	4	0	160	32	13	1	30	13	20
17	207	47	47	0	38	34	15	148	4	13	50	20	51	40
18	220	1	10	57	9	4	30	135	36	14	39	11	30	0

Часы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	0'	5"	1'''	23 ^{IV}	48 ^V	42 ^{VI}	0°	2'	22"	49'''	19 ^{IV}	14 ^V	19 ^{VI}
2	0	0	10	2	47	37	24	0	4	45	38	38	28	38
3	0	0	15	4	11	26	6	0	7	8	27	57	42	57
4	0	0	20	5	35	14	48	0	9	31	17	16	57	17
5	0	0	25	6	59	3	31	0	11	54	6	36	11	36
6	0	0	30	8	22	52	13	0	14	16	55	55	25	55
7	0	0	35	9	46	40	55	0	16	39	45	14	40	14
8	0	0	40	11	10	29	37	0	19	2	34	33	54	33
9	0	0	45	12	34	18	19	0	21	25	23	53	8	52
10	0	0	50	13	58	7	1	0	23	48	13	12	23	12
11	0	0	55	15	21	55	43	0	26	11	2	31	37	31
12	0	1	0	16	45	44	25	0	28	33	51	50	51	50
13	0	1	5	18	9	33	8	0	30	56	41	10	6	9
14	0	1	10	19	33	21	50	0	33	19	30	29	20	28
15	0	1	15	20	57	10	32	0	35	42	19	48	34	47
16	0	1	20	22	20	59	14	0	38	5	9	7	49	7
17	0	1	25	23	44	47	56	0	40	27	58	27	3	26
18	0	1	30	25	8	36	38	0	42	50	47	46	17	45
19	0	1	35	26	32	25	20	0	45	13	37	5	32	4
20	0	1	40	27	56	14	2	0	47	36	26	24	46	23
21	0	1	45	29	20	2	45	0	49	59	15	44	0	42
22	0	1	50	30	43	51	27	0	52	22	5	3	15	2
23	0	1	55	32	7	40	9	0	54	44	54	22	29	21
24	0	2	0	33	31	28	51	0	57	7	43	41	43	40

Сатурн

Месяцы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
30	1°	0'	16"	45'''	44 ^{IV}	25 ^V	30 ^{VI}	28°	33'	51"	50'''	51 ^{IV}	50 ^V	0 ^{VI}
60	2	0	33	31	28	51	0	57	7	43	41	43	40	0
90	3	0	50	17	13	16	30	85	41	35	32	35	30	0
120	4	1	7	2	57	42	0	114	15	27	23	27	20	0
150	5	1	23	48	42	7	30	142	49	19	14	19	10	0
180	6	1	40	34	26	33	0	171	23	11	5	11	0	0
210	7	1	57	20	10	58	30	199	57	2	56	2	50	0
240	8	2	14	5	55	24	0	228	30	54	46	54	40	0
270	9	2	30	51	39	49	30	257	4	46	37	46	30	0
300	10	2	47	37	24	15	0	285	38	38	28	38	20	0
330	11	3	4	23	8	40	30	314	12	30	19	30	10	0
360	12	3	21	8	53	6	0	342	46	22	10	22	0	0

Дни	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	2'	0"	33'''	31 ^{IV}	28 ^V	51 ^{VI}	0°	57'	7"	43'''	41 ^{IV}	43 ^V	40 ^{VI}
2	0	4	1	7	2	57	42	1	54	15	27	23	27	20
3	0	6	1	40	34	26	33	2	51	23	11	5	11	0
4	0	8	2	14	5	55	24	3	48	30	54	46	54	40
5	0	10	2	47	37	24	15	4	45	38	38	28	38	20
6	0	12	3	21	8	53	6	5	42	46	22	10	22	0
7	0	14	3	54	40	21	57	6	39	54	5	52	5	40
8	0	16	4	28	11	50	48	7	37	1	49	33	49	20
9	0	18	5	1	43	19	39	8	34	9	33	15	33	0
10	0	20	5	35	14	48	30	9	31	17	16	57	16	40
11	0	22	6	8	46	17	21	10	28	25	0	39	0	20
12	0	24	6	42	17	46	12	11	25	32	44	20	44	0
13	0	26	7	15	49	15	3	12	22	40	28	2	27	40
14	0	28	7	49	20	43	54	13	19	48	11	44	11	20
15	0	30	8	22	52	12	45	14	16	55	55	25	55	0
16	0	32	8	56	23	41	36	15	14	3	39	7	38	40
17	0	34	9	29	55	10	27	16	11	11	22	49	22	20
18	0	36	10	3	26	39	18	17	8	19	6	31	6	0
19	0	38	10	36	58	8	9	18	5	26	50	12	49	40
20	0	40	11	10	29	37	0	19	2	34	33	54	33	20
21	0	42	11	44	1	5	51	19	59	42	17	36	17	0
22	0	44	12	17	32	34	42	20	56	50	1	18	0	40
23	0	46	12	51	4	3	33	21	53	57	44	59	44	20
24	0	48	13	24	35	32	24	22	51	5	28	41	28	0
25	0	50	13	58	7	1	15	23	48	13	12	23	11	40
26	0	52	14	31	38	30	6	24	45	20	56	4	55	20
27	0	54	15	5	9	58	57	25	42	28	39	46	39	0
28	0	56	15	38	41	27	48	26	39	36	23	28	22	40
29	0	58	16	12	12	56	39	27	36	44	7	10	6	20
30	1	0	16	45	44	25	30	28	33	51	50	51	50	0

Юпитер

Среднее положение [для начальной эпохи]
по долготе 4;41° Весов

Место апогея 2;9° Девы.
Среднее положение по аномалии 146;4°

18-летние периоды	Градусы долготы							Градусы аномалии						
	186°	6'	51"	51'''	53 ^{IV}	34 ^V	30 ^{VI}	169°	30'	33"	44'''	27 ^{IV}	0 ^V	0 ^{VI}
18	186°	6'	51"	51'''	53 ^{IV}	34 ^V	30 ^{VI}	169°	30'	33"	44'''	27 ^{IV}	0 ^V	0 ^{VI}
36	12	13	43	43	47	9	0	339	1	7	28	54	0	0
54	198	20	35	35	40	43	30	148	31	41	13	21	0	0
72	24	27	27	27	34	18	0	318	2	14	57	48	0	0
90	210	34	19	19	27	52	30	127	32	48	42	15	0	0
108	36	41	11	11	21	27	0	297	3	22	26	42	0	0
126	222	48	3	3	15	1	30	106	33	56	11	9	0	0
144	48	54	54	55	8	36	0	276	4	29	55	36	0	0
162	235	1	46	47	2	10	30	85	35	3	40	3	0	0
180	61	8	38	38	55	45	0	255	5	37	24	30	0	0
198	247	15	30	30	49	19	30	64	36	11	8	57	0	0
216	73	22	22	22	42	54	0	234	6	44	53	24	0	0
234	259	29	14	14	36	28	30	43	37	18	37	51	0	0
252	85	36	6	6	30	3	0	213	7	52	22	18	0	0
270	271	42	57	58	23	37	30	22	38	26	6	45	0	0
288	97	49	49	50	17	12	0	192	8	59	51	12	0	0
306	283	56	41	42	10	46	30	1	39	33	35	39	0	0
324	110	3	33	34	4	21	0	171	10	7	20	6	0	0
342	296	10	25	25	57	55	30	340	40	41	4	33	0	0
360	122	17	17	17	51	30	0	150	11	14	49	0	0	0
378	308	24	9	9	45	4	30	319	41	48	33	27	0	0
396	134	31	1	1	38	39	0	129	12	22	17	54	0	0
414	320	37	52	53	32	13	30	298	42	56	2	21	0	0
432	146	44	44	45	25	48	0	108	13	29	46	48	0	0
450	332	51	36	37	19	22	30	277	44	3	31	15	0	0
468	158	58	28	29	12	57	0	87	14	37	15	42	0	0
486	345	5	20	21	6	31	30	256	45	11	0	9	0	0
504	171	12	12	13	0	6	0	66	15	44	44	36	0	0
522	357	19	4	4	53	40	30	235	46	18	29	3	0	0
540	183	25	55	56	47	15	0	45	16	52	13	30	0	0
558	9	32	47	48	40	49	30	214	47	25	57	57	0	0
576	195	39	39	40	34	24	0	24	17	59	42	24	0	0
594	21	46	31	32	27	58	30	193	48	33	26	51	0	0
612	207	53	23	24	21	33	0	3	19	7	11	18	0	0
630	34	0	15	16	15	7	30	172	49	40	55	45	0	0
648	220	7	7	8	8	42	0	342	20	14	40	12	0	0
666	46	13	59	0	2	16	30	151	50	48	24	39	0	0
684	232	20	50	51	55	51	0	321	21	22	9	6	0	0
702	58	27	42	43	49	25	30	130	51	55	53	33	0	0
720	244	34	34	35	43	0	0	300	22	29	38	0	0	0
738	70	41	26	27	36	34	30	109	53	3	22	27	0	0
756	256	48	18	19	30	9	0	279	23	37	6	54	0	0
774	82	55	10	11	23	43	30	88	54	10	51	21	0	0
792	269	2	2	3	17	18	0	258	24	44	35	48	0	0
810	95	8	53	55	10	52	30	67	55	18	20	15	0	0

Юпитер

Годы простые	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	30°	20'	22"	52'''	52 ^{IV}	58 ^V	35 ^{VI}	329°	25'	1"	52'''	28 ^{IV}	10 ^V	0 ^{VI}
2	60	40	45	45	45	57	10	298	50	3	44	56	20	0
3	91	1	8	38	38	55	45	268	15	5	37	24	30	0
4	121	21	31	31	31	54	20	237	40	7	29	52	40	0
5	151	41	54	24	24	52	55	207	5	9	22	20	50	0
6	182	2	17	17	17	51	30	176	30	11	14	49	0	0
7	212	22	40	10	10	50	5	145	55	13	7	17	10	0
8	242	43	3	3	3	48	40	115	20	14	59	45	20	0
9	273	3	25	55	56	47	15	84	45	16	52	13	30	0
10	303	23	48	48	49	45	50	54	10	18	44	41	40	0
11	333	44	11	41	42	44	25	23	35	20	37	9	50	0
12	4	4	34	34	35	43	0	353	0	22	29	38	0	0
13	34	24	57	27	28	41	35	322	25	24	22	6	10	0
14	64	45	20	20	21	40	10	291	50	26	14	34	20	0
15	95	5	43	13	14	38	45	261	15	28	7	2	30	0
16	125	26	6	6	7	37	20	230	40	29	59	30	40	0
17	155	46	28	59	0	35	55	200	5	31	51	58	50	0
18	186	6	51	51	53	34	30	169	30	33	44	27	0	0

Часы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	0'	12"	28'''	6 ^{IV}	6 ^V	56 ^{VI}	0°	2'	15"	22'''	36 ^{IV}	56 ^V	5 ^{VI}
2	0	0	24	56	12	13	52	0	4	30	45	13	52	10
3	0	0	37	24	18	20	48	0	6	46	7	50	48	15
4	0	0	49	52	24	27	45	0	9	1	30	27	44	20
5	0	1	2	20	30	34	41	0	11	16	53	4	40	25
6	0	1	14	48	36	41	37	0	13	32	15	41	36	30
7	0	1	27	16	42	48	34	0	15	47	38	18	32	35
8	0	1	39	44	48	55	30	0	18	3	0	55	28	40
9	0	1	52	12	55	2	26	0	20	18	23	32	24	45
10	0	2	4	41	1	9	22	0	22	33	46	9	20	50
11	0	2	17	9	7	16	19	0	24	49	8	46	16	55
12	0	2	29	37	13	23	15	0	27	4	31	23	13	0
13	0	2	42	5	19	30	11	0	29	19	54	0	9	5
14	0	2	54	33	25	37	8	0	31	35	16	37	5	10
15	0	3	7	1	31	44	4	0	33	50	39	14	1	15
16	0	3	19	29	37	51	0	0	36	6	1	50	57	20
17	0	3	31	57	43	57	56	0	38	21	24	27	53	25
18	0	3	44	25	50	4	53	0	40	36	47	4	49	30
19	0	3	56	53	56	11	49	0	42	52	9	41	45	35
20	0	4	9	22	2	18	45	0	45	7	32	18	41	40
21	0	4	21	50	8	25	42	0	47	22	54	55	37	45
22	0	4	34	18	14	32	38	0	49	38	17	32	33	50
23	0	4	46	46	20	39	34	0	51	53	40	9	29	55
24	0	4	59	14	26	46	31	0	54	9	2	46	26	0

Юпитер

Месяцы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
30	2°	29'	37"	13'''	23 ^{IV}	15 ^V	30 ^{VI}	27°	4'	31"	23'''	13 ^{IV}	0 ^V	0 ^{VI}
60	4	59	14	26	46	31	0	54	9	2	46	26	0	0
90	7	28	51	40	9	46	30	81	13	34	9	39	0	0
120	9	58	28	53	33	2	0	108	18	5	32	52	0	0
150	12	28	6	6	56	17	30	135	22	36	56	5	0	0
180	14	57	43	20	19	33	0	162	27	8	19	18	0	0
210	17	27	20	33	42	48	30	189	31	39	42	31	0	0
240	19	56	57	47	6	4	0	216	36	11	5	44	0	0
270	22	26	35	0	29	19	30	243	40	42	28	57	0	0
300	24	56	12	13	52	35	0	270	45	13	52	10	0	0
330	27	25	49	27	15	50	30	297	49	45	15	23	0	0
360	29	55	26	40	39	6	0	324	54	16	38	36	0	0

Дни	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	4'	59"	14'''	26 ^{IV}	46 ^V	31 ^{VI}	0°	54'	9"	2'''	46 ^{IV}	26 ^V	0 ^{VI}
2	0	9	58	28	53	33	2	1	48	18	5	32	52	0
3	0	14	57	43	20	19	33	2	42	27	8	19	18	0
4	0	19	56	57	47	6	4	3	36	36	11	5	44	0
5	0	24	56	12	13	52	35	4	30	45	13	52	10	0
6	0	29	55	26	40	39	6	5	24	54	16	38	36	0
7	0	34	54	41	7	25	37	6	19	3	19	25	2	0
8	0	39	53	55	34	12	8	7	13	12	22	11	28	0
9	0	44	53	10	0	58	39	8	7	21	24	57	54	0
10	0	49	52	24	27	45	10	9	1	30	27	44	20	0
11	0	54	51	38	54	31	41	9	55	39	30	30	46	0
12	0	59	50	53	21	18	12	10	49	48	33	17	12	0
13	1	4	50	7	48	4	43	11	43	57	36	3	38	0
14	1	9	49	22	14	51	14	12	38	6	38	50	4	0
15	1	14	48	36	41	37	45	13	32	15	41	36	30	0
16	1	19	47	51	8	24	16	14	26	24	44	22	56	0
17	1	24	47	5	35	10	47	15	20	33	47	9	22	0
18	1	29	46	20	1	57	18	16	14	42	49	55	48	0
19	1	34	45	34	28	43	49	17	8	51	52	42	14	0
20	1	39	44	48	55	30	20	18	3	0	55	28	40	0
21	1	44	44	3	22	16	51	18	57	9	58	15	6	0
22	1	49	43	17	49	3	22	19	51	19	1	1	32	0
23	1	54	42	32	15	49	53	20	45	28	3	47	58	0
24	1	59	41	46	42	36	24	21	39	37	6	34	24	0
25	2	4	41	1	9	22	55	22	33	46	9	20	50	0
26	2	9	40	15	36	9	26	23	27	55	12	7	16	0
27	2	14	39	30	2	55	57	24	22	4	14	53	42	0
28	2	19	38	44	29	42	28	25	16	13	17	40	8	0
29	2	24	37	58	56	28	59	26	10	22	20	26	34	0
30	2	29	37	13	23	15	30	27	4	31	23	13	0	0

Марс

Среднее положение [для начальной эпохи]
по долготе 3;32° Овна

Место апогея 16;40° Рака.
Среднее положение по аномалии 327;13°

18-летние периоды	Градусы долготы							Градусы аномалии						
18	203°	4'	20"	17"	34 ^{IV}	43 ^V	30 ^{VI}	152°	33'	5"	18"	45 ^{IV}	51 ^V	0 ^{VI}
36	46	8	40	35	9	27	0	305	6	10	37	31	42	0
54	249	13	0	52	44	10	30	97	39	15	56	17	33	0
72	92	17	21	10	18	54	0	250	12	21	15	3	24	0
90	295	21	41	27	53	37	30	42	45	26	33	49	15	0
108	128	26	1	45	28	21	0	195	18	31	52	35	6	0
126	341	30	22	3	3	4	30	347	51	37	11	20	57	0
144	184	34	42	20	37	48	0	140	24	42	30	6	48	0
162	27	39	2	38	12	31	30	292	57	47	48	52	39	0
180	230	43	22	55	47	15	0	85	30	53	7	38	30	0
198	73	47	43	13	21	58	30	238	3	58	26	24	21	0
216	276	52	3	30	56	42	0	30	37	3	45	10	12	0
234	119	56	23	48	31	25	30	183	10	9	3	56	3	0
252	323	0	44	6	6	9	0	335	43	14	22	41	54	0
270	166	5	4	23	40	52	30	128	16	19	41	27	45	0
288	9	9	24	41	15	36	0	280	49	25	0	13	36	0
306	212	13	44	58	50	19	30	73	22	30	18	59	27	0
324	55	18	5	16	25	3	0	225	55	35	37	45	18	0
342	258	22	25	33	59	46	30	18	28	40	56	31	9	0
360	101	26	45	51	34	30	0	171	1	46	15	17	0	0
378	304	31	6	9	9	13	30	323	34	51	34	2	51	0
396	147	35	26	26	43	57	0	116	7	56	52	48	42	0
414	350	39	46	44	18	40	30	268	41	2	11	34	33	0
432	193	44	7	1	53	24	0	61	14	7	30	20	24	0
450	36	48	27	19	28	7	30	213	47	12	49	6	15	0
468	239	52	47	37	2	51	0	6	20	18	7	52	6	0
486	82	57	7	54	37	34	30	158	53	23	26	37	57	0
504	286	1	28	12	12	18	0	311	26	28	45	23	48	0
522	129	5	48	29	47	1	30	103	59	34	4	9	39	0
540	332	10	8	47	21	45	0	256	32	39	22	55	30	0
558	175	14	29	4	56	28	30	49	5	44	41	41	21	0
576	18	18	49	22	31	12	0	201	38	50	0	27	12	0
594	221	23	9	40	5	55	30	354	11	55	19	13	3	0
612	64	27	29	57	40	39	0	146	45	0	37	58	54	0
630	267	31	50	15	15	22	30	299	18	5	56	44	45	0
648	110	36	10	32	50	6	0	91	51	11	15	30	36	0
666	313	40	30	50	24	49	30	244	24	16	34	16	27	0
684	156	44	51	7	59	33	0	36	57	21	53	2	18	0
702	359	49	11	25	34	16	30	189	30	27	11	48	9	0
720	202	53	31	43	9	0	0	342	3	32	30	34	0	0
738	45	57	52	0	43	43	30	134	36	37	49	19	51	0
756	249	2	12	18	18	27	0	287	9	43	8	5	42	0
774	92	6	32	35	53	10	30	79	42	48	26	51	33	0
792	295	10	52	53	27	54	0	232	15	53	45	37	24	0
810	138	15	13	11	2	37	30	24	48	59	4	23	15	0

Марс

Годы простые	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	191°	16'	54"	27'''	38 ^{/V}	35 ^V	45 ^{/VI}	168°	28'	30"	17'''	42 ^{/V}	32 ^V	50 ^{/VI}
2	22	33	48	55	17	11	30	336	57	0	35	25	5	40
3	213	50	43	22	55	47	15	145	25	30	53	7	38	30
4	45	7	37	50	34	23	0	313	54	1	10	50	11	20
5	236	24	32	18	12	58	45	122	22	31	28	32	44	10
6	67	41	26	45	51	34	30	290	51	1	46	15	17	0
7	258	58	21	13	30	10	15	99	19	32	3	57	49	50
8	90	15	15	41	8	46	0	267	48	2	21	40	22	40
9	281	32	10	8	47	21	45	76	16	32	39	22	55	30
10	112	49	4	36	25	57	30	244	45	2	57	5	28	20
11	304	5	59	4	4	33	15	53	13	33	14	48	1	10
12	135	22	53	31	43	9	0	221	42	3	32	30	34	0
13	326	39	47	59	21	44	45	30	10	33	50	13	6	50
14	157	56	42	27	0	20	30	198	39	4	7	55	39	40
15	349	13	36	54	38	56	15	7	7	34	25	38	12	30
16	180	30	31	22	17	32	0	175	36	4	43	20	45	20
17	11	47	25	49	56	7	45	344	4	35	1	3	18	10
18	203	4	20	17	34	43	30	152	33	5	18	45	51	0

Часы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	1'	18"	36'''	32 ^{/V}	14 ^V	39 ^{/VI}	0°	1'	9"	14'''	10 ^{/V}	48 ^V	22 ^{/VI}
2	0	2	37	13	4	29	18	0	2	18	28	21	36	44
3	0	3	55	49	36	43	56	0	3	27	42	32	25	7
4	0	5	14	26	8	58	35	0	4	36	56	43	13	29
5	0	6	33	2	41	13	14	0	5	46	10	54	1	52
6	0	7	51	39	13	27	53	0	6	55	25	4	50	14
7	0	9	10	15	45	42	32	0	8	4	39	15	38	36
8	0	10	28	52	17	57	11	0	9	13	53	26	26	59
9	0	11	47	28	50	11	49	0	10	23	7	37	15	21
10	0	13	6	5	22	26	28	0	11	32	21	48	3	44
11	0	14	24	41	54	41	7	0	12	41	35	58	52	6
12	0	15	43	18	26	55	46	0	13	50	50	9	40	29
13	0	17	1	54	59	10	25	0	15	0	4	20	28	51
14	0	18	20	31	31	25	4	0	16	9	18	31	17	13
15	0	19	39	8	3	39	43	0	17	18	32	42	5	36
16	0	20	57	44	35	54	22	0	18	27	46	52	54	58
17	0	22	16	21	8	9	0	0	19	37	1	3	42	21
18	0	23	34	57	40	23	39	0	20	46	15	14	30	43
19	0	24	53	34	12	38	18	0	21	55	29	25	19	5
20	0	26	12	10	44	52	57	0	23	4	43	36	7	28
21	0	27	30	47	17	7	36	0	24	13	57	46	55	50
22	0	28	49	23	49	22	15	0	25	23	11	57	44	13
23	0	30	8	0	21	36	54	0	26	32	26	8	32	35
24	0	31	26	36	53	51	33	0	27	41	40	19	20	58

Марс

Месяцы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
30	15°	43'	18"	26'''	55 ^V	46 ^V	30 ^V	13°	50'	50"	9'''	40 ^V	29 ^V	0 ^V
60	31	26	36	53	51	33	0	27	41	40	19	20	58	0
90	47	9	55	20	47	19	30	41	32	30	29	1	27	0
120	62	53	13	47	43	6	0	55	23	20	38	41	56	0
150	78	36	32	14	38	52	30	69	14	10	48	22	25	0
180	94	19	50	41	34	39	0	83	5	0	58	2	54	0
210	110	3	9	8	30	25	30	96	55	51	7	43	23	0
240	125	46	27	35	26	12	0	110	46	41	17	23	52	0
270	141	29	46	2	21	58	30	124	37	31	27	4	21	0
300	157	13	4	29	17	45	0	138	28	21	36	44	50	0
330	172	56	22	56	13	31	30	152	19	11	46	25	19	0
360	188	39	41	23	9	18	0	166	10	1	56	5	48	0

Дни	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	31'	26"	36'''	53 ^V	51 ^V	33 ^V	0°	27'	41"	40'''	19 ^V	20 ^V	58 ^V
2	1	2	53	13	47	43	6	0	55	23	20	38	41	56
3	1	34	19	50	41	34	39	1	23	5	0	58	2	54
4	2	5	46	27	35	26	12	1	50	46	41	17	23	52
5	2	37	13	4	29	17	45	2	18	28	21	36	44	50
6	3	8	39	41	23	9	18	2	46	10	1	56	5	48
7	3	40	6	18	17	0	51	3	13	51	42	13	26	46
8	4	11	32	55	10	52	24	3	41	33	22	34	47	44
9	4	42	59	32	4	43	57	4	9	15	2	54	8	42
10	5	14	26	8	58	35	30	4	36	56	43	13	29	40
11	5	45	52	45	52	27	3	5	4	38	23	32	50	38
12	6	17	19	22	46	18	36	5	32	20	3	52	11	36
13	6	48	45	59	40	10	9	6	0	1	44	11	32	34
14	7	20	12	36	34	1	42	6	27	43	24	30	53	32
15	7	51	39	13	27	53	15	6	55	25	4	50	14	30
16	8	23	5	50	21	44	48	7	23	6	45	9	35	28
17	8	54	32	27	15	36	21	7	50	48	25	28	56	26
18	9	25	59	4	9	27	54	8	18	30	5	48	17	24
19	9	57	25	41	3	19	27	8	46	11	46	7	38	22
20	10	28	52	17	57	11	0	9	13	53	26	26	59	20
21	11	0	18	54	51	2	33	9	41	35	6	46	20	18
22	11	31	45	31	44	54	6	10	9	16	47	5	41	16
23	12	3	12	8	38	45	39	10	36	58	27	25	2	14
24	12	34	38	45	32	37	12	11	4	40	7	44	23	12
25	13	6	5	22	26	28	45	11	32	21	48	3	44	10
26	13	37	31	59	20	20	18	12	0	3	28	23	5	8
27	14	8	58	36	14	11	51	12	27	45	8	42	26	6
28	14	40	25	13	8	3	24	12	55	26	49	1	47	4
29	15	11	51	50	1	54	57	13	23	8	29	21	8	2
30	15	43	18	26	55	46	30	13	50	50	9	40	29	0

Венера

Среднее положение [для начальной эпохи]
по долготе 0;45° Рыб

Место апогея 16;10° Тельца.
Среднее положение по аномалии 71;7°

18-летние периоды	Градусы долготы							Градусы аномалии						
18	355°	37'	25"	36"	20 ^{IV}	34 ^V	30 ^{VI}	90°	27'	44"	34"	23 ^{IV}	46 ^V	30 ^{VI}
36	351	14	51	12	41	9	0	180	55	29	8	47	33	0
54	346	52	16	49	1	43	30	271	23	13	43	11	19	30
72	342	29	42	25	22	18	0	1	50	58	17	35	6	0
90	338	7	8	1	42	52	30	92	18	42	51	58	52	30
108	333	44	33	38	3	27	0	182	46	27	26	22	39	0
126	329	21	59	14	24	1	30	273	14	12	0	46	25	30
144	324	59	24	50	44	36	0	3	41	56	35	10	12	0
162	320	36	50	27	5	10	30	94	9	41	9	33	58	30
180	316	14	16	3	25	45	0	184	37	25	43	57	45	0
198	311	51	41	39	46	19	30	275	5	10	18	21	31	30
216	307	29	7	16	6	54	0	5	32	54	52	45	18	0
234	303	6	32	52	27	28	30	96	0	39	27	9	4	30
252	298	43	58	28	48	3	0	186	28	24	1	32	51	0
270	294	21	24	5	8	37	30	276	56	8	35	56	37	30
288	289	58	49	41	29	12	0	7	23	53	10	20	24	0
306	285	36	15	17	49	46	30	97	51	37	44	44	10	30
324	281	13	40	54	10	21	0	188	19	22	19	7	57	0
342	276	51	6	30	30	55	30	278	47	6	53	31	43	30
360	272	28	32	6	51	30	0	9	14	51	27	55	30	0
378	268	5	57	43	12	4	30	99	42	36	2	19	16	30
396	263	43	23	19	32	39	0	190	10	20	36	43	3	0
414	259	20	48	55	53	13	30	280	38	5	11	6	49	30
432	254	58	14	32	13	48	0	11	5	49	45	30	36	0
450	250	35	40	8	34	22	30	101	33	34	19	54	22	30
468	246	13	5	44	54	57	0	192	1	18	54	18	9	0
486	241	50	31	21	15	31	30	282	29	3	28	41	55	30
504	237	27	56	57	36	6	0	12	56	48	3	5	42	0
522	233	5	22	33	56	40	30	103	24	32	37	29	28	30
540	228	42	48	10	17	15	0	193	52	17	11	53	15	0
558	224	20	13	46	37	49	30	284	20	1	46	17	1	30
576	219	57	39	22	58	24	0	14	47	46	20	40	48	0
594	215	35	4	59	18	58	30	105	15	30	55	4	34	30
612	211	12	30	35	39	33	0	195	43	15	29	28	21	0
630	206	49	56	12	0	7	30	286	11	0	3	52	7	30
648	202	27	21	48	20	42	0	16	38	44	38	15	54	0
666	198	4	47	24	41	16	30	107	6	29	12	39	40	30
684	193	42	13	1	1	51	0	197	34	13	47	3	27	0
702	189	19	38	37	22	25	30	288	1	58	21	27	13	30
720	184	57	4	13	43	0	0	18	29	42	55	51	0	0
738	180	34	29	50	3	34	30	108	57	27	30	14	46	30
756	176	11	55	26	24	9	0	199	25	12	4	38	33	0
774	171	49	21	2	44	43	30	289	52	56	39	2	19	30
792	167	26	46	39	5	18	0	20	20	41	13	26	6	0
810	163	4	12	15	25	52	30	110	48	25	47	49	52	30

Венера

Годы простые	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	359°	45'	24"	45'''	21 ^{IV}	8 ^V	35 ^{VI}	225°	1'	32"	28'''	34 ^{IV}	39 ^V	15 ^{VI}
2	359	30	49	30	42	17	10	90	3	4	57	9	18	30
3	359	16	14	16	3	25	45	315	4	37	25	43	57	45
4	359	1	39	1	24	34	20	180	6	9	54	18	37	0
5	358	47	3	46	45	42	55	45	7	42	22	53	16	15
6	358	32	28	32	6	51	30	270	9	14	51	27	55	30
7	358	17	53	17	28	0	5	135	10	47	20	2	34	45
8	358	3	18	2	49	8	40	0	12	19	48	37	14	0
9	357	48	42	48	10	17	15	225	13	52	17	11	53	15
10	357	34	7	33	31	25	50	90	15	24	45	46	32	30
11	357	19	32	18	52	34	25	315	16	57	14	21	11	45
12	357	4	57	4	13	43	0	180	18	29	42	55	51	0
13	356	50	21	49	34	51	35	45	20	2	11	30	30	15
14	356	35	46	34	56	0	10	270	21	34	40	5	9	30
15	356	21	11	20	17	8	45	135	23	7	8	39	48	45
16	356	6	36	5	38	17	20	0	24	39	37	14	28	0
17	355	52	0	50	59	25	55	225	26	12	5	49	7	15
18	355	37	25	36	20	34	30	90	27	44	34	23	46	30

Часы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	2'	27"	50'''	43 ^{IV}	3 ^V	1 ^{VI}	0°	1'	32"	28'''	34 ^{IV}	42 ^V	58 ^{VI}
2	0	4	55	41	26	6	2	0	3	4	57	9	25	57
3	0	7	23	32	9	9	3	0	4	37	25	44	8	56
4	0	9	51	22	52	12	5	0	6	9	54	18	51	54
5	0	12	19	13	35	15	6	0	7	42	22	53	34	53
6	0	14	47	4	18	18	7	0	9	14	51	28	17	52
7	0	17	14	55	1	21	9	0	10	47	20	3	0	50
8	0	19	42	45	44	24	10	0	12	19	48	37	43	49
9	0	22	10	36	27	27	11	0	13	52	17	12	26	48
10	0	24	38	27	10	30	12	0	15	24	45	47	9	46
11	0	27	6	17	53	33	14	0	16	57	14	21	52	45
12	0	29	34	8	36	36	15	0	18	29	42	56	35	44
13	0	32	1	59	19	39	16	0	20	2	11	31	18	42
14	0	34	29	50	2	42	18	0	21	34	40	6	1	41
15	0	36	57	40	45	45	19	0	23	7	8	40	44	40
16	0	39	25	31	28	48	20	0	24	39	37	15	27	38
17	0	41	53	22	11	51	21	0	26	12	5	50	10	37
18	0	44	21	12	54	54	23	0	27	44	34	24	53	36
19	0	46	49	3	37	57	24	0	29	17	2	59	36	34
20	0	49	16	54	21	0	25	0	30	49	31	34	19	33
21	0	51	44	45	4	3	27	0	32	22	0	9	2	32
22	0	54	12	35	47	6	28	0	33	54	28	43	45	30
23	0	56	40	26	30	9	29	0	35	26	57	18	28	29
24	0	59	8	17	13	12	31	0	36	59	25	53	11	28

Венера

Месяцы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
30	29°	34'	8"	36'''	36 ^{IV}	15 ^V	30 ^{VI}	18°	29'	42"	56'''	35 ^{IV}	44 ^V	0 ^{VI}
60	59	8	17	13	12	31	0	36	59	25	53	11	28	0
90	88	42	25	49	48	46	30	55	29	8	49	47	12	0
120	118	16	34	26	25	2	0	73	58	51	46	22	56	0
150	147	50	43	3	1	17	30	92	28	34	42	58	40	0
180	177	24	51	39	37	33	0	110	58	17	39	34	24	0
210	206	59	0	16	13	48	30	129	28	0	36	10	8	0
240	236	33	8	52	50	4	0	147	57	43	32	45	52	0
270	266	7	17	29	26	19	30	166	27	26	29	21	36	0
300	295	41	26	6	2	35	0	184	57	9	25	57	20	0
330	325	15	34	42	38	50	30	203	26	52	22	33	4	0
360	354	49	43	19	15	6	0	221	56	35	19	8	48	0

Дни	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	59'	8"	17'''	13 ^{IV}	12 ^V	31 ^{VI}	0°	36'	59"	25'''	53 ^{IV}	11 ^V	28 ^{VI}
2	1	58	16	34	26	25	2	1	13	58	51	46	22	56
3	2	57	24	51	39	37	33	1	50	58	17	39	34	24
4	3	56	33	8	52	50	4	2	27	57	43	32	45	52
5	4	55	41	26	6	2	35	3	4	57	9	25	57	20
6	5	54	49	43	19	15	6	3	41	56	35	19	8	48
7	6	53	58	0	32	27	37	4	18	56	1	12	20	16
8	7	53	6	17	45	40	8	4	55	55	27	5	31	44
9	8	52	14	34	58	52	39	5	32	54	52	58	43	12
10	9	51	22	52	12	5	10	6	9	54	18	51	54	40
11	10	50	31	9	25	17	41	6	46	53	44	45	6	8
12	11	49	39	26	38	30	12	7	23	53	10	38	17	36
13	12	48	47	43	51	42	43	8	0	52	36	31	29	4
14	13	47	56	1	4	55	14	8	37	52	2	24	40	32
15	14	47	4	18	18	7	45	9	14	51	28	17	52	0
16	15	46	12	35	31	20	16	9	51	50	54	11	3	28
17	16	45	20	52	44	32	47	10	28	30	20	4	14	56
18	17	44	29	9	57	45	18	11	5	49	45	57	26	24
19	18	43	37	27	10	57	49	11	42	49	11	50	37	52
20	19	42	45	44	24	10	20	12	19	48	37	43	49	20
21	20	41	54	1	37	22	51	12	56	48	3	37	0	48
22	21	41	2	18	50	35	22	13	33	47	29	30	12	16
23	22	40	10	36	3	47	53	14	10	46	55	23	23	44
24	23	39	18	53	17	0	24	14	47	46	21	16	35	12
25	24	38	27	10	30	12	55	15	24	45	47	9	46	40
26	25	37	35	27	43	25	26	16	1	45	13	2	58	8
27	26	36	43	44	56	37	57	16	38	44	38	56	9	36
28	27	35	52	2	9	50	28	17	15	44	4	49	21	4
29	28	35	0	19	23	2	59	17	52	43	30	42	32	32
30	29	34	8	36	36	15	30	18	29	42	56	35	44	0

Меркурий

Среднее положение [для начальной эпохи]
по долготе 0;45° Рыб

Место апогея 1;10° Весов.

Среднее положение по аномалии 21;55°

18-летние периоды	Градусы долготы							Градусы аномалии						
18	355°	37'	25"	36"	20 ^{IV}	34 ^V	30 ^{VI}	251°	0'	45"	45"	53 ^{IV}	45 ^V	0 ^{VI}
36	351	14	51	12	41	9	0	142	1	31	31	47	30	0
54	346	52	16	49	1	43	30	33	2	17	17	41	15	0
72	342	29	42	25	22	18	0	284	3	3	3	35	0	0
90	338	7	8	1	42	52	30	175	3	48	49	28	45	0
108	333	44	33	38	3	27	0	66	4	34	35	22	30	0
126	329	21	59	14	24	1	30	317	5	20	21	16	15	0
144	324	59	24	50	44	36	0	208	6	6	7	10	0	0
162	320	36	50	27	5	10	30	99	6	51	53	3	45	0
180	316	14	16	3	25	45	0	350	7	37	38	57	30	0
198	311	51	41	39	46	19	30	241	8	23	24	51	15	0
216	307	29	7	16	6	54	0	132	9	9	10	45	0	0
234	303	6	32	52	27	28	30	23	9	54	56	38	45	0
252	298	43	58	28	48	3	0	274	10	40	42	32	30	0
270	294	21	24	5	8	37	30	165	11	26	28	26	15	0
288	289	58	49	41	29	12	0	56	12	12	14	20	0	0
306	285	36	15	17	49	46	30	307	12	58	0	13	45	0
324	281	13	40	54	10	21	0	198	13	43	46	7	30	0
342	276	51	6	30	30	55	30	89	14	29	32	1	15	0
360	272	28	32	6	51	30	0	340	15	15	17	55	0	0
378	268	5	57	43	12	4	30	231	16	1	3	48	45	0
396	263	43	23	19	32	39	0	122	16	46	49	42	30	0
414	259	20	48	55	53	13	30	13	17	32	35	36	15	0
432	254	58	14	32	13	48	0	264	18	18	21	30	0	0
450	250	35	40	8	34	22	30	155	19	4	7	23	45	0
468	246	13	5	44	54	57	0	46	19	49	53	17	30	0
486	241	50	31	21	15	31	30	297	20	35	39	11	15	0
504	237	27	56	57	36	6	0	188	21	21	25	5	0	0
522	233	5	22	33	56	40	30	79	22	7	10	58	45	0
540	228	42	48	10	17	15	0	330	22	52	56	52	30	0
558	224	20	13	46	37	49	30	221	23	38	42	46	15	0
576	219	57	39	22	58	24	0	112	24	24	28	40	0	0
594	215	35	4	59	18	58	30	3	25	10	14	33	45	0
612	211	12	30	35	39	33	0	254	25	56	0	27	30	0
630	206	49	56	12	0	7	30	145	26	41	46	21	15	0
648	202	27	21	48	20	42	0	36	27	27	32	15	0	0
666	198	4	47	24	41	16	30	287	28	13	18	8	45	0
684	193	42	13	1	1	51	0	178	28	59	4	2	30	0
702	189	19	38	37	22	25	30	69	29	44	49	56	15	0
720	184	57	4	13	43	0	0	320	30	30	35	50	0	0
738	180	34	29	50	3	34	30	211	31	16	21	43	45	0
756	176	11	55	26	24	9	0	102	32	2	7	37	30	0
774	171	49	21	2	44	43	30	353	32	47	53	31	15	0
792	167	26	46	39	5	18	0	244	33	33	39	25	0	0
810	163	4	12	15	25	52	30	135	34	19	25	18	45	0

Меркурий

Годы простые	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	359°	45'	24"	45'''	21 ^{IV}	8 ^V	35 ^{VI}	53°	56'	42"	32'''	32 ^{IV}	59 ^V	10 ^{VI}
2	359	30	49	30	42	17	10	107	53	25	5	5	58	20
3	359	16	14	16	3	25	45	161	50	7	37	38	57	30
4	359	1	39	1	24	34	20	215	46	50	10	11	56	40
5	358	47	3	46	45	42	55	269	43	32	42	44	55	50
6	358	32	28	32	6	51	30	323	40	15	15	17	55	0
7	358	17	53	17	28	0	5	17	36	57	47	50	54	10
8	358	3	18	2	49	8	40	71	33	40	20	23	53	20
9	357	48	42	48	10	17	15	125	30	22	52	56	52	30
10	357	34	7	33	31	25	50	179	27	5	25	29	51	40
11	357	19	32	18	52	34	25	233	23	47	58	2	50	50
12	357	4	57	4	13	43	0	287	20	30	30	35	50	0
13	356	50	21	49	34	51	35	341	17	13	3	8	49	10
14	356	35	46	34	56	0	10	35	13	55	35	41	48	20
15	356	21	11	20	17	8	45	89	10	38	8	14	47	30
16	356	6	36	5	38	17	20	143	7	20	40	47	46	40
17	355	52	0	50	59	25	55	197	4	3	13	20	45	50
18	355	37	25	36	20	34	30	251	0	45	45	53	45	0

Часы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
1	0°	2'	27"	50'''	43 ^{IV}	3 ^V	1 ^{VI}	0°	7'	46"	0'''	17 ^{IV}	28 ^V	59 ^{VI}
2	0	4	55	41	26	6	2	0	15	32	0	34	57	59
3	0	7	23	32	9	9	3	0	23	18	0	52	26	58
4	0	9	51	22	52	12	5	0	31	4	1	9	55	58
5	0	12	19	13	35	15	6	0	38	50	1	27	24	57
6	0	14	47	4	18	18	7	0	46	36	1	44	53	57
7	0	17	14	55	1	21	9	0	54	22	2	2	22	57
8	0	19	42	45	44	24	10	1	2	8	2	19	51	56
9	0	22	10	36	27	27	11	1	9	54	2	37	20	56
10	0	24	38	27	10	30	12	1	17	40	2	54	49	55
11	0	27	6	17	53	33	14	1	25	26	3	12	18	55
12	0	29	34	8	36	36	15	1	33	12	3	29	47	55
13	0	32	1	59	19	39	16	1	40	58	3	47	16	54
14	0	34	29	50	2	42	18	1	48	44	4	4	45	54
15	0	36	57	40	45	45	19	1	56	30	4	22	14	53
16	0	39	25	31	28	48	20	2	4	16	4	39	43	53
17	0	41	53	22	11	51	21	2	12	2	4	57	12	52
18	0	44	21	12	54	54	23	2	19	48	5	14	41	52
19	0	46	49	3	37	57	24	2	27	34	5	32	10	52
20	0	49	16	54	21	0	25	2	35	20	5	49	39	51
21	0	51	44	45	4	3	27	2	43	6	6	7	8	51
22	0	54	12	35	47	6	28	2	50	52	6	24	37	50
23	0	56	40	26	30	9	29	2	58	38	6	42	6	50
24	0	59	8	17	13	12	31	3	6	24	6	59	35	50

Меркурий

Месяцы	Градусы долготы							Градусы аномалии						
	29°	34'	8"	36'''	36 ^{IV}	15 ^V	30 ^{VI}	93°	12'	3"	29'''	47 ^{IV}	55 ^V	0 ^{VI}
30	29°	34'	8"	36'''	36 ^{IV}	15 ^V	30 ^{VI}	93°	12'	3"	29'''	47 ^{IV}	55 ^V	0 ^{VI}
60	59	8	17	13	12	31	0	186	24	6	59	35	50	0
90	88	42	25	49	48	46	30	279	36	10	29	23	45	0
120	118	16	34	26	25	2	0	12	48	13	59	11	40	0
150	147	50	43	3	1	17	30	106	0	17	28	59	35	0
180	177	24	51	39	37	33	0	199	12	20	58	47	30	0
210	206	59	0	16	13	48	30	292	24	24	28	35	25	0
240	236	33	8	52	50	4	0	25	36	27	58	23	20	0
270	266	7	17	29	26	19	30	118	48	31	28	11	15	0
300	295	41	26	6	2	35	0	212	0	34	57	59	10	0
330	325	15	34	42	38	50	30	305	12	38	27	47	5	0
360	354	49	43	19	15	6	0	38	24	41	57	35	0	0

Дни	Градусы долготы							Градусы аномалии						
	0°	59'	8"	17'''	13 ^{IV}	12 ^V	31 ^{VI}	3°	6'	24"	6'''	59 ^{IV}	35 ^V	50 ^{VI}
1	0°	59'	8"	17'''	13 ^{IV}	12 ^V	31 ^{VI}	3°	6'	24"	6'''	59 ^{IV}	35 ^V	50 ^{VI}
2	1	58	16	34	26	25	2	6	12	48	13	59	11	40
3	2	57	24	51	39	37	33	9	19	12	20	58	47	30
4	3	56	33	8	52	50	4	12	25	36	27	58	23	20
5	4	55	41	26	6	2	35	15	32	0	34	57	59	10
6	5	54	49	43	19	15	6	18	38	24	41	57	35	0
7	6	53	58	0	32	27	37	21	44	48	48	57	10	50
8	7	53	6	17	45	40	8	24	51	12	55	56	46	40
9	8	52	14	34	58	52	39	27	57	37	2	56	22	30
10	9	51	22	52	12	5	10	31	4	1	9	55	58	20
11	10	50	31	9	25	17	41	34	10	25	16	55	34	10
12	11	49	39	26	38	30	12	37	16	49	23	55	10	0
13	12	48	47	43	51	42	43	40	23	13	30	54	45	50
14	13	47	56	1	4	55	14	43	29	37	37	54	21	40
15	14	47	4	18	18	7	45	46	36	1	44	53	57	30
16	15	46	12	35	31	20	16	49	42	25	51	53	33	20
17	16	45	20	52	44	32	47	52	48	49	58	53	9	10
18	17	44	29	9	57	45	18	55	55	14	5	52	45	0
19	18	43	37	27	10	57	49	59	1	38	12	52	20	50
20	19	42	45	44	24	10	20	62	8	2	19	51	56	40
21	20	41	54	1	37	22	51	65	14	26	26	51	32	30
22	21	41	2	18	50	35	22	68	20	50	33	51	8	20
23	22	40	10	36	3	47	53	71	27	14	40	50	44	10
24	23	39	18	53	17	0	24	74	33	38	47	50	20	0
25	24	38	27	10	30	12	55	77	40	2	54	49	55	50
26	25	37	35	27	43	25	26	80	46	27	1	49	31	40
27	26	36	43	44	56	37	57	83	52	51	8	49	7	30
28	27	35	52	2	9	50	28	86	59	15	15	48	43	20
29	28	35	0	19	23	2	59	90	5	39	22	48	19	10
30	29	34	8	36	36	15	30	93	12	3	29	47	55	0

5. Основные положения относительно гипотез о пяти планетах

250

За таблицами [средних движений] должна последовать теория неравенств, получающихся при движении пяти планет по долготе. Общий очерк, касающийся их определения, мы сделаем в таких словах.

Согласно сказанному выше²⁶ для достижения упомянутой цели [моделирования движений планет] можно применить два вида движений, являющихся одновременно и самыми простыми, и вполне ей удовлетворяющими, а именно движение, совершающееся при помощи кругов, эксцентрических по отношению к зодиаку, и другое — при помощи гомоцентрических кругов, несущих эпициклы. Равным образом для каждого светила имеются два вида неравенств: одно, усматриваемое по отношению к частям зодиака, и другое, касающееся положения относительно Солнца.

Что касается последнего, то из непрерывно наблюдающихся изменений относительных положений [Солнце—планета] в одних и тех же частях зодиака²⁷, а также из того, что для пяти планет время перехода от наиболее быстрого движения к среднему всегда больше времени, потребного для перехода от среднего движения к наиболее медленному, мы усматриваем, что эта характерная особенность не может быть получена при помощи гипотезы эксцентриситета, ибо последняя дает как раз противоположное, а именно, что при ее допущении наиболее быстрое движение имеет место в перигее. Кроме того, в обеих наших гипотезах дуга от перигея до точки со средним движением будет меньше дуги от последней упомянутой точки до апогея, но в гипотезе с эпициклом может получиться, что наиболее быстрое движение совершается не в перигее, как у Луны, а наоборот, в апогее, что будет иметь место, когда светило, начиная от апогея эпицикла, движется не против направления знаков зодиака, как это, например, делает Луна, но в направлении последовательности. На основании этих соображений мы предполагаем, что это неравенство производится при помощи эпициклов²⁸.

Что же касается неравенства, наблюдающегося в различных частях зодиака, то мы находим из [наблюдений] дуг эклиптики между [последовательными] гелиакическими восходами или относительными положениями [планета—Солнце] одного и того же типа, что имеет место противоположное: время от наименьшей скорости до средней всегда больше времени от средней скорости до наибольшей. Хотя это свойство может быть получено при помощи каждой из упомянутых гипотез, как мы показали при доказательстве их эквивалентности в начале изложения теории Солнца²⁹, но все же оно скорее свойственно теории эксцентра. Поэтому мы предполагаем, что указанное неравенство получается как раз соответственно этой гипотезе, поскольку другое [неравенство] может быть определено только при помощи гипотезы с эпициклом как наиболее соответствующей³⁰.

Но при дальнейшем сравнении отдельных наблюдаемых положений планет с выводами, получающимися из соединения обеих гипотез, обнаруживается, что дело совсем не будет таким простым, поскольку плоскости, в которых мы рисуем эксцентрические круги, не будут неподвижными, и расстояние от тропических и равноденственных точек до прямой, проходящей через центры этих кругов [планетного] эксцентра и зодиака), на которой усматриваются перигеи и апогеи, не остается всегда одним и тем же. Точно так же центры перемещающихся по эксцентрическим

кругам эпициклов, совершая равномерное вращение в направлении последовательности знаков, не описывают в равные времена одинаковые углы вокруг центров этих кругов. Кроме того, и апогеи эксцентров совершают некоторое небольшое движение в направлении последовательности знаков относительно тропических точек; это движение тоже будет равномерным [и происходящим] вокруг центра зодиака и для всех планет почти одинаково с предположительно совершаемым сферой неподвижных звезд движением, т.е. на 1 градус в 100 лет, как можно видеть из предшествующего изложения. Мы нашли, кроме того, что для всех планет, кроме Меркурия, центры эпициклов перемещаются по кругам, хотя и равным [по величине] эксцентрическим, производящим аномалию, но описанным не вокруг [их] центров, а вокруг точек, делящих пополам прямые, соединяющие центры упомянутых кругов и зодиака. И только для Меркурия [центром круга, несущего эпицикл] будет точка [Н, см. рис. 9-В в примечаниях], настолько удаленная от центра [Z] вращающего его круга, насколько этот центр отстоит по направлению к апогею от центра [круга Δ], производящего аномалию, а последний — от центра [Е], где находится глаз наблюдателя³¹.

253 Действительно, для одной лишь этой планеты мы обнаруживаем, как это имеет место для Луны, что эксцентрический круг вращается вокруг этого центра [Z] в сторону, противоположную движению эпицикла, [а именно] против последовательности знаков, и совершает один оборот в течение года. Поэтому рассматриваемая планета в течение одного обращения дважды бывает в наибольшей близости к Земле подобно тому, как это делает Луна в течение одного месяца.

6. О характере и различиях между гипотезами

Конкретные особенности принятого соединения обеих гипотез на основе рассмотренных выше [явлений], может быть, лучше разъяснить так. Согласно гипотезе для других планет (кроме Меркурия) вообразим эксцентрический круг АВГ около центра Δ [рис. 9.1]. Пусть АДГ будет диаметром, проходящим через Δ и центр зодиака, а точка Е на нем будет центром зодиака, или точкой зрения наблюдателя; пусть в точке А будет апогей, а в Г перигей. Разделив расстояние ДЕ пополам в точке Z, опишем из Z как из центра радиусом ΔA окружность НОК, равную, конечно, АВГ.

254 Затем вокруг центра Θ опишем эпицикл АМ и проведем соединительную прямую ЛОМД.

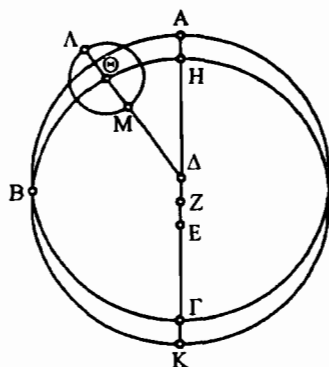


Рис. 9.1

Прежде всего мы должны предположить, что плоскость эксцентрических кругов будет наклонна к плоскости зодиака, а также и плоскость эпицикла наклонна к плоскости эксцентра; этого, как мы покажем далее, требует наличие движений светил по широте. Что же касается движений по долготе, то ради простоты мы предположим, что все они совершаются в плоскости зодиака, так как для долготы не получается никаких заметных различий при таких величинах наклонения, какие мы получим далее для каждого из светил³².

После этого скажем, что вся плоскость равномерно вращается вокруг центра Е в направлении последовательности знаков, причем апогеи и перигеи

будут перемещаться на 1 градус в 100 лет, а диаметр $\Lambda\Theta\text{М}$ эпицикла будет вращаться вокруг центра Δ тоже равномерно в направлении последовательности знаков в соответствии с обращениями планеты по долготе; вместе с ним будут вращаться и точки Λ и М эпицикла, а центр Θ будет всегда двигаться по эксцентру $\text{Н}\Theta\text{К}$, само же светило равномерно вращается по

255

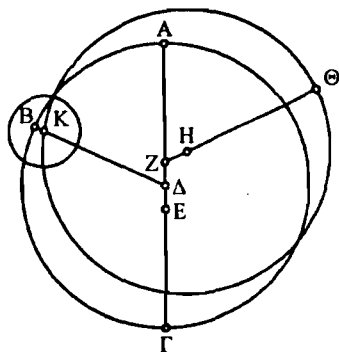


Рис. 9.2

эпициклу $\Lambda\text{М}$, совершая возвращения к тому диаметру [эпицикла], который всегда направлен к центру Δ , в соответствии со средним периодом аномалии, относящейся к Солнцу; и в апогее [эпицикла] Λ это движение происходит в направлении последовательности знаков³³.

Гипотезу относительно Меркурия мы могли бы наглядно представить так. Пусть АВГ будет эксцентрическим кругом аномалии с центром Δ [рис. 9.2], а диаметр АДЕГ проходит через Δ , центр Е зодиака и апогей А . На АГ по направлению к апогею отложим [прямую] ДЗ , равную ДЕ . Теперь, не трогая всего остального, заставим всю плоскость вместе с апогеем А

вращаться вокруг центра Е в направлении последовательности знаков, как и у других планет; пусть эпицикл равномерно вращается вокруг центра Δ в направлении последовательности [знаков], движимый прямой ДВ , а светило перемещается по эпициклу, как и другие планеты. После этого пусть центр $[\text{Н}]$ второго эксцента, во всех отношениях одинакового с первым и несущего центр $[\text{К}]$ эпицикла, будет вращаться вокруг точки З равномерно и с одинаковой [как у эпицикла] скоростью, но только в противоположную ему сторону, т.е. против последовательности знаков, и движущей его прямой пусть будет $\text{ЗН}\Theta$. Таким образом, по отношению к точкам зодиака каждая из прямых ДВ и $\text{ЗН}\Theta$ в течение одного года будет один раз возвращаться в исходное положение, по отношению же друг к другу, естественно, два раза. Расстояние ЗН центра [второго эксцента] от точки З будет всегда оставаться одинаковым и равным каждой из прямых ЕД и ДЗ . Таким образом, в движении против последовательности знаков он [т.е. центр $[\text{Н}]$] всегда будет описывать около центра З радиусом ЗН малый круг, который будет проходить через центр Δ первого и неподвижного эксцента. Равным образом подвижный эксцентр будет каждый раз описываться радиусом $\text{Н}\Theta$, равным $\text{Д}\Lambda$, вокруг центра Н (как в нашем случае $\Theta\text{К}$) и, наконец, эпицикл будет всегда иметь на нем центр (как на чертеже, в точке К)³⁴.

256

Пожалуй, мы лучше разберемся в этих гипотезах, если для каждой планеты определим значения соответствующих величин, причем причины, побудившие нас к использованию той или другой гипотезы, во многих отношениях выявятся нагляднее.

257

Следует, однако, предупредить, что периодические возвращения по долготе не будут иметь место по отношению к одним и тем же точкам круга, проходящего через середины знаков зодиака, и [одновременно] по отношению к апогеям и перигеям эксцентров вследствие предположенного их перемещения. Поэтому приведенные выше в таблицах средние движения по долготе не могут дать наблюдаемых возвращений к апогеям эксцентров,

а дают их только по отношению к тропическим и равноденственным точкам в соответствии с принятой нами продолжительностью года³⁵.

Итак, прежде всего необходимо показать на основании указанных гипотез, что если средние положения планеты по долготе будут определяться с обеих сторон от апогеев или перигеев одинаковыми расстояниями, то получающиеся от зодиакального неравенства разности будут для каждого положения одинаковыми, равно как и наибольшие расстояния планеты на эпицикле от тех же самых точек среднего положения³⁶.

В самом деле, пусть $AB\Gamma$ будет эксцентрическим кругом, по которому перемещается центр эпицикла [рис. 9.3]; пусть E будет его центром, а $AE\Gamma$ — диаметром, на котором мы предположим находящимися центры Z зодиака и H производящего аномалию эксцента, т.е. точку, вокруг которой, как мы сказали, совершается среднее равномерное движение эпицикла. Проведем находящиеся на одинаковых расстояниях от апогея прямые $BH\Theta$ и ΔHK , так что углы $АНВ$ и $АН\Delta$ будут равными; вокруг точек B и Δ опишем одинаковые эпициклы; проведем соединительные прямые BZ и ΔZ и из точки Z нашего зрения касательные $Z\Lambda$ и ZM к эпициклам.

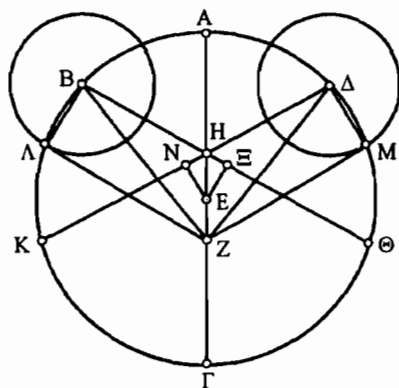


Рис. 9.3

Я утверждаю, что угол ZBH , представляющий неравенство от зодиакальной аномалии, будет равен HAZ , а наибольшее отклонение $BZ\Lambda$, обусловленное эпициклом, точно так же будет равно ΔZM . На основании этого будут равны и величины наибольших отклонений [по обе стороны от линии апсид] от средних [положений], получающиеся в результате совместного действия [гипотез].

Из точек B и Δ опустим на $Z\Lambda$ и ZM перпендикуляры $В\Lambda$ и ΔM , а из E на $B\Theta$ и ΔK перпендикуляры EE и EN . Так как угол $ЕНЕ$ равен $ННЕ$ ³⁷, углы при N и E прямые и сторона $ЕН$ общая у равноугольных треугольников, то $НН$ равна $ЕН$, а также перпендикуляр EN равен EE . Следовательно, прямые $B\Theta$ и ΔK будут находиться на одинаковых расстояниях от центра E ; значит, будут равны и они, и их половины³⁸, а после вычитания [$ЕН$ из $ВЕ$ и $НН$ из $\Delta Н$] — и их остатки $ВН$ и $\Delta Н$. Но сторона $НЗ$ является общей, и заключенные между равными сторонами углы $ВНЗ$ и $\Delta НЗ$ равны. Следовательно, основание BZ будет равно основанию ΔZ , а угол $ВВЗ$ равен углу $\Delta\Delta Z$. Но также и радиус эпицикла $В\Lambda$ равен ΔM и углы при Λ и M прямые. Значит, и угол $BZ\Lambda$ равен углу ΔZM . Что и требовалось доказать.

Пусть теперь в случае гипотезы для Меркурия $AB\Gamma$ будет диаметром [рис. 9.4], проходящим через центры и апогей кругов, и пусть A будет центром зодиака, B — центром эксцента, производящего аномалию, а Γ будет точкой, вокруг которой движется центр несущего эпицикл эксцента. Проведем опять с каждой стороны прямые $B\Delta$ и BE , определяющие равномерные движения эпицикла в направлении последовательности знаков, а также прямые ΓZ и ΓH , определяющие вращение эксцента против

последовательности знаков со скоростью, равной скорости эпицикла. В таком случае, очевидно, углы при Г и В равны, и прямые ВД и ГЗ, а также ВЕ и ГН параллельны. На ГЗ и ГН возьмем центры эксцентрических кругов; пусть это будут Θ и К; описанные вокруг них эксцентры, на

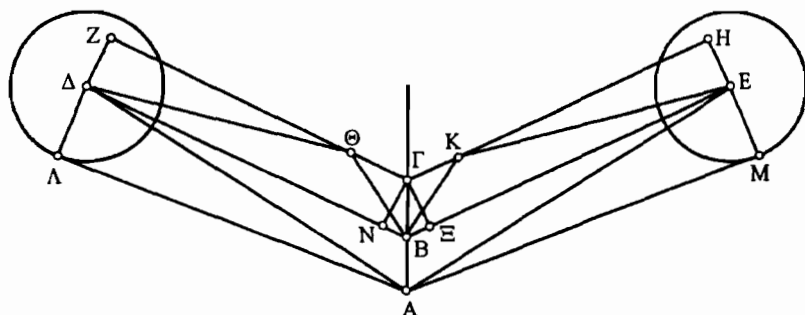


Рис. 9.4

которых находятся эпициклы, должны пройти через точки Δ и Е. Построив снова вокруг точек Δ и Е равные эпициклы, проведем соединительные прямые АД и АЕ и касательные АЛ и АМ к эпициклам. Следует доказать, что и в этом случае угол АДВ зодиакального неравенства будет равен АЕВ, а угол $\Delta\Lambda\Lambda$ наибольшего отклонения на эпицикле будет равен ЕАМ.

Проведем соединительные прямые В Θ и ВК, $\Theta\Delta$ и КЕ и опустим перпендикуляры ГН и ГЕ из точки Г на ВД и ВЕ, а из точек Δ и Е — перпендикуляры ΔZ и ЕН на ГЗ и ГН и перпендикуляры $\Delta\Lambda$ и ЕМ на ЛА и АМ. Так как угол ГВН равен ГВЕ, углы при Н и Е прямые и линия ГВ общая, то прямая ГН будет равна ГЕ, т.е. ΔZ равна ЕН³⁹. Но также прямая $\Theta\Delta$ равна КЕ⁴⁰ и углы при Z и Н прямые. Следовательно, угол $\Delta\Theta Z$ равен ЕКН, а угол Г Θ В равен ГКВ, ибо мы положили прямую $\Theta\Gamma$ равной ГК, ГВ общая, а углы $\Theta\Gamma\text{В}$ и КГВ равны. Таким образом, остающийся угол В $\Theta\Delta$ будет равен ВКЕ⁴¹, а основание ВД равно основанию ВЕ. Но сторона ВА также общая и угол $\Delta\text{ВА}$ равен ЕВА; значит, основание АД равно основанию АЕ, а угол АДВ равен углу АЕВ. Рассуждая аналогичным образом, получаем, что если $\Delta\Lambda$ равна ЕМ, а углы при Λ и М прямые, то угол $\Delta\Lambda\Lambda$ будет тоже равен углу ЕАМ. Это и требовалось доказать.

7. Определение положения апогея планеты Меркурий и его перемещения

Установив это, мы сначала следующим образом определили, на каких градусах круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, находится апогей планеты Меркурий. Мы отыскивали наблюдения наибольших отклонений восточных и западных положений планеты, когда последние были одинаково удалены от среднего положения Солнца, иными словами, от среднего положения рассматриваемой планеты⁴². Действительно, если мы найдем такие положения, то на основании доказанного выше точка зодиакального круга, лежащая посередине между двумя такими поло-

жениями, будет необходимо содержать апогей эксцентра⁴³. Для этой цели мы взяли некоторое число наблюдений, правда, небольшое, так как такое точное равенство встречается очень редко; они могут дать наглядное представление о предложенном. Более новые из этих наблюдений таковы.

[1] Мы сами в 16 году Адриана, в египетском месяце Фаменот, вечером с 16-го на 17-е число наблюдали при помощи астролябии планету Меркурий в наибольшем расстоянии от среднего положения Солнца. Тогда он, наблюдаемый по отношению к самой яркой из Гиад, был виден по долготе на 1 градусе Рыб⁴⁴. Но в соответствующее время среднее положение Солнца было на $9\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Водолея. Следовательно, наибольшее вечернее расстояние планеты от среднего положения оказалось равным $21\frac{1}{4}$ градусу⁴⁵.

263 [2] А в 18 году Адриана, в египетском месяце Эпифи, утром с 18-го на 19-е планета Меркурий, находясь на наибольшем расстоянии [от среднего Солнца], казалась очень маленькой и темной; наблюдаемая по отношению к яркой из Гиад она казалась находящейся на $18\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Тельца⁴⁶. И в то же самое время среднее положение Солнца было на 10 градусах Близнецов. Отсюда наибольшее утреннее расстояние от среднего положения оказалось равным тому же самому $21\frac{1}{4}$ градусу.

Таким образом, поскольку в одном из этих наблюдений среднее положение планеты было на $9\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Водолея, а в другом — на 10 градусах Близнецов, находящаяся посередине между ними точка средней линии зодиака будет соответствовать 10 градусам Овна без $\frac{1}{8}$ части градуса; в этой точке находился в этот момент конец диаметра, проведенного через апогей.

[3] Далее, в первом году Антонина, вечером с 20-го на 21-е число египетского месяца Эпифи мы наблюдали при помощи астролябии планету Меркурий в наибольшем расстоянии от среднего положения Солнца. Наблюдаемый тогда по отношению к звезде на сердце Льва он находился на 7 градусах Рака⁴⁷. Но в соответствующее время среднее положение Солнца было на $10\frac{1}{2}$ градусах Близнецов. Следовательно, наибольшее вечернее расстояние от среднего положения было тогда $26\frac{1}{2}$ градусов.

264 [4] Точно так же в 4 году Антонина, в египетском месяце Фаменот, тоже утром с 18-го на 19-е число Меркурий, бывший в наибольшем расстоянии [от среднего Солнца] и наблюдавшийся по отношению к звезде, называемой Антарес, находился на $13\frac{1}{2}$ градусах Козерога⁴⁸, а среднее положение Солнца было на 10 градусах Водолея. Следовательно, отсюда наибольшее утреннее расстояние от среднего положения оказалось равным тем же самым $26\frac{1}{2}$ градусам.

Таким образом, поскольку в одном из этих наблюдений среднее положение планеты было на $10\frac{1}{2}$ градусах⁴⁹ Близнецов, а в другом — на 10 градусах Водолея и находящаяся посередине между ними точка средней линии зодиака соответствует $10\frac{1}{4}$ градусам Клешней, то в этом положении в этот момент находился конец проведенного через апогей диаметра. Следовательно, из этих наблюдений мы находим, что апогей должен попасть приблизительно на 10 градусов Овна или Клешней⁴⁹; согласно же древним наблюдениям наибольших расстояний он был на 6 градусе того же знака, как можно будет заключить из нижеследующего.

[5] Действительно, в 23 году по Дионисию, 21-го числа месяца Гидрона⁵⁰ Стилбон⁵¹, утром находился на расстоянии трех лун к северу от самой блестящей звезды в хвосте Козерога⁵². Упомянутая неподвижная звезда находилась тогда по отношению к принимаемым нами начальным точкам, т.е. к точкам равноденствий или солнцеворотов, на $22\frac{1}{3}$ градусах Козерога. 265 На таком же расстоянии была и планета Меркурий; а среднее положение Солнца было на $18\frac{1}{6}$ градусах Водолея. Время же это соответствовало 486 году после Набонассара и утру с 17-го на 18-е число египетского месяца Хойак. Следовательно, наибольшее утреннее расстояние [Меркурия] от среднего положения [Солнца] оказалось равным $25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусам.

В дошедших до нас наблюдениях мы не находим наибольшего расстояния, в точности равного указанному, но при помощи двух наблюдений мы следующим образом вычислили равное ему приблизительно расстояние.

[6] Действительно, в том же самом 23 году по Дионисию, вечером 4-го Таврона [Меркурий] на три луны отставал от прямой, проведенной через рога Тельца; в своем движении он казался отстоящим от общей [линии] более чем на 3 луны к югу⁵³. Таким образом, по отношению к нашим начальным точкам он находился на $23\frac{2}{3}$ градусах Тельца. И это время опять соответствовало 486 году Набонассара, вечеру с 30-го числа месяца [Мехира] на 1-е Фаменота⁵⁴, когда среднее положение Солнца было на $29\frac{1}{2}$ градусах Овна. Итак, наибольшее вечернее расстояние от среднего положения оказалось равным $24\frac{1}{6}$ градусам.

[7] В 28 году по Дионисию, вечером 7-го Дидимона Меркурий был на одной прямой с головами Близнецов, находясь к югу от южного Близнеца на расстоянии, которое на $\frac{1}{3}$ часть луны меньше удвоенного расстояния между головами⁵⁵. Таким образом, тогда планета Меркурий по отношению к нашим начальным точкам находилась на $29\frac{1}{3}$ градусах Близнецов. А это время соответствовало 491 году после Набонассара и вечеру с 5-го на 6-е число египетского месяца Фармути, когда среднее положение Солнца было на $2\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Близнецов. Следовательно, и здесь [наибольшее] 266 расстояние было равным $26\frac{1}{2}$ градусам.

Теперь, когда среднее положение Солнца было на $29\frac{1}{2}$ градусах Овна, наибольшее расстояние равнялось $24\frac{1}{6}$ градусам, а для $2\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусов Близнецов расстояние было $26\frac{1}{2}$ градусов; утреннее же расстояние, для которого мы искали противоположное ему, было $25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$. Следовательно, если мы примем, что ему где-то соответствует среднее, то и вечернее расстояние будет равно тем же $25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусам на основании разности средних мест для двух приводимых ниже наблюдений. Действительно, разность средних положений в обоих наблюдениях получается равной $33\frac{1}{3}$ градусам, разность же наибольших отклонений — $2\frac{1}{3}$ градусам. Таким образом, $12\frac{2}{3}$ градус, на который $25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ превышает $24\frac{1}{6}$, соответствует приблизительно 24 градусам; если мы прибавим их к $29\frac{1}{2}$ градусам Овна, то получим среднее положение, по отношению к которому наибольшее вечернее расстояние окажется равным тем же самым $25\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусам, что и для утреннего, и будет соответствовать $23\frac{1}{2}$ градусам Тельца⁵⁶. И средняя 267 точка между $18\frac{1}{6}$ градусами Водолея и $23\frac{1}{2}$ градусами Тельца находится на $5\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Овна.

[8] Далее, в 24 году по Дионисию, вечером 28-го Леонтона Меркурий на основании расчетов Гиппарха предшествовал Колосу на расстоянии немногим больше 3 градусов, так что по отношению к нашим начальным точкам он тогда находился на $19\frac{1}{2}$ градусах Девы⁵⁷. Это время соответствовало 486 году после Набонассара и вечеру 30-го числа египетского месяца Паини, когда среднее положение Солнца было на $27\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Льва. Следовательно, наибольшее вечернее расстояние от среднего положения оказалось равным $21\frac{2}{3}$ градусу. Соответствующее ему точно утреннее расстояние мы вычислили опять на основании двух нижеследующих [наблюдений].

[9] Действительно, в 75 году халдеев, 14-го числа месяца Дия⁵⁸ Меркурий утром был на расстоянии половины локтя над звездой южной чаши [Весов]⁵⁹, так что по отношению к нашим начальным точкам он находился тогда на $14\frac{1}{6}$ градусах Клешней. И это время соответствовало 512 году после Набонассара и утру с 9-го на 10-е число египетского месяца Тот, когда среднее положение Солнца находилось на $5\frac{1}{6}$ градусах Скорпиона. Следовательно, наибольшее утреннее расстояние равнялось 21 градусу.

268 [10] А в 67 году халдеев, 5-го Апеллея Меркурий утром был на поллоктя выше северной части лба Скорпиона, так что, по-нашему, он находился на $2\frac{1}{3}$ градусах Скорпиона⁶⁰. Это же время соответствовало 504 году после Набонассара и утру с 27-го на 28-е число египетского месяца Тот, когда среднее положение Солнца было на $24\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Скорпиона. Следовательно, само расстояние оказалось равным $22\frac{1}{2}$ градусам.

Теперь, так как опять в двух этих наблюдениях разность средних положений составляет $19\frac{2}{3}$ градусов, а наибольших расстояний — $1\frac{1}{2}$ градус, отсюда следует, что $\frac{2}{3}$ одного градуса, на которые $21\frac{2}{3}$ градус искомого расстояния превышает 21 градус наименьшего, соответствуют приблизительно 9 градусам. Если мы прибавим их к $5\frac{1}{6}$ градусам Скорпиона, то получим среднее положение, для которого наибольшее утреннее расстояние окажется равным $21\frac{2}{3}$ градусу вечернего; это положение соответствует $14\frac{1}{6}$ градусам Скорпиона⁶¹. И также средняя точка между $27\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусами Льва и $14\frac{1}{6}$ градусами Скорпиона будет находиться самое большее на 6 градусах Клешней.

Итак, на основании этих наблюдений и точных сравнений видимых положений для других планет мы нашли, что диаметры, проходящие через апогеи и перигеи пяти планет, совершают некоторое перемещение вокруг центра зодиака в направлении последовательности знаков и что это перемещение совершается в одинаковое время с перемещением сферы неподвижных звезд. Поскольку последняя на основании доказанного выше перемещается приблизительно на 1 градус в течение 100 лет, то за 400 лет, охватывающих время, прошедшее от этих древних наблюдений вплоть до наших, апогей Меркурия, находившийся на 6 градусах⁶², передвинулся приблизительно на 4 градуса и находится теперь на 10 градусах⁶³.

8. О том, что планета Меркурий также в течение одного оборота дважды становится в ближайшее к Земле положение⁶⁴

В соответствии с этим мы исследовали величины получающихся наибольших отклонений, когда среднее положение Солнца оказывалось в апогее Меркурия, а также в диаметрально противоположном месте. Это мы определяли не из древних наблюдений, но из наблюдений, сделанных нами при помощи астрольбии; в наблюдениях такого рода лучше всего познается польза этого прибора. Действительно, если наблюдаемые планеты не оказываются поблизости от заранее выбранных звезд, положения которых известны, как это чаще всего и бывает с Меркурием, вследствие того, что очень редко можно увидеть большую часть неподвижных звезд на одинаковых с ним расстояниях от Солнца, то при помощи наблюдений звезд, находящихся на гораздо больших расстояниях, можно точно определить положения наблюдаемых светил как по долготе, так и по широте⁶⁵.

Так вот, в 19 году Адриана, в ночь с 14-го на 15-е число египетского месяца Атир утренний Меркурий, находившийся в наибольшем отклонении и сравниваемый со звездой в сердце Льва, наблюдался на $20\frac{1}{2}$ градусах Девы⁶⁶, а среднее положение Солнца было на $9\frac{1}{4}$ градусах Клешней, так что наибольшее отклонение оказалось равным $19\frac{1}{20}$ градусам.

В том же самом году, вечером 19-го Пахона Меркурий опять находился в наибольшем отклонении и сравниваемый с блестящей звездой в Гиадах наблюдался на $4\frac{1}{3}$ градусах Тельца⁶⁷, а среднее положение Солнца было на $11\frac{1}{12}$ градусах Овна. Отсюда наибольшее отклонение оказывалось равным $23\frac{1}{4}$ градусам. Таким образом, ясно можно было видеть, что апогей эксцентра был в Клешнях, а не в Овне⁶⁸.

После того как это установлено, пусть АВГ будет диаметром [рис. 9.5], проходящим через апогей. Предположим, что точка В будет центром зодиака и местом, где находится глаз наблюдателя, точка А соответствует 10 градусам Клешней, а Г — 10 градусам Овна. Вокруг А и Г опишем равные эпициклы, на которых находятся точки Δ и Е, и проведем из В к ним касательные прямые ВΔ и ВЕ и соединим центры с точками касания перпендикулярами АД и ГЕ. Так как в Клешнях наибольшее утреннее отклонение от среднего положения наблюдалось равным $19\frac{1}{20}$ градусам, то угол АВΔ будет равняться $19\frac{1}{3}$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или $38\frac{6}{6}$ таким, 360 которых составляют два прямых угла. Таким образом, дуга, стоящая на прямой АД, будет равняться $38\frac{6}{6}$ градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника АВΔ, будет 360; стягивающая ее прямая АД будет равна приблизительно $39\frac{9}{9}$ частям, каких в гипотенузе АВ содержится $120\frac{6}{6}$.

Затем, поскольку в Овне наблюденное вечернее наибольшее отклонение от среднего положения равнялось $23\frac{1}{4}$ градусам, угол ГВЕ будет равняться $23\frac{1}{5}$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или $46\frac{3}{3}$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Таким образом, дуга на ГЕ будет равна $46\frac{3}{3}$ градусам, каких в описанной около прямоугольного

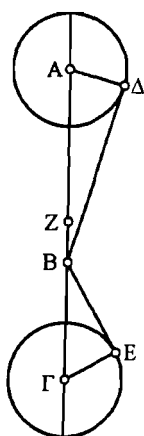


Рис. 9.5

треугольника ГВЕ окружности содержится 360, а стягиваемая ею прямая ГЕ будет равна 47;22 частям, если гипотенузу ВГ положить равной 120. Следовательно, если прямая ГЕ равняется 39;9 вследствие равенства АД и ГЕ как радиусов эпицикла, а прямая АВ — 120 частям, то прямая ВГ будет равна 99;9 таким частям, а вся прямая АВГ — 219;9. Если мы разделим ее пополам в точке Z, то половина AZ будет равна 109;34, а расстояние между В и Z — 10;25 таким же частям⁷⁰.

Теперь очевидно, что либо точка Z будет центром того эксцента, на котором всегда находится центр эпицикла, либо вокруг нее будет вращаться центр упомянутого круга; действительно, только таким образом и может центр эпицикла находиться, как показано, на одинаковом расстоянии от Z в каждом из взятых по диаметру положений. Но если бы точка Z была центром эксцента, на котором всегда находится центр эпицикла, то этот эксцентр был бы неподвижным, и из всех положений наиболее близким к Земле (т.е. совпадающим с перигеем) было бы то, которое получалось в Овне, так как ВГ — наименьшая прямая из всех секущих, проведенных из В к описанной около Z окружности. Однако положение в Овне не будет самым близким к Земле по сравнению с другими, но положения в Близнецах и Водолее оказываются более близкими к Земле, и к тому же с приблизительно равными расстояниями. Таким образом, ясно, что центр упомянутого эксцента вращается вокруг точки Z в противоположную сторону вращения эпицикла, т.е. против последовательности знаков, и делает один оборот в течение одного периода [обращения эпицикла]. Таким образом, в этом движении центр эпицикла будет наиболее близким к Земле два раза в течение одного обращения⁷¹.

А то, что в Близнецах и Водолее эпицикл является более близким к Земле, чем в Овне, легко можно увидеть из приведенных выше наблюдений. Действительно, в наблюдении 16-го Фаменота в 16 году Адриана наибольшее вечернее отклонение от среднего положения равнялось $21\frac{1}{4}$ градусу, в наблюдении же 18-го Фаменота⁷² 4 года Антонина наибольшее утреннее отклонение от среднего положения составляло $26\frac{1}{2}$ градусов, причем в обоих наблюдениях среднее положение Солнца было на 10 градусах Водолея. Точно так же в наблюдении 19-го Эпифи 18 года Адриана наибольшее утреннее отклонение от среднего положения равнялось $21\frac{1}{4}$ градусу, а в первом году Антонина, 20-го Эпифи наибольшее вечернее отклонение от среднего положения равнялось $26\frac{1}{2}$ градусам, и в обоих этих наблюдениях среднее положение Солнца было на 10 градусах Близнецов⁷³. Таким образом, если сложить обращенные в противоположные стороны наибольшие отклонения в Водолее и Близнецах, то получится $47\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов, а оба отклонения в Овне охватывают вместе [только] $46\frac{1}{2}$ градусов, так как по наблюдениям вечернее отклонение, которое равнялось утреннему, составило $23\frac{1}{4}$ градуса⁷⁴.

9. Об отношении и величине аномалий Меркурия

После этих предварительных замечаний остается показать, около какой точки прямой АВ совершается возвращение эпицикла в годовом равномерном движении в направлении последовательности знаков, а также каково будет расстояние от Z центра эксцентрического круга, совершающего движение

против последовательности знаков в такое же время [что и эпицикл]⁷⁵. Для этого исследования мы использовали два наблюдения наибольших отклонений, как утреннего, так и вечернего, причем в обоих наблюдениях среднее положение отстояло на четверть окружности в одну и ту же сторону от апогея, ибо в этом месте получается наибольшая разница зодиакальной аномалии. 275

В 14 году Адриана, вечером 18-го числа египетского месяца Месоре, как мы нашли в наблюдениях, произведенных Теоном, наибольшее отклонение Меркурия от Солнца было, как он говорит, когда планета была на $3\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градуса сзади звезды, что на сердце Льва⁷⁶. Таким образом, по отношению к нашим начальным точкам Меркурий находился приблизительно на $6\frac{1}{3}$ градусах Льва, а среднее положение Солнца было тогда на $10\frac{1}{12}$ градусах Рака, так что наибольшее вечернее расстояние Меркурия составляло $26\frac{1}{4}$ градусов.

Во 2 же году Антонина, утром 24-го числа египетского месяца Месоре мы наблюдали при помощи астрольбии наибольшее отклонение Меркурия. Сравнивая его положение с самой блестящей из Гиад, мы нашли, что он находился на $20\frac{1}{12}$ градусах Близнецов, причем среднее положение Солнца было опять в Раке на $10\frac{1}{3}$ градусах⁷⁷, так что наибольшее утреннее отклонение равнялось $20\frac{1}{4}$ градусам.

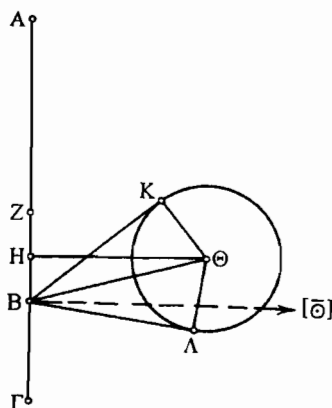


Рис. 9.6

Установив это, возьмем опять диаметр AZBΓ [рис. 9.6], проходящий через точки, соответствующие 10 градусам Клешией и Овна. Предположим, как и на предыдущем чертеже, что точка А представляет место, в котором находится центр эпицикла, когда он будет на 10 градусах Клешией, а Γ — место его, когда он будет на 10 градусах Овна; точка В представляет центр зодиака, а Z — та, около которой центр эксцентра совершает свое движение против последовательности знаков. И пусть сначала требуется найти, насколько от точки В отстоит центр, 276

вокруг которого, как мы сказали, совершается равномерное движение эпицикла в направлении последовательности знаков.

Пусть этой точкой будет Н; проведем через Н прямую под прямым углом к АГ, чтобы она отстояла на четверть окружности от апогея. В соответствии с приведенными наблюдениями возьмем на ней центр Θ эпицикла, ибо в этих наблюдениях среднее положение Солнца на 10 градусах Рака отстояло от апогея на четверть окружности. Опишем вокруг Θ эпицикл КΛ, проведем из В к нему касательные ВК и ВΛ и соединительные прямые ΘК, ΘΛ и ВΘ. Теперь, так как в рассматриваемом среднем положении наибольшее утреннее отклонение от среднего согласно предположению равнялось $20\frac{1}{4}$ градусам, а наибольшее вечернее отклонение — $26\frac{1}{4}$ градусам, то угол КВΛ равняется $46;30$ градусам, каких в 277

четырех прямых углах содержится 360° ⁷⁸. Следовательно, его половина, т.е. угол КВΘ, будет равняться $46;30$ таким градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах. Таким образом, стоящая на прямой ΘК дуга будет равна $46;30$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника

В Θ К окружности имеется 360; стягиваемая же ею прямая Θ К будет равна 47;22 частям, каких в гипотенузе В Θ содержится 120. Следовательно, если радиус Θ К эпицикла равняется 39;9, а ВZ, как показано, 10;25, то в прямой В Θ таких частей будет 99;9⁷⁹.

Далее, так как разность упомянутых наибольших отклонений составляет 6 градусов и дважды содержит величину разности, соответствующей зодиакальной аномалии⁸⁰, а последняя определяется углом В Θ Н, как это было нами показано, то угол В Θ Н будет равняться 3 таким градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, и 6 градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах. Таким образом, стягиваемая прямой ВН дуга будет равняться 6 градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ВН Θ , содержится 360, а сама прямая ВН будет равна 6;17 частям, каких в гипотенузе В Θ содержится 120. И, следовательно, если в прямой В Θ будет 99;9 частей, а в ВZ — 10;25, то в ВН таких частей
278 будет 5;12. Следовательно, ВН будет приблизительно равна половине от ВZ, и каждая из ВН и НZ равна приблизительно 5;12 частям, каких в радиусе эпицикла будет 39;9.

Затем на той же фигуре [рис. 9.7] проведем через Z в противоположную Н Θ сторону прямую ZMN, перпендикулярную к АГ. На этой прямой будет, конечно, находиться центр [М] того эксцента, на котором лежит центр Θ эпицикла, так как прямые Н Θ и ZN вследствие одновременности и направленности в противоположные стороны своих движений вместе вернутся к общей начальной точке. Положим ZN равной ZA, так что ZN и AZ будут складываться из радиуса эксцента и расстояния между центрами этого [подвижного] эксцента и точкой Z. Возьмем на проведенной прямой [ZN] центр эксцента, пусть это будет М, затем соединим Z Θ .
279

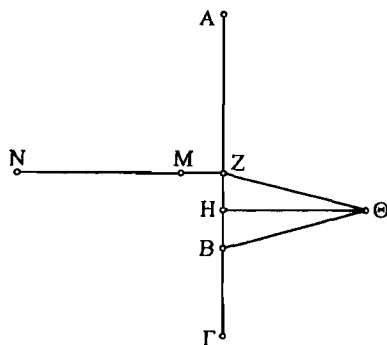


Рис. 9.7

Теперь так как угол MZN прямой, а Θ ZN почти не отличается от прямого, то и линия NZ Θ почти не будет отличаться от прямой. Но было доказано, что если радиус эпицикла имеет 39;9 частей, то прямая NZ, равная AZ, будет содержать 109;34, а Z Θ , равная В Θ , — 99;9 таких же частей. И вся прямая NZ Θ будет равна 208;43 частям, а ее половина NM, представляющая радиус эксцента, будет приблизительно равна 104;22, а остаток ZM — расстояние между центрами — 5;12 частям. Но было показано, что каждая из прямых ВН и НZ равна 5;12 таким же частям. Следовательно, у нас получается, что если радиус эксцента равняется 104;22, то каждая из прямых между центрами будет равна 5;12, а радиус эпицикла 39;9. Таким образом, если положить радиус эксцента равным 60, то каждая из прямых между центрами будет равна 3;0, а радиус эпицикла 22;30. Это и требовалось показать.

При таких предположениях будут соответствовать наблюдениям и наибольшие отклонения в наиболее близких к Земле местах, а именно когда среднее положение Солнца будет приходиться на 10 градусов Водолея

или Близнецов и отстоять от апогея на угол, соответствующий стороне правильного треугольника; угол, под которым мы видим эпицикл, составляет приблизительно $47\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусов, что мы можем показать следующим образом⁸¹. 280

Пусть АВГДЕ представляет диаметр, проходящий через апогей [рис. 9.8]; предположим, что точка А — место апогея, а В — та точка, вокруг которой центр подвижного эксцентрического круга совершает обращения против последовательности знаков. Пусть Г будет точкой, вокруг

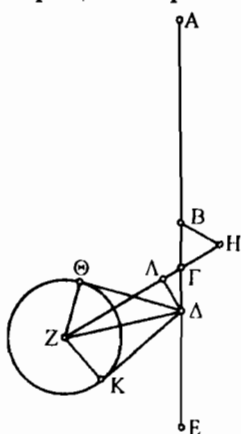


Рис. 9.8

которой движется в направлении последовательности знаков центр эпицикла, а точка Δ — центр зодиака. Пусть в обоих движениях, совершающихся равномерно вокруг своих центров в противоположные стороны, будут пройдены от апогея А углы, соответствующие сторонам правильного треугольника [т.е. 120 градусам]. Пусть ГZ будет прямая, ведущая эпицикл, а ВН — ведущая центр эксцентра. Пусть Н будет центром эксцентра, а Z — эпицикла; описав около него эпицикл, проведем ΔΘ и ΔK — касательные к эпициклу. Затем проведем соединительные прямые ΓН, ΔZ, ZΘ, ZK и из Δ опустим на ГZ перпендикуляр ΔΛ. Требуется показать, что угол ΘΔK будет равен $47\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ таким градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360. 281

Так как каждый из углов АВН и АГΛ стягивает сторону правильного треугольника и равен 120 градусам, каких в двух прямых углах будет 180, то каждый из углов ГВН и ΔГΛ будет содержать по 60 таких же градусов. Но угол ВНГ равен ВГН, ибо ВГ предполагается равной ВН, а оба остальные угла, дополняющие до двух прямых углов, вместе взятые, составляют 120 градусов, так что каждый из них будет равен 60 таким же градусам. Следовательно, треугольник ВГН будет и равноугольным, и равносторонним. Но угол ΔГΛ равен ВГН; значит, точки Н, Г, Z будут лежать на одной прямой. Таким образом, НZ, представляющая радиус эксцентра, будет равна 60 частям, каких прямая ГН, равная ГΔ — расстоянию между центрами, содержит 3, а ГZ — остаток — 57 таких же частей.

Далее, так как угол ΔГΛ равен 60 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, или 120 таким, 360 которых составляют два прямых угла, то дуга, стоящая на прямой ΔΛ, будет иметь 120 градусов, каких в описанной около прямоугольного треугольника ГΔΛ окружности содержится 360, а дуга на ГΛ будет равна дополняющим до полуокружности 60 градусам. Следовательно, из стягивающих их прямых ΔΛ будет равна 103;55 частям, каких в гипотенузе ГΔ содержится 120, а ГΛ равна 60 таким же частям. Таким образом, если прямая ΔГ равна 3, а ГZ — 57, то в ΔΛ таких единиц будет 2;36, в ГΛ — 1;30 и в ΔZ после вычитания [ГΛ из ГZ] — 55;30. И так как квадраты на ней и на ΔΛ дают после сложения квадрат на ΔZ, то длина ΔZ будет равна 55;34 частям⁸², каких в радиусе эпицикла, т.е. в каждой из прямых ZΘ и ZK, предполагалось 22;30. Следовательно, если положить гипотенузу ΔZ равной 120, то каждая из ΘZ и ZK будет равна 48;35 таким частям и каждый из углов ZΔΘ и ZΔK будет иметь 282

по 47;46 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360. Таким образом, весь угол $\Theta\Delta K$ будет иметь 47;46 градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360. Это и требовалось доказать.

10. Об исправлении периодических движений Меркурия

Вслед за этим нам нужно определить периодические движения Меркурия и их начальные эпохи. Что касается долготы, т.е. равномерного движения эпицикла вокруг точки Г, то мы сразу будем иметь их заданными по солнечным. Эпоху же аномалии, т.е. движения светила по эпициклу вокруг его центра, мы возьмем из двух бесспорных наблюдений, одно из которых будет из записанных нами и одно — из древних.

Мы наблюдали планету Меркурий во 2 году Антонина, или в 886 году после Набонассара, в египетском месяце Эпифи, со 2-го на 3-е число. Наблюдение было произведено при помощи астролябии, причем Меркурий еще не дошел до своего наибольшего вечернего отклонения. По сравнению со звездой на груди Льва Меркурий оказался находящимся на $17\frac{1}{2}$ градусах Близнецов; он тогда на $1\frac{1}{6}$ градус шел позади центра Луны. Соответствующее время в Александрии было — за $4\frac{1}{2}$ равноденственных часа до полуночи, [со 2-го] на 3-е число, так как по астролябии в меридиане стоял 12 градус Девы, а Солнце находилось на 23

градусе Тельца⁸³. Но согласно доказанному в этот час среднее место Солнца находилось на 22;34 градусах Тельца, а [среднее место] Луны — на 12;14 градусах Близнецов; отсчитываемая от апогея эпицикла аномалия [Луны] равнялась 281;20 градусу; таким образом, из этого истинное положение центра Луны получается на 17;10 градусах Близнецов, а видимое — на 16;20⁸⁴. Следовательно, поскольку планета Меркурий отставала от центра Луны на $1\frac{1}{6}$ градус, ее положение было на $17\frac{1}{2}$ градусах Близнецов.

Установив это, возьмем проходящий через апогей и перигей⁸⁵ диаметр АВГΔЕ [рис. 9.9]. Пусть точка А будет местом апогея, а В — точкой, вокруг которой обращается против последовательности знаков центр эксцентрического круга, Г — точкой, вокруг которой обращается центр эпицикла в направлении последовательности [знаков], и, наконец, Δ — центром зодиака. Пусть сначала центр эпицикла

З в движении вокруг точки Г был передвинут прямой ГZ на угол АГZ; вокруг же точки В центр Н эксцентрического круга был передвинут прямой ВН на угол АВН, который, конечно, вследствие одинаковости времен обращения будет всегда равным углу АГZ. Вокруг Z опишем эпицикл ОКА, и предположим, что светило находится в Λ. Проведем соединительные прямые ГН, НZ, ΔZ, ZΛ и ΔΛ; на продолженную прямую ГZΘ опустим

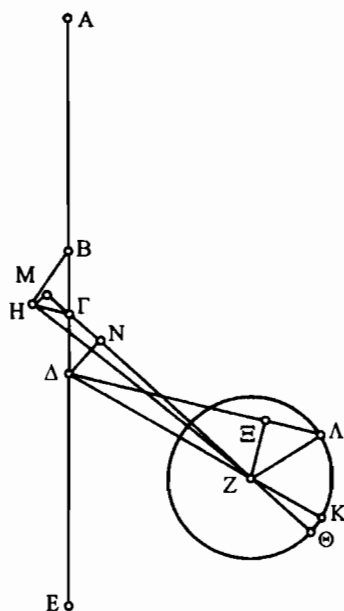


Рис. 9.9

из Н и Δ перпендикуляры НМ и ΔN , а из Z на $\Delta\Lambda$ перпендикуляр ZЕ. Пусть требуется определить дугу эпицикла от апогея Θ до планеты Λ ⁸⁶.

Так как среднее положение Солнца было тогда на 22;34 градусах Тельца, а перигей планеты находился приблизительно на 10 градусах Овна⁸⁷, так что среднее ее положение по долготе отстояло от перигея на 42;34 градуса, то угол ГВН должен равняться 42;34 градусам, каковых в четырех прямых углах содержится 360, или 85;8 таким, каковых 360 будет в двух прямых углах. Тогда вследствие того, что ВГ всегда равна ВН, каждый из углов ВНГ и ВГН содержит по 137;26 таких же градусов. Таким образом, если мы опишем около треугольника ВГН окружность, то стягиваемая прямой НГ дуга будет равна 85;8 градусам, каковых во всей окружности будет 360, а дуга на ВГ равна 137;26 таким же градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых одна ГН будет равна 81;10 части, каковых в диаметре круга будет 120, а другая ВГ — 111;49 таким же частям. Таким образом, если прямая ВГ равна 3, то ГН будет равна 2;11. 286

Затем, поскольку угол ВГН равен 137;26 градусам, каковых в двух прямых углах будет 360, а угол ВГМ равен 85;8 таким же градусам, то угол НГМ составит остающиеся 52;18 градуса. Таким образом, дуга на прямой НМ будет равна 52;18 градусам, каковых описанный около прямоугольного треугольника ГНМ круг содержит 360, а дуга на ГМ равна недостающим до полуокружности 127;42 градусам. Следовательно, из прямых, стягиваемых ими, НМ будет равна 52;53 частям, каковых в гипотенузе ГН содержится 120, а ГМ равна 107;43 таким же частям. Таким образом, если прямая ГН равна 2;11, а радиус эксцентра, несущего эпицикл, равен 60, то в прямой НМ таких частей будет 0;58, а в ГМ — 1;58. Вследствие этого прямая МZ, на незаметную величину отличающаяся от гипотенузы НZ, будет равна 60 таким же частям, а остаток — прямая ГZ — равна 58;2.

Точно так же, если угол ΔGN равен 85;8 градусам, каковых в двух прямых углах будет 360, то стоящая на ΔN дуга будет содержать 85;8 градусов, каковых в описанном около прямоугольного треугольника ΔGN круге содержится 360, а стоящая на ГН будет равна недостающим до полуокружности 94;52 градусам. Таким образом, из прямых под ними ΔN будет равна 81;10 части, каковых в гипотенузе ΔG содержится 120, а ГН равна 88;23 таким же частям. Следовательно, если ΔG равна 3, а ГZ согласно доказанному 58;2, то в ΔN таких частей будет 2;2, в ГН — 2;13, а в NZ после вычитания [ГН из ГZ] 55;49. Вследствие этого гипотенуза ΔZ будет равна приблизительно 55;51 частям⁸⁸, каковых и в радиусе эпицикла будет 22;30. Отсюда, если гипотенуза ΔZ равна 120, то в ΔN таких частей будет 4;22, а в стоящей на ней дуге 4;11 градуса, каковых описанный около прямоугольного треугольника ΔZN круг содержит 360. Таким образом, угол ΔZN будет равен 4;11 градусам, каковых в двух прямых углах содержится 360, а весь угол $E\Delta Z$ равен 89;19⁸⁹. Но также и весь угол $E\Delta\Lambda$ равен 135 таким градусам, ибо планета тогда усматривалась на 67;30 градусах от перигея, а угол $Z\Delta\Lambda$ равен остающимся 45;41 градусам. Следовательно, дуга на прямой ZЕ будет равна 45;41 градусам, каковых в описанной около прямоугольного треугольника ΔZE окружности будет 360; сама же прямая ZЕ равна 46;35 частям, каковых в гипотенузе ΔZ содержится 120. Таким образом, если прямая ΔZ равна 55;51, а радиус $Z\Lambda$ эпицикла — 22;30, то 287

288

280

Установив это, возьмем снова чертеж [рис. 9.10], подобный предыдущему, но только вследствие различия положений углы $[AGZ, ABH]$ у апогея А следует начертить острыми, а прямые $[Z\Delta, \Delta\Lambda]$, соединяющие с планетой точки $[Z, \Delta]$, взять против последовательности знаков относительно [центра] эпицикла и перпендикуляр $Z\Xi$ провести за радиусом эпицикла $Z\Lambda$ ⁹⁵.

Так как среднее положение планеты отстояло на 44;50 градуса от апогея⁹⁶, то угол АВН равнялся 44;50 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или же 89;40 таким, 360 которых содержится в двух прямых углах. Таким образом, остающийся угол ГВН будет равняться 270;20 градусам, а каждый из углов ВГН и ВНГ — 44;50 таким же градусам. На

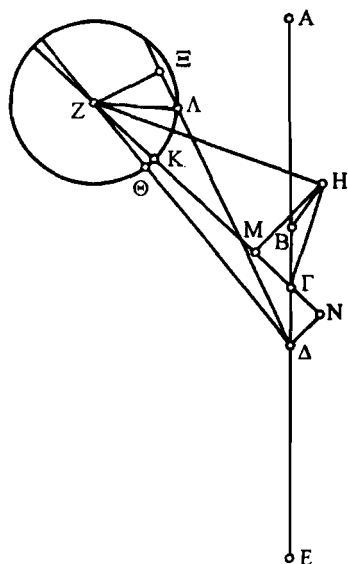


Рис. 9.10

основании тех же рассуждений из стягивающих их прямых ГН будет равна 84;36 частям, каких в диаметре описанного около треугольника ВГН круга содержится 120, а каждая из прямых ВГ и ВН равна 45;46 таким же частям. Следовательно, если каждая из прямых ВГ и ВН равна 3, то ГН будет равна 5;33 таким же частям. Затем, поскольку угол АГЗ предполагается равным 89;40 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а угол ВГН — 44;50 и весь угол ЗГН получается равным 134;30, то стоящая на НМ дуга равняется 134;30 таким градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ГНМ, будет 360, а дуга на ГМ будет равна недостающим до полуокружности 45;30 градусам. Значит, у соответствующих им прямых в МН будет 110;40 частей, каких в гипотенузе ГН имеется 120, а в ГМ — таких же 46;24. Таким образом, если ГН равна 5;33, т.е. если радиус ЗН эксцентра равен 60, то в НМ таких частей будет 5;7, а в ГМ — 2;10. Поэтому ЗМ получится по длине равной 59;47, а вся ЗМГ — 61;57 такой же части⁹⁷.

Точно так же, если угол ΔГН равен 89;40 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, то дуга на ΔН равняется 89;40 градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ГΔН, имеется 360, а дуга на ГН равна недостающим до полуокружности 90;20 градусам. Следовательно, из стягивающих их прямых ΔН равна 84;36 частям, каких в гипотенузе ГΔ содержится 120, а ГН будет равна 85;6. Таким образом, если прямая ГΔ равна 3, то ΔН будет равна 2;7, ГН — 2;8 и вся ЗГН — 64;5. Вследствие этого гипотенуза ЗΔ будет равна 64;7 таким же частям⁹⁸. Отсюда, если прямую ЗΔ принять за 120, то ΔН будет равна 3;58, и в стоящей на ней дуге будет 3;48 градуса, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ЗΔН, содержится 360. Таким образом, угол ΔЗН будет иметь 3;48 градуса, каких в двух прямых углах содержится 360, а так как АГЗ равнялся 89;40, то остаток АΔЗ равен 85;52⁹⁹. Но угол АΔΔ предполагается равным 54;40 таким же градусам вследствие того, что светило при наблюдениях отстояло от апогея на 27;20 градусов, так что и остающийся угол ЗΔΔ будет содержать 31;12 такой градус¹⁰⁰, каких 360 будет в двух прямых углах. Следовательно, стоящая на ЗЕ дуга будет равна 31;12 градусу, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ЗΔЕ, будет 360, сама же прямая ЗЕ будет равна 32;16 частям, каких в гипотенузе ΔЗ содержится 120. Поэтому, если в прямой ΔЗ будет 64;7 части, иными словами, в радиусе ЗΔ эпицикла — 22;30, то в прямой ЕЗ таких частей будет 17;15, а каких частей в гипотенузе ЗΔ имеется 120, таких в прямой ЗЕ будет приблизительно 92. Таким образом, стоящая на ЗЕ дуга будет равна 100;8 градусам¹⁰¹, каких в окружности около прямоугольного треугольника ЗΔЕ содержится 360; угол же ЗΔЕ будет равен 100;8 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Но доказано, что угол ЗΔΔ содержит 31;12 такой же градус, а ΘЗК — 3;48. Следовательно, остающийся угол КЗΔ будет иметь 65;8 градусов¹⁰², каких в двух прямых углах содержится 360, или 32;34, каких 360 будет в четырех прямых углах.

Итак, согласно этому наблюдению планета отстояла от перигея К эпицикла на 32;34 градуса, а от апогея, конечно, на 212;34 градусов. Во

время же нашего наблюдения было показано, что планета находилась на $99;27$ градусах от апогея эпицикла. Промежуток по времени между обоими наблюдениями составляет 402 египетских года, 283 дня и приблизительно $13\frac{1}{2}$ часов. Это время содержит 1268 целых возвращений аномалии планеты, так как 20 египетских годов содержат приблизительно 63 периода, а в 400 годах их будет заключаться 1260, остальные же 2 года вместе с добавочными днями содержат еще целых 8 оборотов¹⁰³. Таким образом, мы выяснили, что в течение 402 египетских годов, 283 дней и $13\frac{1}{2}$ часов Меркурий, кроме 1268 целых восстановлений аномалии, прошел дополнительно $246;53$ градусов, на которые его положение в наше время превышало предшествующее. Примерно такая же прибавка градусов получается и по приведенным выше нашим таблицам. Действительно, на основании их мы производили исправления периодических движений Меркурия, обращая заданный промежуток времени в дни, а полные обороты аномалии вместе с добавкой — в градусы. Разделив количество градусов на число дней, мы получаем среднее дневное движение аномалии Меркурия, приведенное выше¹⁰⁴.

11. Об эпохе периодических движений Меркурия

Чтобы получить начальные положения пяти планет для первого года Набонассара, в полдень 1-го числа египетского месяца Тот, как мы это сделали для Солнца и Луны, мы взяли промежуток между этим моментом и более древним из наблюдений, которое ближе к нему¹⁰⁵. Он получается равным 483 египетским годам, 17 дням и 18 часам¹⁰⁶ приблизительно. Этому времени соответствует прибавление среднего движения аномалии $190;39$ градусов. Если мы вычтем [последнее] из получающихся по наблюдению $212;34$ градусов расстояния от апогея, то для первого года Набонассара, в полдень 1-го числа египетского месяца Тот мы получим начальное значение аномалии $21;55$ градус от апогея эпицикла, [среднюю] долготу, одинаковую с Солнцем, т.е. $0;45$ градусов Рыб, апогей эксцентра на $1\frac{1}{6}$ градусе Клешней, поскольку $\frac{1}{100}$ доля для вышеприведенного числа годов составит приблизительно $4\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градуса. Действительно, именно на такую величину полученные в нашем наблюдении 6 градусов Клешней превышают $1\frac{1}{6}$ градус.

Книга X

1. Определение положения апогея планеты Венера

296

Выше мы изложили гипотезы о движении планеты Меркурий, определили величины аномалий, дали количественную характеристику периодических движений и начальные эпохи. Что касается планеты Венера, то мы опять прежде всего исследуем, на каких градусах круга, проведенного через середины зодиакальных созвездий, находятся апогей и перигей эксцента на основании одинаковости наибольших отклонений в одну и ту же сторону¹. Для этого мы не имеем древних наблюдений, которые можно было бы точно соединить в пару одно с другим; все это исследование мы провели на основании наблюдений, сделанных нами.

Среди записей, оставленных нам математиком Теоном, мы нашли наблюдение, записанное им в 16 году Адриана, в ночь с 21-го на 22-е число египетского месяца Фармути; в нем он говорит, что в вечернем наибольшем расстоянии от Солнца планета Венера была впереди середины Плеяд на их длину; при этом она наблюдалась совершающей свой путь немного южнее этих звезд². Поскольку тогда середина Плеяд по отношению к нашим начальным точкам находилась на 3 градусах Тельца, а их длина составляет приблизительно $1\frac{1}{2}$ градус, Венера тогда, очевидно, находилась на $1\frac{1}{2}$ градусе Тельца. Так как среднее Солнце находилось тогда на $14\frac{1}{4}$ градусах Рыб, то наибольшее ее вечернее расстояние было равным $47\frac{1}{4}$ градусам³.

297

В 4 году Антонина⁴, в ночь с 11-го на 12-е число египетского месяца Тот мы наблюдали утреннюю Венеру в наибольшем расстоянии от Солнца; от звезды на среднем колене Близнецов она отстояла к северу и востоку на $\frac{1}{2}$ диаметра Луны⁵. Упомянутая неподвижная звезда находилась тогда, по-нашему, на $18\frac{1}{4}$ градусах Близнецов, так что положение Венеры пришлось приблизительно на $18\frac{1}{2}$ градусов; среднее же положение Солнца было на $51\frac{1}{4}$ градусах Льва. Следовательно, наибольшее утреннее расстояние оказалось тогда равным тем же самым $47\frac{1}{4}$ градусам⁶. Так как, по первому наблюдению среднее положение было на $14\frac{1}{4}$ градусах Рыб, а по второму — на $51\frac{1}{4}$ градусах Льва, то середина расстояния между ними по зодиаку попадает на 25 градусов Тельца и также Скорпиона; через эти точки и должен проходить диаметр эксцента между перигеем и апогеем.

Точно так же в наблюдениях Теона мы находим, что в 12 году Адриана, в ночь с 21-го на 22-е число египетского месяца Атир утренняя Венера находилась в наибольшем расстоянии от Солнца, отставая от звезды на конце южного крыла Девы на длину Плеяд, или на эту же длину, уменьшенную на собственный диаметр планеты; при этом планета

298

наблюдалась движущейся к северу на расстоянии 1 Луны⁷. Так как упомянутая звезда находилась тогда, по-нашему, на $28\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ градусах Льва, то Венера находилась тогда приблизительно на $\frac{1}{3}$ первого градуса Девы, а среднее положение Солнца было на $17\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{30}$ градусах Весов, так что наибольшее утреннее расстояние от среднего положения оказалось тогда равным $47\frac{1}{2}\frac{1}{30}$ градусам⁸.

В 21 году Адриана, вечером с 9-го на 10-е число египетского месяца Мехир мы наблюдали Венеру в наибольшем расстоянии от Солнца; она была приблизительно на $\frac{2}{3}$ диаметра Луны впереди самой северной звезды из четырех в четырехугольнике, которая идет за следующей, находящейся на прямой линии с [двумя] звездами в паху Водолея; при этом Венера казалась заслоняющей указанную звезду⁹.

Так как упомянутая неподвижная звезда, по-нашему, находилась на 20 градусах Водолея, то вследствие этого Венера была на $19\frac{3}{5}$ градусах¹⁰; среднее же положение Солнца было на $21\frac{1}{15}$ градусах Козерога, и поэтому наибольшее вечернее расстояние оказалось равным тем же самым $47\frac{1}{2}\frac{1}{30}$ градусам¹¹. И середины расстояний по зодиаку между $17\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{30}$ градусами Весов в первом наблюдении и $21\frac{1}{15}$ градусами Козерога второго наблюдения приходятся опять приблизительно на 25 градусов Скорпиона и Тельца¹².

2. О величине эпицикла Венеры

Итак, в наше время апогей и перигей эксцентра находятся на 25 градусах Тельца и Скорпиона, как было установлено нами при помощи вышеуказанного. В соответствии с этим мы опять отыскивали получающиеся наибольшие расстояния от средних положений Солнца, которые имели место на 25 градусах Тельца и Скорпиона¹³.

В переданных нам наблюдениях Теона мы находим, что в 13 году Адриана, в ночь со 2-го на 3-е [число месяца] Эпифи, утром Венера находилась в наибольшем расстоянии от Солнца на $12\frac{1}{5}$ градусе, предшествуя прямой, проведенной через переднюю из трех звезд в голове Овна и звезду на его же заднем бедре, причем расстояние ее до передней звезды в голове было в два раза больше расстояния до бедра. Тогда передняя из трех звезд в голове Овна находилась, по-нашему, на $63\frac{1}{5}$ градусах и была на $7\frac{1}{3}$ градусов севернее средней линии зодиака. Звезда же на заднем бедре Овна находится на $14\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах и была на $5\frac{1}{4}$ градусов южнее средней линии зодиака¹⁴. Следовательно, Венера находилась на $103\frac{3}{5}$ градусах Овна и была на $1\frac{1}{2}$ градус южнее средней линии зодиака. Таким образом, поскольку среднее положение Солнца находилось тогда на $25\frac{2}{5}$ градусах Тельца, наибольшее расстояние от среднего положения получается равным $444\frac{4}{5}$ градусам¹⁵.

В 21 году Адриана, вечером со 2-го на 3-е число египетского месяца Тиби мы наблюдали Венеру в наибольшем расстоянии от Солнца; сравнивая ее положение относительно звезд на рогах Козерога, мы установили, что она находилась на $12\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ его градусах¹⁶, тогда как среднее положение Солнца было на $25\frac{1}{2}$ градусах Скорпиона, так что наибольшее ее расстояние от среднего положения оказалось равным $47\frac{1}{3}$ градусам¹⁷; вследствие этого

стало ясно, что апогей будет на 25 градусах Тельца, а перигей на 25 градусах Скорпиона. И нам стало ясным, что эксцентрический круг, несущий эпицикл Венеры, будет неподвижным, потому что во всех других местах средней линии зодиака сумма обоих наибольших отклонений в ту и другую сторону от среднего положения оказывалась не меньше суммы, которая получалась для положений в Тельце, и не больше суммы, которая была в Скорпионе¹⁸.

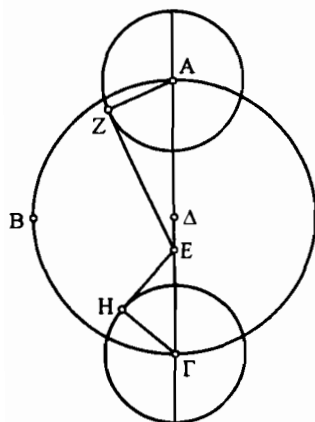


Рис. 10.1

Установив это, возьмем эксцентрический круг АВГ, по которому всегда движется эпицикл Венеры [рис. 10.1]. Пусть АГ будет его диаметром, на котором в точке Δ предположим находящимся центр эксцентра, а в Е — центр зодиака; пусть точка А будет соответствовать 25 градусам Тельца. Вокруг точек А и Г опишем равные эпициклы с точками Z и H; проведя касательные EZ и EH, соединим прямыми AZ и ГН. Так как теперь находящийся в центре зодиака угол AEZ стягивает наибольшее расстояние планеты в апогее, предполагаемое равным $44\frac{4}{5}$ градусам, то он равняется

44;48 градусам, каких четыре прямых угла содержат 360, или 89;36, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, стоящая на прямой AZ дуга будет равна 89;36 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника AEZ содержится 360; находящаяся же под ней прямая AZ будет равна приблизительно 84;33 частям, каких в гипотенузе AE содержится 120. Точно так же, поскольку угол GEN стягивает наибольшее расстояние в перигее, предполагаемое равным $47\frac{1}{3}$ градусам, он будет равен 47;20 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 94;40, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на ГН будет равна 94;40 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника GEN содержится 360; находящаяся же под ней прямая ГН будет равна приблизительно 88;13 частям, каких в гипотенузе EG будет 120. И, следовательно, если радиусы ГН или AZ эпицикла равны 84;33, а прямая AE — 120, то EG будет иметь 115;1 таких частей¹⁹, а вся АГ, конечно, — 235;1, половина ее, АД, — приблизительно 117;30; остаток же ДЕ между центрами будет равен 2;29. Если радиус АД эксцентра взять за 60 частей, то в расстоянии ДЕ между центрами таких частей будет приблизительно $1\frac{1}{4}$, а радиус AZ эпицикла будет их иметь $43\frac{1}{6}$ ²⁰.

3. Об отношениях эксцентриситетов планеты Венера

Так как не вполне ясно, будет ли равномерное движение эпицикла совершаться вокруг точки Δ, то мы и здесь выбрали два наибольших расстояния в противоположные стороны, причем среднее положение Солнца в обоих случаях отстояло на четверть круга от апогея²¹. Одно из них мы наблюдали в 18 году Адриана, в ночь со 2-го на 3-е число египетского месяца Фармути; Венера утром находилась в наибольшем расстоянии от Солнца. Если сравнить ее положение со звездой, называемой Антарес, то она была на $11\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$ градусах Козерога; среднее положение Солнца было

тогда на $25\frac{1}{2}$ градусах Водолея, так что утреннее наибольшее отклонение от среднего положения составляло $43\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ градуса²².

Второе положение мы наблюдали в 3 году Антонина, вечером с 4-го на 5-е число египетского месяца Фармути, когда Венера была в наибольшем расстоянии от Солнца. Согласно произведенному сравнению ее положения с самой блестящей из Гиад она находилась на $13\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ градусах Овна, а среднее положение Солнца было тоже на $25\frac{1}{2}$ градусах Водолея. Таким образом, и здесь наибольшее вечернее отклонение от среднего положения оказалось равным $48\frac{1}{3}$ градусам²³.

Установив это, возьмем диаметр АВГ эксцентра [рис. 10.2], проходящий через апогей и перигей; предположим, что точка А находится под 25 градусом Тельца, а В будет центром зодиака. Поставим себе задачей определить центр, вокруг которого, как мы сказали, совершается равномерное движение эпицикла. Пусть он будет в точке Δ; проведем через него ΔЕ, перпендикулярную к АГ, чтобы среднее положение

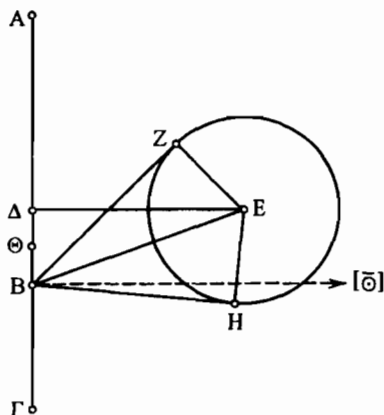


Рис. 10.2

эпицикла отстояло от апогея на четверть окружности, как в наблюдениях. Возьмем согласно вышеупомянутым наблюдениям на этом перпендикуляре центр Е эпицикла; описав около него эпицикл ZH, проведем из В к последнему касательные ВZ и ВH и соединительные прямые BE, EZ и EH.

Так как в рассматриваемом среднем положении наибольшее утреннее расстояние предполагается равным $43\frac{1}{2}\frac{1}{12}$ градусам, а вечернее — $48\frac{1}{3}$ градусам, то весь угол ZBH должен равняться $91;55$ градусу, каких в четырех прямых углах будет 360^{24} . Следовательно, половина его — угол ZBE — будет равен тоже $91;55$ градусу, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга EZ будет равна $91;55$ градусу, каких в окружности около прямоугольного треугольника BEZ содержится 360; сама же прямая EZ будет равна $86;16$ частям, каких в гипотенузе BE имеется 120. Следовательно, если радиус EZ эпицикла равен $43;10$ частям, то в прямой BE таких частей будет $60;3$.

Далее, так как разность упомянутых наибольших расстояний, равная $4;45$ градусам, дважды содержит разность, соответствующую в этой точке зодиакальной аномалии и измеряющуюся углом BED²⁵, то угол BED должен равняться $2;22,30$ градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $4;45$ таким, 360 которых будет в двух прямых углах. Таким образом, стоящая на BD дуга будет равна $4;45$ градусам, каких в окружности около прямоугольного треугольника BDE имеется 360, сама же прямая BD будет равна приблизительно $4;59$ частям, каких в гипотенузе имеется 120. Если прямая BE равна $60;3$, а радиус эпицикла — $43;10$, то в BD таких частей будет приблизительно $2\frac{1}{2}$. Но было доказано, что прямая между центром В зодиака и центром эксцентрического круга, на которой будет всегда находиться центр эпицикла, составляет $1\frac{1}{4}$ такую же часть, так что она будет половиной BD. Следовательно, если мы разделим BD пополам в

что планета находится в точке К, проведем соединительные прямые ΔK и ZK и опустим перпендикуляр ZN . Поставим задачей определить дугу ΘK , на которую планета отстоит [в момент наблюдения] от апогея Θ эпицикла³³.

Так как угол EBZ равен $27;9$ градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или $54;18$ градусам, 360 которых равны двум прямым углам, то стоящая на $ГЛ$ дуга будет равна $54;18$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника $ВГЛ$ окружности содержится 360 , а дуга на $ВЛ$ равна остающимся до полуокружности $125;42$ градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых $ГЛ$ будет равна $54;46$ частям, каких в гипотенузе $ВГ$ содержится 120 , а $ВЛ$ будет иметь $106;47$ таких же частей. Таким образом, если прямая $ВГ$ равна $1;15$, а радиус $ГЗ$ эксцентра — 60 , то в $ГЛ$ таких частей будет $0;34$, а в $ВЛ$ — $1;7$. Поскольку квадрат на $ЗГ$, уменьшенный квадратом на $ГЛ$, дает квадрат на $ЗЛ$, последняя прямая будет тоже равна приблизительно 60 таким же частям. Но $МЛ$ равна $АВ$, а ΔM вдвое больше $ГЛ$ вследствие того, что $ВГ$ равна $ГЛ$. Таким образом, ZM будет равна остающимся $58;53$ частям, а ΔM — $1;8$ такой же части. Вследствие этого гипотенуза $Z\Delta$ будет тоже приблизительно равна $58;54$. Если прямую $Z\Delta$ положить равной 120 , то ΔM будет равна $2;18$, а стоящая на ней дуга равна $2;12$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ΔZM окружности будет 360 . Таким образом, угол $BZ\Delta$ будет равен $2;12$ градусам, каких в двух прямых содержится 360 , а весь угол $E\Delta Z$ равен $56;30$ таким же градусам. Но угол $E\Delta K$ равен $18;30$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 , ибо именно на такое число градусов планета во время наблюдения предшествовала перигею E , т.е. 25 градусам Скорпиона; если же считать 360 градусов за два прямых угла, то в угле $E\Delta K$ таких градусов будет 37 . Следовательно, весь угол $K\Delta Z$ будет равен $93;30$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360 , а дуга на ZN равна $93;30$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ΔZN окружности будет 360 . Стоящая под ней прямая ZN будет равна $87;25$ частям, каких в $Z\Delta$ содержится 120 ; если положить $Z\Delta$ равной $58;54$, т.е. если радиус ZK эпицикла взять за $43;10$, то в ZN таких частей будет $42;54$. Если гипотенузу ZK взять за 120 , то ZN будет равна $119;18$, а соответствующая ей дуга — $167;38$ градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ZKN окружности имеется 360 ³⁴. И, значит, угол $ZK\Delta$ будет равен $167;38$ градусам, каких в $Z\Delta K$ предполагается $93;30$, а во всем угле KZN — $261;8$. Доказано, что угол $BZ\Delta$ или $HZ\Theta$ равен $2;12$ таким же градусам; следовательно, остающийся угол ΘZK будет равен $258;56$ градусам, каких в двух прямых углах имеется 360 , или $129;28$, каких в четырех прямых углах будет 360 . Таким образом, в рассматриваемое время планета Венера отстояла от апогея Θ эпицикла на полученные $129;28$ градусов в направлении против последовательности знаков; в направлении же последовательности знаков в движении [по эпициклу], соответствующем гипотезам, — на остающиеся от полной окружности $230;32$ градусов, что и требовалось определить.

Из древних наблюдений мы взяли то, которое Тимохарис записывает так: в 13 году Филадельфа, в египетском месяце Месоре, в ночь с 17-го

градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника ΔZN окружности имеется 360; и, следовательно, стоящая под ним прямая ZN будет равна частям, каких в гипотенузе $Z\Delta$ имеется 120. Если же положить гипотенузу равной 58;59, т.е. если радиус ZK эпицикла будет 43;10, то в ZN таких частей будет 39;7. Итак, если гипотенуза ZK равна 120, то в прямой ZN таких частей будет 108;45, а стоящая над ней дуга будет иметь приблизительно 130 градусов, каких описанная около прямоугольного 314 треугольника ZKN окружность содержит 360. Угол ΔKZ будет равен 130 градусам, каких в угле $Z\Delta K$ согласно предположению было 83;2, и весь угол ΘZK будет содержать их 213;2. Но согласно доказанному угол $BZ\Delta$, т.е. $NZ\Theta$, имеет их 2;44; и, значит, весь угол NZK будет иметь 215;46 градусов, каких в двух прямых углах будет 360, или же 107;53 градусов, каких 360 будет в четырех прямых углах³⁹. Таким образом, в рассматриваемое время планета Венера отстояла от апогея H эпицикла в направлении последовательности знаков на 252;7 градуса, недостающих до полной окружности; это и требовалось показать.

Во время же нашего наблюдения планета тоже отстояла от апогея эпицикла на 230;32 градусов; время между двумя наблюдениями содержит 409 египетских годов и приблизительно 167 дней и охватывает 255 полных возвращений аномалии, так как 8 египетских годов равняются приблизительно 5 периодам возвращения, а 408 годов дают 255 периодов; остающийся 1 год вместе с прибавляемыми днями будет меньше времени одного 315 возвращения. Таким образом, мы выяснили, что в течение 409 египетских годов и 167 дней планета Венера, кроме 255 полных возвращений по аномалии, прошла еще по эпициклу 338;25 градусов, на которые ее положение в наше время превосходит имевшееся в первом наблюдении. Примерно такую же добавку по числу градусов дают и приведенные выше таблицы средних движений, если ввести поправку на упомянутое избыточное движение, причем время нужно превратить в дни, а все возвращения вместе с избытком — в градусы. Если число градусов разделить на число дней, то получится данное выше для Венеры среднее дневное движение по аномалии⁴⁰.

5. Об эпохе периодических движений Венеры

Нам остается еще установить эпохи периодических движений, соответствующие полудню 1-го числа египетского месяца Тот в первый год царствования Набонассара; для этого мы опять взяли время, прошедшее от него до более древнего из рассмотренных наблюдений. Это время получается равным 475 египетским годам и приблизительно $346\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ дням. В столбцах для аномалии этому времени соответствует добавление среднего движения, 316 равное приблизительно 181 градусу⁴¹. Если мы отнимем их от 252;7 градусов для этого наблюдения, то для первого года Набонассара и полудня 1-го числа египетского месяца Тот мы получим следующие эпохи: по аномалии — 71;7 градус от апогея эпицикла; для среднего движения по долготе, которое опять предполагается одинаковым с солнечным, — 0;45 градусов Рыб. Ясно, что если во время взятого наблюдения апогей находился на 20;55 градусах Тельца и за промежуточные 476 лет добавилось приблизительно $4\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градуса, то во время, соответствующее рассматриваемой эпохе, апогей должен был находиться на 16;10 градусах Тельца.

6. Предварительные сведения, касающиеся остальных планет

Для двух планет, о которых речь шла выше, а именно для Меркурия и Венеры, при установлении гипотез и определении аномалий мы пользовались описанными методами. Для остальных же трех планет, а именно для Марса, Юпитера и Сатурна, мы взяли только одну гипотезу об их движении, подобную примененной ранее для Венеры, а именно гипотезу, согласно которой эксцентрический круг, по которому всегда перемещается центр эпицикла, имеет своим центром точку, делящую пополам расстояние между центром зодиака и точкой, из которой круговое движение эпицикла представляется равномерным⁴². Для каждой из этих планет при самом общем определении можно показать, что эксцентриситет, получаемый по наибольшей разнице аномалии относительно зодиака, оказывается в два раза больше выведенного по дугам попятного движения в наибольшем и наименьшем расстояниях эпицикла⁴³. Доказательство же, при помощи которых мы устанавливаем величины каждой из аномалий и положения апогеев, никоим образом не могут быть применены к этим планетам тем же способом, каким мы пользовались для двух рассмотренных, вследствие того, что эти планеты могут находиться на любых расстояниях от Солнца и из наблюдений нельзя установить, как это имеет место при наибольших элонгациях Меркурия и Венеры, когда планета находится в точке, где линия нашего зрения касательна к эпициклу. Итак, поскольку это невозможно, мы пользовались наблюдениями их диаметральных положений по отношению к среднему положению Солнца⁴⁴; при их помощи мы прежде всего определяем значения эксцентриситетов и положения апогеев; действительно, только при наблюдении таких положений мы можем найти отдельно зодиакальную аномалию, исключив влияние аномалии относительно Солнца⁴⁵.

Пусть АВГ [рис. 10.5] будет эксцентрическим кругом планеты, по которому перемещается центр эпицикла; пусть Δ будет его центром, а АГ — диаметром, проходящим через апогей. На этом диаметре в точке Е находится центр зодиака, а в Z — точка эксцентра, вокруг которой наблюдается среднее движение эпицикла по долготе. Около точки В опишем эпицикл НӨКЛ и проведем соединяющие прямые ZЛВӨ и НВКЕМ.

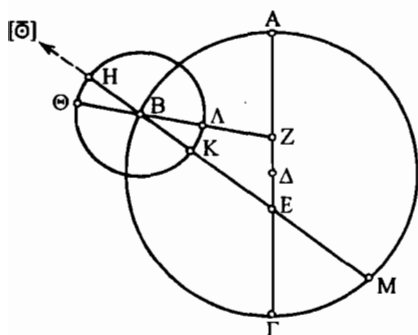


Рис. 10.5

Я утверждаю прежде всего, что когда планета наблюдается по прямой ЕН, проходящей через центр эпицикла В, то среднее положение Солнца будет также всегда находиться на той же прямой, и когда планета находится в Н, она будет в соединении со средним положением Солнца, которое тоже будет наблюдаться в Н; если же планета будет в К, то она будет наблюдаться в точке, диаметрально противоположной Солнцу, усматриваемому в точке М.

Действительно, так как для каждой из этих планет средние расстояния по долготе от апогеев, будучи сложены с аномалиями, дают среднее расстояние Солнца от той же начальной точки⁴⁶, а разность угла при

319 центре Z , определяющего равномерное движение планеты по долготе, и угла при E , определяющего видимое движение⁴⁷, всегда будет равна углу при B , определяющему равномерное движение планеты по эпициклу, то ясно, что при нахождении планеты в точке H до полного возвращения к апогею Θ будет недоставать угла $HB\Theta$, который в соединении с углом AZB , а именно будучи от него отнят, дает угол AEH , определяющий среднее положение Солнца, которое будет тождественным с видимым положением планеты. Когда же планета будет в точке K , то она опять продвинется по эпициклу на угол ΘBK , который, будучи сложен с углом AZB , даст отсчитываемое от апогея среднее перемещение Солнца, содержащее полуокружность и угол AZB без угла ΔBK , иными словами, угол GEM , диаметрально противоположный углу, определяющему видимое положение планеты⁴⁸.

320 Вследствие этого для всех таких конфигураций светил прямая, проведенная из центра B эпицикла к планете, и прямая, проведенная из точки E нашего зрения к среднему положению Солнца, будут совпадать друг с другом в одной и той же прямой. Для всех других отклонений эти линии будут иметь другие направления, оставаясь всегда между собой параллельными.

Действительно, если мы в каком-нибудь положении эпицикла проведем на прилагаемом чертеже [рис. 10.6] прямую BN из точки B к планете, а из точки E — прямую EE к среднему положению Солнца, то на основании вышеизложенного угол AEE будет равен вместе взятым углам $AZ\Theta$ и $NB\Theta$, а угол $AZ\Theta$ — вместе взятым углам AEH и $NB\Theta$. Отняв общий угол AEH , получим, что остающиеся углы HEE и HBN будут равны; следовательно, прямая EE будет параллельна BN ⁴⁹. Поскольку в упомянутых конфигурациях (соединениях и противостояниях), наблюдаемых по отношению к среднему положению Солнца, планета усматривается [на линии, проходящей] через центр эпицикла, как будто она совершенно не имела движения по эпициклу, но располагалась на круге $AB\Gamma$ и, равномерно движимая прямой ZB , совершала круговые обращения, как и центр эпицикла, то становится ясно, что при помощи таких положений можно определить в отдельности зависящие от эксцентриситета числовые отношения зодиакальной аномалии. Но так как соединения недоступны наблюдениям, то остается производить определения при помощи противостояний.

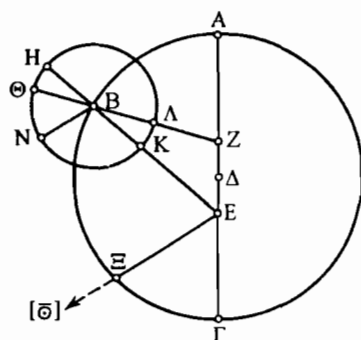


Рис. 10.6

7. Определение эксцентриситета и положения апогея Марса

322 Подобно тому как для Луны, определив места и времена трех полных затмений, мы находим геометрически отношение для аномалии и положения апогея⁵⁰, точно так же теперь, сделав для каждой из рассматриваемых планет возможно более точные наблюдения при помощи астролябии трех противостояний, диаметрально противоположных среднему положению

Солнца, и вычислив по средним положениям Солнца в момент наблюдения место и время противостояния, мы определим величину отношения эксцентриситета и положение апогея⁵¹.

Для первой из этих планет, Марса, мы взяли три противостояния: [1] первое из них мы наблюдали в 15 году Адриана, в ночь с 26-го на 27-е число египетского месяца Тиби, через 1 равноденственный час после полуночи; оно имело место на 21 градусе Близнецов⁵²; [2] второе — в 19 году Адриана, в ночь с 6-го на 7-е число египетского месяца Фармути, за 3 часа до полуночи на 28;50 градусах Льва⁵³; [3] третье же — во 2 год Антонина, в ночь с 12-го на 13-е число египетского месяца Эпифи, за 2 часа до полуночи на 2;34 градусах Стрельца⁵⁴. Промежутки времени между этими противостояниями включают: от первой до второй оппозиции — 4 египетских года, 69 дней и 20 равноденственных часов; от второй до третьей — также 4 года, 96 дней и 1 равноденственный час. Время в первом промежутке содержит сверх полных оборотов 81;44 градус [среднего] движения по долготе, а во втором — 95;28 градусов. Не будет никакой существенной разницы, если средние движения за это время мы вычислим по грубым периодическим возвращениям. Ясно, что за первый промежуток времени планета продвинулась, не считая полных оборотов, на 67;50 градусов, а за второй — на 93;44 градуса⁵⁵.

В плоскости зодиака построим [рис. 10.7] три равные окружности. Пусть несущей центр эпицикла Марса окружностью будет АВГ с центром Δ, эксцентром равномерного движения будет ЕЗН с центром Θ, а гомоцентрическим зодиаку кругом — КЛМ с центром N, и пусть ЭОПР будет проходящим через все эти центры диаметром.

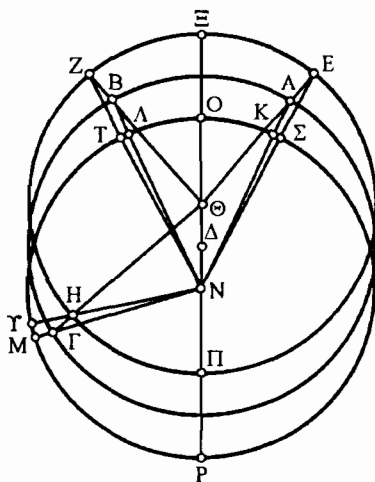


Рис. 10.7

Предположим, что в первом противостоянии центр эпицикла был в точке А, во втором противостоянии — в В и в третьем противостоянии — в Г. Проведем соединительные прямые ΘАЕ, ΘВЗ и ΘНГ, а также НКА, НАВ и НГМ; таким образом, дуга ЕЗ эксцентра содержит 81;44 градус первого промежутка среднего движения, а ЗН — 95;28 градусов второго; дуга КЛ зодиака содержит 67;50 градусов видимого движения в первом промежутке, а ΛМ — 93;44 градуса во втором промежутке. Если бы дуги ЕЗ и ЗН эксцентра стягивались дугами КА и ΛМ зодиака, то нам не понадобилось бы ничего другого для определения эксцентриситета⁵⁶. Поскольку они [дуга КА и дуга ΛМ] стягивают неизвестные дуги АВ и ВГ среднего эксцентра, после

проведения НΣЕ, NTZ и NHΥ дуги ЕЗ и ЗН эксцентра будут стягиваться дугами ΣТ и ТΥ зодиака, которые, конечно, тоже не будут заданными. Сначала следовало бы задать дуговые разности КΣ, ΛТ и ΜΥ, чтобы по связанным дугам ЕЗН и ΣТΥ определить точно отношение эксцентриситета. Поскольку их нельзя точно определить без предварительного знания отношения эксцентриситета и места апогея, их

все же можно задать приблизительно, даже если они не известны точно, так как различия их невелики. Поэтому мы произведем сначала вычисление, как будто не существует никакого заметного различия между дугами $\Sigma\Gamma$, $\Gamma\Upsilon$ и дугами КЛ , ЛМ ⁵⁷.

[I] Действительно, пусть АВГ [рис. 10.8] будет эксцентрическим кругом равномерного движения Марса; предположим, что точка А соответствует 325 первому противостоянию, В — второму и Γ — третьему. Возьмем внутри него центр Δ зодиака, где находится точка нашего зрения, и из трех точек противостояний проведем прямые к точке нашего зрения, а именно $\text{А}\Delta$, $\text{В}\Delta$ и $\Gamma\Delta$. Затем продолжим одну из трех соединяющих прямых до противоположной дуги эксцентра (это будет прямая $\Gamma\text{АЕ}$), остальные же две точки противостояний соединим прямой АВ . Из полученной точки Е сечения эксцентра с продолженной прямой проведем соединяющие прямые к двум остальным точкам противостояний — в нашем случае ЕА и ЕВ . Опустим перпендикуляр на прямые, соединяющие упомянутые две точки с центром зодиака: здесь перпендикуляром на 326 прямую $\text{А}\Delta$ будет ЕZ , а на $\text{В}\Delta$ — ЕН . Из одной из двух упомянутых точек опустим перпендикуляр на прямую, соединяющую другую точку $[\text{В}]$ с полученной дополнительной точкой на эксцентре; на нашем чертеже из точки А на прямую ВЕ опущен перпендикуляр $\text{А}\Theta$.

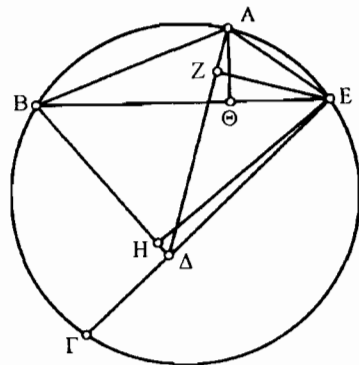


Рис. 10.8

Если мы будем сохранять эти правила построения на подобного рода чертежах, мы обнаружим, что можно добиться тех же самых числовых значений для отношений, как бы мы их ни начертили⁵⁸; все же остальное доказательство на построенных для Марса дугах может быть разъяснено так.

[А] Так как дуга ВГ эксцентра предполагается стягивающей 93;44 градуса зодиака, то центральный угол $\text{В}\Delta\Gamma$ должен был бы равняться 93;44 градусам, 360 которых равняются четырем прямым углам, или 187;28, каких 360 содержится в двух прямых углах, а смежный угол $\text{Е}\Delta\text{Н}$ равнялся бы 172;32 таким же градусам. Поэтому дуга на ЕН будет содержать 172;32 градуса, каких в описанной около прямоугольного треугольника $\Delta\text{ЕН}$ окружности будет 360, а прямая ЕН равна 119;45 частям, каких в гипотенузе $\Delta\text{Е}$ имеется 120. Точно так же, поскольку дуга ВГ равна 95;28 градусам, стоящий на этой дуге угол ВЕГ равняется 95;28 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360. В угле $\text{В}\Delta\text{Е}$ таких градусов будет 172;32; следовательно, угол ЕВН будет равен 92 таким же градусам. Дуга на 327 ЕН равна 92 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ВЕН , будет 360, а прямая ЕН равна 86;19 частям, каких в гипотенузе ВЕ содержится 120. Следовательно, если доказано, что ЕН равна 119;45, а $\text{Е}\Delta$ — 120, то в ВЕ таких частей будет 166;29.

Поскольку вся дуга АВГ эксцентра по предположению стягивает на зодиаке сумму для обоих промежутков, а именно 161;34 градус, угол

АДГ будет равен 161;34 градусу, каких в четырех прямых углах будет 360, а остающийся угол АДЕ — 18;26 таким же градусам, или 36;52, каких 360 будет в двух прямых углах. Следовательно, дуга на EZ будет равна 36;52 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔEZ, будет 360, а прямая EZ равна 37;57 частям, каких в гипотенузе ΔЕ будет 120. Поскольку после сложения дуга АВГ эксцента получается равной 177;12 градусам, угол АЕГ будет равняться 177;12 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Но в угле АДЕ таких градусов было 36;52; значит, остающийся [в треугольнике АДЕ] угол ΔАЕ будет иметь 145;56 таких же градусов. Поэтому дуга на EZ будет равна 145;56 градусам, каких в описанной около прямоугольного треугольника АЕZ окружности будет 360; сама же прямая EZ будет равна 114;44 частям, каких в гипотенузе АЕ имеется 120. И, следовательно, если прямая EZ по доказанному равнялась 37;57, а ЕД — 120 частям, то в АЕ таких частей будет 39;42.

Далее, так как дуга АВ эксцента содержит 81;44 градус, то угол АЕВ равняется 81;44 градусу, каких в двух прямых углах имеется 360. Таким образом, дуга на АΘ равна будет 81;44 градусу, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника АЕΘ, содержится 360, а дуга на ЕΘ — недостающим до полуокружности 98;16 градусам. Из стягивающих их прямых АΘ будет равна 78;31 частям, каких в гипотенузе АЕ содержится 120, а в ЕΘ таких частей будет 90;45. Поэтому если в АЕ согласно доказанному содержится 39;42 частей, а в ΔЕ по предположению — 120, то в ΘА таких частей будет 25;58, а в ЕΘ — 30;2. Во всей же ЕВ таких частей по доказанному будет 166;29; в остатке ΘВ будет 136;27 частей, каких в ΘА имелось 25;58. Квадрат на ΘВ равен 18 615;16⁵⁹, а квадрат на ΘА будет равен 674;16, что после сложения дает квадрат на АВ, а именно 19 289;32. Следовательно, длина АВ будет равна 138;53 таким частям, каких в ЕД было 120, а в прямой АЕ — 39;42. Если диаметр

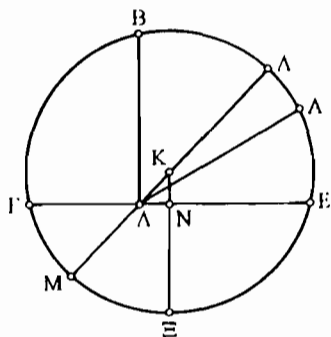


Рис. 10.9

выявилось бы и отношение эксцентриситета. Поскольку же она не равна диаметру, но сегмент ЕАВГ получился большим полукруга, то ясно, что в этот сегмент попадет и центр эксцента. Предположим, что он будет в К; через эту точку и Δ проведем диаметр ЛКΔМ [рис. 10.9], проходящий через оба центра, а из К опустим на ГЕ перпендикуляр КНΕ. Так как

эксцента принять за 120, то в прямой АВ таких частей будет 78;31, ибо она стягивает дугу в 81;44 градус. Следовательно, если в прямой АЕ будет 78;31 частей, а в диаметре эксцента — 120, то в ЕД таких частей будет 67;50, а в АЕ — 22;44. Поэтому стоящая на ней дуга эксцента будет равна 21;41 градусу⁶⁰, а вся ЕАВГ — 198;53 градусам. И, значит, остающаяся дуга ГЕ будет равна 161;7 градусу, а стягивающая ее прямая ГΔЕ равна 118;22 частям, каких в диаметре эксцента будет 120.

[В] Если бы найденная прямая ГЕ была равна диаметру эксцента, то ясно, что на ней оказался бы и центр последнего, а отсюда

³³⁰ согласно доказанному прямая ЕГ равна 118;22 частям, каких в диаметре ЛМ содержится 120, и в прямой ΔЕ было 67;50, то, следовательно, в остатке ΓΔ их будет 50;32. Поскольку прямоугольник на ЕΔ, ΔГ равен прямоугольнику на ЛΔ, ΔМ⁶¹, мы получим, что прямоугольник на ЛΔ, ΔМ будет равен 3427;51. Но прямоугольник на ЛΔ, ΔМ вместе с квадратом на ΔК дает квадрат на половине всей этой прямой, т.е. квадрат на ЛК⁶². Следовательно, если от 3600, получающихся после возведения в квадрат этой половины, мы отнимем произведение ЛΔ и ΔМ, равное 3427;51, то у нас останется квадрат на ΔК, равный 172;9. Тем самым мы получим длину ΔК расстояния между центрами, равную приблизительно 13;7 частям, каких в радиусе КЛ эксцентра имеется 60⁶³.

[С] Далее, так как половина ГЕ, т.е. ГN, равна по доказанному 59;11 частям, каких в диаметре ЛМ содержится 120, а в прямой ΓΔ таких частей ³³¹ будет 50;32, то в остатке ΔN будет 8;39 частей, каких в ΔК найдено 13;7. Поэтому если гипотенузу ΔК взять за 120, то в ΔN таких частей будет 79;8, и стягиваемая ею дуга будет иметь 82;30 градуса, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔKN, будет 360. И, следовательно, угол ΔKN будет иметь 82;30 градуса, каких в двух прямых углах будет 360, или 41;15 градус, 360 которых будет в четырех прямых углах. Так как он будет при центре эксцентра, то мы получим дугу МЕ равной 41;15 градусу. Но вся дуга ГМЕ как половина ГЕЕ равна 80;34; поэтому, получающаяся в остатке дуга ГМ от третьего противостояния до перигея будет равна 39;19 градусам⁶⁴. Ясно, что если дугу ВГ положить равной 95;28 градусам, то остающаяся дуга АВ от апогея до второго противостояния будет равна 45;13 градусам. Если же положить АВ равной 81;44 градусу, то остаток АЛ от первого противостояния до апогея будет равен 36;31 градусам.

[D.1] Считая полученные величины заданными, рассмотрим получаемые на их основании ³³² разности дуг зодиака, которые мы хотим найти для каждого противостояния. Это мы будем делать так⁶⁵. Из чертежа для трех противостояний выделим фигуру, соответствующую только первому противостоянию [рис. 10.10]. Проведя соединительную прямую АΔ, опустим из точек Δ и N перпендикуляры ΔФ и NX на продолжение прямой АΘ. Так как дуга ЭЕ равна 36;31 градусам, то угол ЕΘЕ будет равняться 36;31 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или же 73;2 градусам, 360 которых содержится в двух прямых углах; столько же градусов будет содержаться и в вертикальном угле ΔΘФ. Дуга на ΔФ будет равна 73;2 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔΘФ, содержится 360, а дуга на ΘФ — недостающим до полуокружности 106;58 градусам. Следовательно, из стягивающих эти дуги прямых ΔФ будет равна 71;25 части, каких в гипотенузе ΔΘ имеется 120, а в ФΘ таких частей ³³³ будет 96;27. Таким образом, если прямая ΔΘ равна 6;33,30, а радиус ΔА эксцентра — 60, то в ΔФ таких частей будет 3;54, а в ФΘ — 5;16.

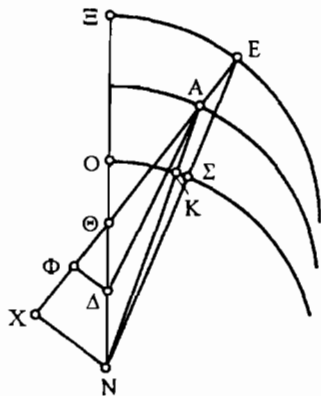


Рис. 10.10

если гипотенузу NZ взять за 120, то в NX таких частей будет приблизительно 16, и стоящая на ней дуга содержит 15;20 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ZNX, будет 360. Таким образом, угол NZX будет равен 15;20 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360; таких же градусов угол NBX имел 16;26; значит, остающийся угол BNZ будет равен 1;6 такому же градусу, или 0;33 градуса, каких в четырех прямых углах содержится 360. Следовательно, столько градусов будет содержать и дуга ЛТ зодиака.

[Е] Так как для первого противостояния мы получили КЭ равной 0;32 градусов, то ясно, что определяемая по эксцентру дуга для первого промежутка будет больше видимой на сумму обоих отрезков, а именно на 1;5 градус, и будет равняться 68;55 градусам⁶⁸.

[D.3] Теперь возьмем чертеж для третьего противостояния [рис. 10.12]. Поскольку дуга ПН предполагается равной 39;19 градусам, то угол ПӨН должен равняться 39;19 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 78;38 градусам, каких 360 дают два прямых угла. Таким образом, дуга на $\Delta\Phi$ будет равна 78;38 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $\Delta\Theta\Phi$, будет 360, а дуга на $\Theta\Phi$ — недостающему до полуокружности 101;22 градусу. Из прямых, стягивающих эти дуги, $\Delta\Phi$ будет равна 76;2 частям, каких в гипотенузе $\Delta\Theta$ имеется 120, а $\Theta\Phi$ равна таким же 92;50 частям. Если прямая $\Delta\Theta$ между центрами равна 6;33,30, а радиус $\Delta\Gamma$ эксцентра — 60, то $\Delta\Phi$ будет равна 4;9 частям, а $\Phi\Theta$ — 5;4. Так как после вычитания квадрата на $\Delta\Phi$ из квадрата на $\Gamma\Delta$ получается квадрат на $\Gamma\Phi$, то прямая $\Gamma\Phi$ будет равна 59;51, а вследствие равенства $\Theta\Phi$ и $\Phi\chi$ остаток $\Gamma\chi$ будет равен 54;47 частям, каких в $N\chi$, вдвое большей $\Delta\Phi$, содержится 8;18. Вследствие этого гипотенуза $N\Gamma$ [прямоугольного треугольника $N\Gamma\chi$] окажется равной 55;25 таким же частям. И если принять $N\Gamma$ за 120, то в $N\chi$ таких частей будет 17;59, а в стоящей на ней дуге $[N\chi]$ — 17;14 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $\Gamma N\chi$, содержится 360. Таким образом, угол $N\Gamma\chi$ будет равен 17;14 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Далее, если положить радиус $\Theta Н$ эксцентра равным 60, то в $N\chi$ таких частей по доказанному будет 8;18, а в $\Theta\chi$ — 10;8; тогда остаток $\chi Н$ будет равен 49;52 таким же частям; вследствие этого гипотенуза $NН$ [прямоугольного треугольника $NН\chi$] будет равна 50;33. И, значит, если $NН$ положить равной 120, то $N\chi$ будет равна 19;42, и стоящая на ней дуга будет содержать 18;54 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $NН\chi$, имеется 360. Таким образом, угол $NН\chi$ будет равен 18;54 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360; угол же $N\Gamma\chi$ по доказанному равнялся 17;14 таким же градусам; остающийся угол $\Gamma НН$ будет равен 1;40 такому же градусу, или же 0;50 таких градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360. Такова будет дуга $М\Upsilon$ зодиака.

[Е] Так как во втором противостоянии дуга ΔT оказалась равной 0;33 градусов, то ясно, что теоретическая дуга эксцентра в этом промежутке

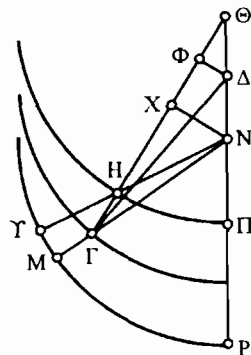


Рис. 10.12

последней будет 59;50 таких же частей. Затем, так как $\Phi\Theta$ равна ΦX , а NX вдвое больше $\Delta\Phi$, то получим всю прямую AX равной 64;20 частям, каких в прямой NX имеется 7;57. На основании этого гипотенуза NA будет равной 64;52 таким же частям. Если прямая NA равна 120, то в NX таких же частей будет 14;44, а в построенной на ней дуге — 14;6 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ANX , содержится 360. Угол NAX будет равен 14;6 градусам, 360 которых составляют два прямых, или 7;3 градусам, 360 которых дают четыре прямых угла. Таких же градусов в угле $A\Theta E$ было 41;33. Следовательно, остающийся угол ANE видимого движения будет иметь 34;30 градуса; на столько градусов планета предшествовала апогею в первом противостоянии.

[G.2] Теперь построим подобный чертеж [рис. 10.14] для второго противостояния. Так как угол $B\Theta E$ среднего движения эпицикла равнялся 40;11 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 80;22 градусам, 360 которых будет в двух прямых углах, и тому же будет равняться вертикальный угол $X\Theta N$, то дуга на $\Delta\Phi$ должна равняться 80;22 градусам, каких 360 содержится в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $\Delta\Theta\Phi$, а дуга на $\Phi\Theta$ — недостающим до полуокружности 99;38 градусам. Следовательно, из стягивающих эту дугу прямых $\Delta\Phi$ будет равна 77;26 частям, каких в гипотенузе $\Delta\Theta$ содержится 120, а $\Phi\Theta$ — 91;41 такой части. Поэтому если прямая $\Delta\Theta$ равна 6, а гипотенуза ΔB — 60, то в $\Delta\Phi$ таких частей будет 3;52, а $\Phi\Theta$ — 4;35. Так как квадрат на $\Delta\Phi$, будучи отнят от квадрата на ΔB , дает квадрат на $B\Phi$, то длина последней будет равна 59;53 таким же частям. На основании тех же рассуждений, поскольку $\Theta\Phi$ равна ΦX и NX вдвое больше $\Delta\Phi$, вся прямая BX будет равна 64;28 частям, каких в NX будет 7;44. Вследствие этого же гипотенуза BN будет равна 64;56 таким же частям. И если гипотенузу BN взять за 120, то в NX таких частей будет 14;19, а в стоящей на ней дуге — 13;42 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника BNX , содержится 360. Таким образом, угол NBX будет равен 13;42 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или же 6;51 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но угол $B\Theta E$ равняется 40;11 таким же градусам; значит, остающийся угол ENB видимого движения будет равен 33;20 таким же градусам. Вот на такое число градусов планета во втором противостоянии казалась отстающей от апогея. Как было показано, в первом противостоянии планета на 34;30 градуса предшествовала апогею, вследствие этого все расстояние от первого противостояния до второго получится равным 67;50 градусам, что вполне согласуется с полученными в наблюдениях⁷⁵.

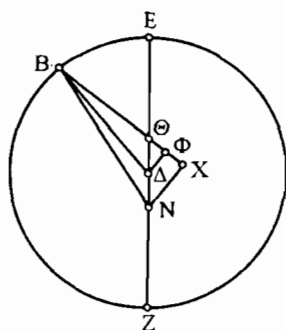


Рис. 10.14

[G.3] Возьмем такую же фигуру [рис. 10.15] для третьего противостояния. Поскольку в этом случае угол $\Gamma\Theta Z$ равномерного движения эпицикла равняется 44;21 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, или 88;42 градусам, 360 которых дают два прямых угла, то стоящая на прямой $\Delta\Phi$ дуга будет равняться 88;42 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $\Delta\Theta\Phi$, содержится 360, а дуга на $\Phi\Theta$ — недостающему до полуокружности 91;18 градусу. Следовательно, из стоящих

под ними прямых $\Delta\Phi$ равна 83;53 частям, каких в гипотенузе $\Delta\Theta$ содержится 120, а $\Phi\Theta$ — 85;49 таким же частям. Поэтому если прямая $\Delta\Theta$ равна 6, а радиус $\Delta\Gamma$ эксцента — 60, то $\Delta\Phi$ будет равна 4;11,30 частям, а $\Phi\Theta$ — 4;17. И так как квадрат на $\Delta\Phi$, отнятый от квадрата на $\Delta\Gamma$, дает квадрат на $\Gamma\Phi$, то длину последней линии получим равной 59;51 таким же частям.

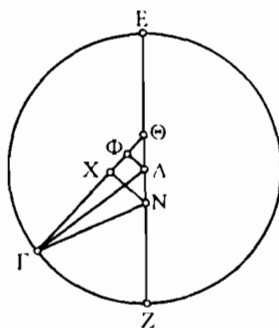


Рис. 10.15

Далее, поскольку $\Phi\Theta$ равна ΦX , а NX вдвое больше $\Delta\Phi$, остаток $X\Gamma$ получится равным 55;34 частям, каких в прямой NX будет 8;23. Вследствие этого гипотенузу ΓN получим равной 56;12 таким же частям. Значит, если гипотенузу ΓN положить равной 120, то в NX таких частей будет 17;55, а стоящая на ней дуга равна 17;10 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΓNX , содержится 360. Таким образом, 360 которых составляют четыре прямых угла. Но в

угле $\Theta\Gamma Z$ таких градусов было 44;21; следовательно, весь угол $\Gamma N Z$ будет равняться 52;56 таким же градусам. Именно на такое число градусов планета предшествовала перигею в третьем противостоянии. Как было показано, во втором противостоянии планета на 33;20 градуса отставала от апогея; вследствие этого складываемые остатки от второго до третьего противостояний дают 93;44 градуса, что вполне согласуется с величинами, наблюдаемыми во втором противостоянии⁷⁶.

[Н] Поскольку планета, усматриваемая в третьем противостоянии по прямой ΓN , находилась на полученных наблюдением 2;34 градусах Стрельца и угол $\Gamma N Z$ при центре зодиака оказался равным 52;56 градусам, 360 которых содержится в четырех прямых углах, то перигей эксцента в точке Z находился на 25;30 градусах Козерога, а апогей — на диаметрально противоположных 25;30 градусах Рака.

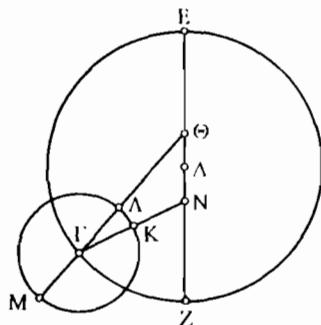


Рис. 10.16

Опишем около центра Γ [рис. 10.16] эпицикл Марса $K\Lambda M$ и продолжим прямую $\Theta\Gamma$. Тогда для времени третьего противостояния мы получим среднее перемещение эпицикла от апогея эксцента равным 135;39 градусам, поскольку согласно доказанному угол $\Gamma\Theta Z$ равняется недостающим до полуокружности 44;21 градусам, а среднее движение планеты [по аномалии] от апогея M эпицикла, т.е. дуга MK , равно 171;25 градусу вследствие того, что угол $\Theta\Gamma N$ по доказанному

равняется 8;35 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла. Так как это угол у центра эпицикла, то дуга $K\Lambda$ от планеты K до перигея Λ равняется тем же самым 8;35 градусам, а дуга от апогея M до планеты в точке K равна, как сказано выше, недостающему до полуокружности 171;25 градусу.

Теперь, кроме прочего, нам стало ясно, что во время третьего противостояния, т.е. во 2 год Антонина, в ночь с 12-го на 13-е число

египетского месяца Эпифи, за 2 равноденственных часа до полуночи⁷⁷ планета Марс по так называемой средней долготе отстояла от апогея эксцента на 135;39 градусов, по аномалии же она находилась на 171;25 градусе от апогея эпицикла. Это и требовалось доказать.

8. Определение величины эпицикла Марса

Поскольку вслед за этим требуется определить отношение величины эпицикла, мы взяли для этого наблюдение, которое произвели приблизительно через 3 дня после третьего противостояния⁷⁸, именно во 2 год Антонина, в ночь с 15-го на 16-е число египетского месяца Эпифи, за 3 равноденственных часа до полуночи, так как по астрологии в меридиане стоял 20-й градус Клешиной, а среднее положение Солнца было тогда на 5;27 градусах Блинецов. При установлении собственного положения планеты по отношению к Колосу Марс был виден на 13½ градусе Стрельца; в то же самое время он был виден отстоящим от центра Луны на тот же самый 13½ градус в направлении последовательности знаков⁷⁹. Среднее положение Луны было тогда на 4;20 градусах Стрельца, а истинное — на 29;20 градусах Скорпиона, так как по аномалии она на 92 градуса отстояла от апогея эпицикла. Видимое же ее положение было около начала Стрельца⁸⁰, так что и отсюда получалось согласованное [с определенным по Колосу] положение Марса, а именно 1;36 градус Стрельца; от перигея он, естественно, отстоял на 53;54 градуса в направлении против последовательности знаков⁸¹. Время, прошедшее от третьего противостояния до этого наблюдения, соответствует 1;32 градусу [средней] долготы и приблизительно 1;21 градусу аномалии⁸². Если мы прибавим их к уже определенным в качестве начальных данных [средним] положениям для третьего противостояния, то получим, что во время этого наблюдения Марс находился по [средней] долготе на 137;11 градусах расстояния от апогея эксцента, а по аномалии — на 172;46 градусах от апогея эпицикла.

Установив это, возьмем эксцентрический круг АВГ [рис. 10.17], несущий центр эпицикла. Пусть центром этого круга будет Δ, а диаметром — АДГ; в точке Е предположим центр зодиака, а в Z — точку наибольшей эксцентricности. Описав около В эпицикл НОК, проведем прямые ZKBH, затем — ЕОВ и ΔВ, а из точек Δ и Е опустим на ZB перпендикуляры ЕЛ и ΔМ. Предположим, что планета находится в точке N эпицикла; проведя соединительные прямые EN и BN, опустим из В перпендикуляр ВЕ на продолжение прямой EN⁸³.

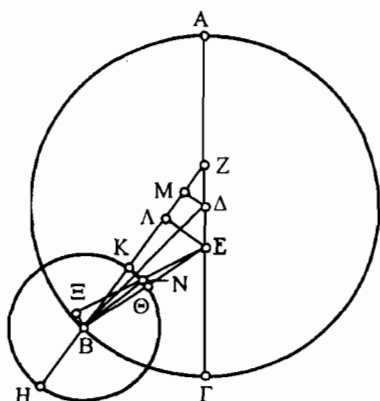


Рис. 10.17

Теперь, поскольку планета находится на 137;11 градусах от апогея эксцента, угол BZГ будет равен 42;49 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или же 85;38 градусам, каких 360 будет в двух

прямых углах, то стоящая на ΔM дуга должна равняться $85;38$ градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔZM , содержится 360 , а дуга на ZM — остающимся до полуокружности $94;22$ градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых ΔM равна $81;34$ части, каких в гипотенузе ΔZ будет 120 , а ZM — $88;1$ таким же частям. Таким образом, если прямая ΔZ между центрами равна 6 , а радиус ΔB эксцента — 60 , то в ΔM таких частей будет $4;5$, а в ZM — $4;24$. Так как квадрат на ΔM , вычтенный из квадрата на ΔB , дает квадрат на BM , то прямая BM будет равна $59;52$ таким же частям. Точно так же, поскольку ZM равна MA , а EA вдвое больше ΔM , то получающаяся в остатке BA будет равна $55;28$, а EA — $8;10$ таким же частям. Вследствие этого гипотенуза EB будет равна $56;4$. И если прямая EB равна 120 , то в EA таких же частей будет $17;28$, а стоящая на ней дуга содержит $16;44$ градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника BEA , будет 360 , так что угол ZBE равняется $16;44$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360 . 350

Далее, поскольку угол $ГЕЕ$, на который видимое положение Марса предшествовало перигею $Г$, равен $53;54$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 , или $107;48$ градусам, каких 360 будет в двух прямых углах, то в угле $ГЕВ$ будет $102;22$ таких же градуса, так как он равен вместе взятым углу ZBE , равному согласно доказанному $16;44$ таким градусам, и углу $ГЗВ$, который по предположению составляет $85;38$ таких же градусов. Тогда остающийся угол $ВЕЕ$ будет равняться $5;26$ таким же градусам, а дуга на $ВЕ$ — $5;26$ градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $ВЕЕ$, имеется 360 . Вследствие этого прямая $ВЕ$ будет равна $5;41$ частям, каких в гипотенузе EB содержится 120 . И если EB согласно доказанному равна $56;4$ частям, а радиус эксцента — 60 , то в $ВЕ$ таких частей будет $2;39$. 351

Точно так же, поскольку точка N отстояла от апогея H эпицикла на $172;46$ градуса, а от перигея K — на $7;14$, угол KBN должен быть равен $7;14$ градусам, каких в четырех прямых углах будет 360 , или же $14;28$ градусам, каких 360 будет в двух прямых углах. В угле же $KB\Theta$ таких градусов было $16;44$, так что получающийся в остатке угол $NB\Theta$ равен $2;16$, а весь угол ENB — $7;42$ таким же градусам. Следовательно, дуга на EB будет равна $7;42$ градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника $BN\Theta$, имеется 360 , а сама прямая BE равна $8;3$ частям, каких в гипотенузе BN имеется 120 .

Если прямая BE равна $2;39$, а радиус эксцента — 60 , то в радиусе BN эпицикла таких частей будет приблизительно $39;30$. Значит, отношение радиуса эксцента к радиусу эпицикла будет равно отношению 60 к $39;30$. Это и требовалось найти.

9. Об исправлении периодических движений Марса

352

Для исправления средних периодических движений мы взяли одно из древних наблюдений, в котором говорится, что в 13 году по Дионисию, 25 -го Айгона, утром Марс был виден прикоснувшимся к звезде в северной части лба Скорпиона. Время этого наблюдения соответствует 52 году после

смерти Александра, т.е. 476 году после Nabonassara, и утру с 20-го на 21-е число египетского месяца Атир⁸⁴, когда, как мы установили, Солнце в среднем движении находилось на 23;54 градусах Козерога⁸⁵. Звезда же в северной части лба Скорпиона наблюдалась, по-нашему, на 6 1/3 градусах Скорпиона⁸⁶. Таким образом, от этого наблюдения до начала царствования Антонина прошло 409 лет, которые произвели перемещение неподвижных звезд приблизительно на 4;5 градуса, и во время упомянутого наблюдения эта звезда Скорпиона должна была находиться на 2 1/4 градусах Скорпиона; ясно, что на стольких же градусах была и планета Марс. Поскольку же в наше время, т.е. в начале царствования Антонина, апогей Марса находился на 25;30 градусах Рака, то во время наблюдения он должен был находиться на 21;25 градусе. И ясно, что видимое положение планеты было тогда на 100;50 градусах от апогея, а среднее положение Солнца на 182;29 градусах от этого апогея, или, очевидно, на 2;29 градусах от перигея [Марса]⁸⁷.

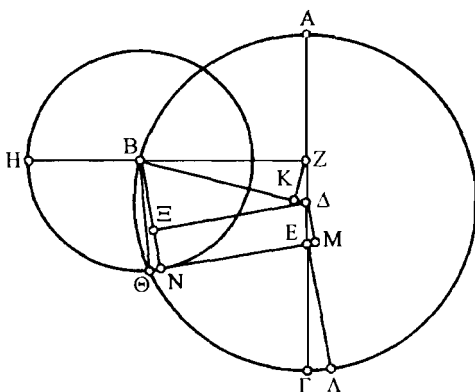


Рис. 10.18

Установив это, возьмем эксцентрический круг АВГ, несущий центр эпицикла [рис. 10.18]. Пусть Δ будет его центром, АДГ — диаметром, на котором предположим в точке Е центр зодиака, а Z — местом наибольшей эксцентричности. Описав около центра В эпицикл НΘ, проведем прямые ZВН и $\Delta В$, а из Z опустим на прямую $\Delta В$ перпендикуляр ZK. Предположим, что планета находится в точке Θ эпицикла. Соединив ВΘ, проведем параллельно ей прямую ЕЛ из точки Е; по этой прямой согласно доказанному выше будет наблюдаться среднее положение Солнца. Соединив ЕΘ, опустим на нее из точек Δ и В перпендикуляры $\Delta М$ и ВN, а затем из Δ перпендикулярно ВN проведем прямую $\Delta Э$, так что фигура $\Delta МNЭ$ будет прямоугольным параллелограммом. Теперь, так как угол АЕΘ видимого перемещения планеты от апогея будет равен 100;50 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол ГЕЛ среднего положения Солнца равняется 2;29 таким же градусам, то угол ΘЕЛ или ВΘЕ должен будет равняться 81;39 градусу, каких в четырех прямых углах содержится 360, или же 163;18, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на ВN равна 163;18 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ВΘN, будет 360. Сама же прямая ВN равна 118;43 частям, каких в гипотенузе ВΘ содержится 120. Если радиус ВΘ эпицикла равен 39;30 частям, а расстояние ЕЛ между центрами — 6, то в ВN таких частей будет 39;3. Поскольку угол АЕΘ равен 100;50 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или же 201;40, каких 360 будет в двух прямых углах, и вследствие этого смежный с ним угол $\Delta ЕМ$ равен 158;20 таким же градусам, то стоящая на $\Delta М$ дуга должна быть равна 158;20 градусам, каких в

окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔEM , содержится 360, а сама прямая ΔM — 117;52 частям, каких в гипотенузе ΔE имеется 120. Если прямая ΔE будет равна 6, а BN по доказанному — 39;3 частям, то таких частей в ΔM или NE будет 5;54, а в остатке BE — 33;9 таких частей, каких в радиусе BA эксцентра содержится 60. Следовательно, если гипотенуза BA равна 120, то в BE таких частей будет 66;18, а стоящая на ней дуга равна приблизительно 67;4 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔBE , содержится 360. Таким образом, угол BAE равен 67;4 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а весь угол BAM будет 247;4 градусов⁸⁸. В угле EDM таких же градусов будет 21;40, поскольку угол DEM равняется, как было показано, 158;20; остающийся угол BAE равен 225;24, а смежный с ним BAA — 134;36 таким же градусам. Поэтому дуга на ZK будет равна 134;36 градусам, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника ΔZK , содержится 360, а дуга на ΔK — недостающим до полуокружности 45;24 градусам. Из находящихся под ними прямых ZK равна 110;42 частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120, а ΔK — 46;18 356 таким же частям. Если прямая ΔZ равна 6, а радиус ΔB эксцентра — 60, то в ZK таких частей будет 5;32, а в ΔK — 2;19; остающаяся прямая BK равна 57;41. Вследствие этого гипотенуза BZ [прямоугольного треугольника BZK] будет равна приблизительно 57;57 таким же частям. Если прямая BZ равна 120, то в ZK таких частей будет 11;28, а стоящая на ней дуга будет иметь 10;58 градусов, каких в окружности, описанной около прямоугольного треугольника BKZ , содержится 360. Таким образом, угол ZBA будет равен 10;58 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Но угол BAA равняется 134;36 таким же градусам; поэтому весь угол BZA равен 145;34 таким же градусам, или же 72;47 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360. Таким образом, во время упомянутого наблюдения среднее положение планеты по долготе, т.е. расстояние центра B эпицикла от апогея, равнялось 72;47 градусам⁸⁹; вследствие этого центр B находился на 4;12 градусах Клешиной⁹⁰. Поскольку угол $ГЕА$ предполагается равным 2;29 таким же градусам, а он вместе с двумя прямыми углами полуокружности $ABГ$ дает вместе взятые углы BZA средней долготы и $HB\Theta$ [средней] аномалии, т.е. [среднего] перемещения планеты по эпициклу, то мы получим, что остающийся угол 357 $HB\Theta$ будет равняться тем же 109;42 градусам⁹¹. Значит, во время этого наблюдения планета находилась на 109;42 градусах по аномалии от апогея эпицикла. Это и требовалось установить.

Итак, нами доказано, что во время третьего противостояния планета [Марс] по аномалии отстояла на 171;25 градус от апогея эпицикла. Следовательно, в промежуток времени между наблюдениями, охватывающий 410 египетских годов и приблизительно 231 $\frac{2}{3}$ день, планета продвинулась за вычетом 192 полных оборотов на 61;43 градус. Примерно такое же прибавление мы получим при помощи составленных нами таблиц средних движений, так как среднее дневное движение мы находили, разделив количество градусов, полученных в полных оборотах с добавлением

некоторого приращения, на число дней, протекших за промежуток времени между двумя наблюдениями⁹².

10. Об эпохе периодических движений Марса

От первого года Набонассара и полудня 1-го числа египетского месяца Тот до рассмотренного наблюдения прошло 475 египетских года и приблизительно $79\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ дней; это время соответствует прибавлению $180;40$ градусов долготы и $142;29$ градусов аномалии⁹³. Если мы вычтем их соответственно из установленных положений в упомянутом наблюдении, т.е. по долготе из $4;12$ градусов Клешней и по аномалии из $109;42$ градусов, то получим для первого года Набонассара и полудня 1-го числа египетского месяца Тот в качестве начальной эпохи для периодических движений Марса по долготе $3;32$ градуса Овна, а по аномалии $327;13$ градусов от апогея эписцикла. На том же основании, поскольку перемещение апогеев за 475 лет составляет $4\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градуса и во время наблюдения апогей Марса находился на $21;25$ градусе Рака, то в установленное время начальной эпохи он должен был находиться на $16;40$ градусах Рака.

Книга XI

1. Определение эксцентриситета и положения апогея Юпитера

360

После того как мы определили периодические движения, аномалии и эпохи для планеты Марс, сделаем это таким же образом и для планеты Юпитер, взяв опять для определения положения апогея и эксцентриситета три противостояния, в которых Юпитер диаметрально противоположен среднему положению Солнца¹. [1] Первое из них мы наблюдали при помощи астролэбии в 17 году Адриана, в ночь с 1-го на 2-е число египетского месяца Эпифи, за 1 час до полуночи, оно имело место на 23;11 градусах Скорпиона²; [2] второе — в 21 году [Адриана], в ночь с 13-го на 14-е число месяца Фаофи, за 2 часа до полуночи на 7;54 градусах Рыб³; [3] третье — в первый год Антонина, в ночь с 20-го на 21-е число месяца Атир, через 5 часов после полуночи, на 14;23 градусах Овна⁴. И из этих двух промежутков времени тот, который прошел от первого противостояния до второго, включает 3 египетских года, 106 дней и 23 часа, в течение которых видимое движение планеты составило 104;43 градуса; промежуток же от второго до третьего противостояния содержит 1 египетский год, 37 дней и 7 часов и соответственно 36;29 градусов [истинной долготы]. Таким образом, среднее движение по долготе в первом промежутке времени получается равным 99;55, а во втором — 33;26 градусам⁵. На основании

361

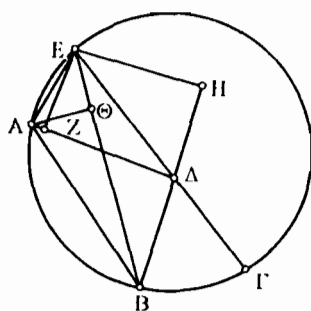


Рис. 11.1

величин этих промежутков при помощи изложенных нами для Марса методов мы определили требуемые величины, предполагая сначала существование одного лишь эксцентра. Это было сделано следующим образом.

[I] Пусть АВГ [рис. 11.1] представляет эксцентрический круг. Предположим, что точка А — местонахождение центра эпицикла в первом противостоянии, В — во втором и Г — в третьем. Взяв внутри эксцентра АВГ центр Δ зодиака, проведем соединительные прямые АД, ВД и ГД; продолжим ГД до Е, проведем соединительные прямые АЕ, ЕВ и АВ. Опустим также из точки Е перпендикуляры ЕΖ и ЕН на АД и ВД, а из А — перпендикуляр АΘ на прямую ЕВ.

[А] Так как дуга ВГ эксцентра, по предположению, стягивает 36;29 градусов зодиака, то углы ВДГ и ЕДН, находящиеся при центре зодиака, содержат 36;29 градусов, каких в четырех прямых углах имеется 360, или 72;58 градуса, 360 которых составят два прямых угла. Таким образом,

362

построенная на ЕН дуга содержит 72;58 градуса, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ЕДН, содержится 360, а прямая ЕН равна 71;21 части, каких в гипотенузе ДЕ будет 120. Поскольку дуга ВГ равна 33;26 градусам, находящийся на окружности угол ВЕГ будет равняться 33;26 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, остающийся же угол ЕВН будет равен 39;32 таким же градусам⁶. Итак, дуга на ЕН содержит 39;32 градусов, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника ВЕН, содержится 360, а прямая ЕН равна 40;35 частям, каких в гипотенузе ВЕ будет 120. Если ЕН, по доказанному, равна 71;21, а прямая АД — 120, то в ВЕ таких частей будет 210;58. Так как вся дуга АВГ эксцентра, по предположению, стягивает получающийся от сложения обоих промежутков 141;12 градус⁷, то находящийся при центре зодиака угол АДГ равен 141;12 градусу, 360 которых составляют четыре прямых угла, или же 282;24, каких в двух прямых углах будет 360, а смежный с ним угол АДЕ — 77;36 таким же градусам. Таким образом, дуга на ЕЗ содержит 77;36 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника ДЕЗ будет 360, а прямая ЕЗ равна 75;12 частям, каких в гипотенузе ДЕ содержится 120. Подобно этому, так как дуга АВГ эксцентра после сложения получается равной 133;21 градусам⁸, то стягиваемый ею на окружности [центральный] угол АЕГ равен 133;21 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Таких же градусов угол АДЕ имеет 77;36; остающийся угол ЕАЗ будет содержать 149;3 таких же градусов⁹. Таким образом, дуга на ЕЗ равна 149;3 градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника АЕЗ, содержится 360, а прямая ЕЗ — 115;39 частям, каких в гипотенузе ЕА будет 120; следовательно, если ЕЗ, по доказанному, равна 75;12, а ЕД, по предположению, 120, то ЕА будет равна 78;2 таким же частям.

Далее, так как дуга АВ эксцентра равна 99;55 градусам, то угол АЕВ при окружности составит 99;55 градусов, каких в двух прямых углах будет 360. Дуга на АΘ равна 99;55 градусам, каких в круге, описанном около прямоугольного треугольника АЕΘ, будет 360, а дуга на ЕΘ равна недостающим до полуокружности 80;5 градусам. Из стягивающих их прямых АΘ будет равна 91;52 части, каких в гипотенузе ЕА имеется 120, а ЕΘ — 77;12 таким же частям. Поэтому если АЕ, по доказанному, равна 78;2, а прямая ДЕ — 120, то в АΘ таких частей будет 59;44, а в ЕΘ — 50;12. Поскольку доказано, что вся ЕВ содержит 210;58 таких частей, то остаток ΘВ будет равен 160;46 частям, каких прямая АΘ содержит 59;44. Но квадрат на ΘВ равен 25 845;55, а квадрат на ΘА — 3568;4; сложив их, получим квадрат на АВ — 29 413;59. Следовательно, длина АВ будет равна 171;30 части, каких в ЕД было 120, а в ЕА — 78;2. И если диаметр эксцентра принять за 120, то прямая АВ будет равна 91;52, ибо она стягивает дугу в 99;55 градусов. Итак, если прямая АВ равна 91;52, а диаметр эксцентра — 120, то таких частей в ЕД будет 64;17, а в прямой ЕА — 41;47. Таким образом, построенная на ЕА дуга эксцентра равна 40;45 градусам, а вся дуга ЕАВГ — 174;6 градусам¹⁰. Вследствие этого прямая ЕДГ будет равна приблизительно 119;50 частям, каких в диаметре эксцентра содержится 120.

[В] Так как сегмент ЕАВГ [рис. 11.2] меньше полукруга и поэтому центр эксцентрического круга окажется вне его, предположим, что этот центром будет К. Проведем через него и Δ проходящий через оба эти

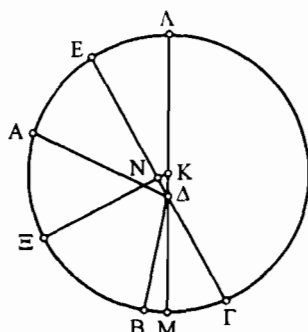


Рис. 11.2

центра диаметр АКМ; из точки К опустим на ГЕ перпендикуляр и продолжим его, пусть это будет КНЭ. Теперь, если диаметр ЛМ принять за 120, вся прямая ЕГ, по доказанному, будет 119;50, а прямая ЕД — 64;17; остаток ГД мы получим равным 55;33 таким же частям. Поскольку прямоугольник между ЕД и ЛГ равен прямоугольнику между ЛД и ЛМ¹¹, то произведение ЛД на ЛМ мы получим равным 3570;56, если диаметр ЛМ будет равен 120. Но произведение ЛД на ЛМ вместе с квадратом на ДК составляет квадрат на половине диаметра, т.е. квадрат на АК¹². Поэтому, если от квадрата на этой половине, т.е. от 3600, мы отнимем произведение ЛД на ЛМ, т.е. 3570;56, то у нас останется квадрат на ДК, или 29;4 таких же частей. И, следовательно, длина прямой ДК между центрами будет равна приблизительно 5;23 частям¹³, каков радиус КЛ эксцентра имеет 60.

[С] Далее, так как половина ГЕ, т.е. ГН, равна 59;55 частям, каков в диаметре ЛМ содержится 120, а прямая ГД, по доказанному, равна 55;33 таким же частям, то остаток ДН будет равен 4;22 частям, каков в ДК содержится 5;23. Таким образом, если гипотенуза ДК равна 120, то в ДН таких частей будет 97;20, и дуга на ней равна 108;24 градусам, каков в круге около прямоугольного треугольника содержится 360. Угол ДКН будет равен 108;24 градусам, если принять два прямых угла за 360, или же 54;12, если 360 градусов равны четырем прямым углам. И так как он находится при центре эксцентрического круга, то дуга МЕ получится равной 54;12. Но вся дуга ГМЕ, будучи половиной ГЕЕ, равна 87;3; следовательно, остающаяся дуга МГ от перигея до третьего противостояния будет 32;51 градуса¹⁴. Очевидно, что при ВГ, равной, по предположению, 33;26 градусам, мы в качестве остатка получим дугу ВМ — расстояние от второго противостояния до перигея, равную 0;35 градусов¹⁵. Поскольку промежуток АВ полагался равным 99;55 градусам, мы получим и остаток ЛА — расстояние от апогея до первого противостояния, равный 79;30 градусам.

Если бы центр эпицикла двигался по этому эксцентрическому кругу, то можно было бы воспользоваться полученными величинами как неизменными. Но так как, по сделанному предположению, он движется по другому кругу, а именно описанному радиусом КЛ из центра, делящего пополам ДК, то нам опять, как и в случае планеты Марс, потребуется прежде всего вычислить разности, получающиеся в наблюдаемых промежутках и определить, какие величины они имели бы, если бы центр эпицикла двигался при таких же примерно отношениях для эксцентриситета не по второму эксцентру, а по первому, производящему зодиакальную аномалию, а именно по описанному около центра К¹⁶.

[D.1] Пусть эксцентрическим кругом, несущим центр эпицикла, будет ЛМ с центром Δ [рис. 11.3], а эксцентрическим кругом его равномерного движения — НЕ с центром Z, одинаковый с ЛМ. Проведем соединяющий

оба центра диаметр NAM, возьмем на нем также центр E зодиака и прежде всего положим, что в первом противостоянии центр эпицикла находился в точке A. Проведем соединительные прямые ΔA , EA , ZA и EZ ; из точек Δ и E опустим перпендикуляры ΔH и $E\Theta$ на продолжение прямой AZ .

369 Теперь, так как угол NZE равномерного движения по долготе, согласно доказанному, равнялся $79;30$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, то вертикальный для него угол ΔZH будет равен $79;30$ градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 159 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах. Дуга на ΔH будет равна 159 таким градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZN имеется 360, а дуга ZH содержит 21 градус, недостающий до полукруга. Следовательно, из стягивающих их прямых ΔH будет иметь 117;59 частей, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120, а ZH — 21;52 такую же часть. Поэтому ΔZ как половина прямой EZ содержит приблизительно 2;42 части, а радиус ΔA эксцентра — 60 таких же частей, каких в ΔH будет 2;39, а в ZH — соответственно 0;30. Так как квадрат на ΔH , отнятый от квадрата на ΔA [в прямоугольном треугольнике ΔAH], дает квадрат на AH , то мы получим AH равной 59;56 таким же частям. Подобным образом, так как ZH равна $H\Theta$, а $E\Theta$ вдвое больше ΔH , вся $A\Theta$ будет равна 60;26 таким же частям, каких в прямой $E\Theta$ содержится 5;18; вследствие этого гипотенуза AE [в прямоугольном треугольнике ΘEA] будет иметь 60;40 таких частей. Если прямая AE равна 120, то $E\Theta$ будет равна 10;29 таким же частям, а дуга на ней будет содержать примерно 10;1 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $AE\Theta$ будет 360; таким образом, угол $EA\Theta$ будет равен 10;1 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Так как прямая $E\Theta$ равна 5;18 частям, каких в радиусе ZE эксцентра будет 60, а в прямой $Z\Theta$ — 1, то ясно, что вся $E\Theta$ будет равна 61; и мы получим гипотенузу EE [прямоугольного треугольника $EE\Theta$] равной 61;14 такой же части. Если прямая EE равна 120, то $E\Theta$ таких частей будет иметь 10;23, а дуга на ней — 9;55 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $EE\Theta$ имеется 360. И, следовательно, угол $EE\Theta$ будет равен — 9;55 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Но было доказано, что угол $EA\Theta$ содержал 10;1 таких градусов; значит, получающийся в остатке угол AEE искомой разности будет равен 0;6 градусов, каких в двух прямых углах будет 360, или 0;3, каких 360 имеется в четырех прямых углах.

370 В первом противостоянии светило усматривалось по прямой EA и находилось на $23;11$ градусах Скорпиона; отсюда ясно, что если бы центр эпицикла перемещался не по эксцентру AM , а по NE и находился в точке E последнего, то светило усматривалось бы по прямой EE , имея разность в 0;3 градусов, так что оно было бы на $23;14$ градусах Скорпиона.

371 [D.2] Далее, если на таком же чертеже [рис. 11.4]¹⁷ мы нанесем положение второго противостояния, то оно будет немного сдвинуто от перигея в направлении к предшествующим знакам. Так как, по доказанному,

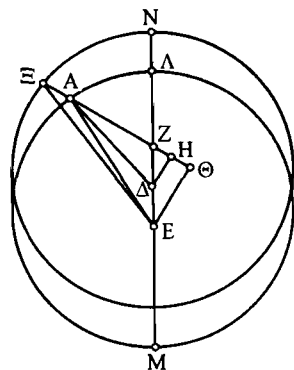


Рис. 11.3

дуга $ЕН$ эксцентра равнялась $0;35$ градусов¹⁸, то угол $ЕZN$ содержит $0;35$ градусов, каких 360 будет в четырех прямых углах, или $1;10$ градус, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на ΔH равна $1;10$ градусу, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZH имеется 360 , а дуга на ZH — недостающим до полукруга $178;50$ градусам. И,

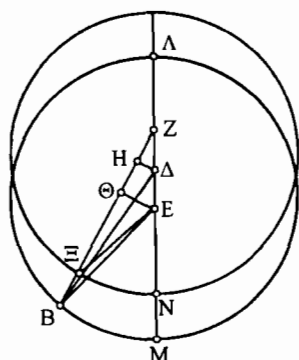


Рис. 11.4

следовательно, из стягивающих их прямых ΔH будет равна $1;13$ части, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120 , а ZH будет приблизительно равна 120 таким же частям. Поэтому если прямая ΔZ равна $2;42$ частям, а радиус ΔB эксцентра — 60 , то в ΔH таких частей будет $0;2$, а в ZH таких же — $2;42$. Равным образом и $HВ$ будет иметь 60 таких же частей, ибо она не отличается от гипотенузы ΔB . Поскольку ΘH равна HZ , а $Е\Theta$ вдвое больше ΔH , остаток $\Theta В$ мы получим равным $57;18$ таким же частям, каких в прямой $Е\Theta$ будет $0;4$; вследствие этого гипотенуза $ЕВ$ [прямоугольного треугольника $\Theta ВЕ$] будет равна $57;18$ таким же частям. Поэтому если прямая $ЕВ$ равна 120 , то в $Е\Theta$ таких частей будет приблизительно $0;8$,

а дуга на ней тоже будет иметь $0;8$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $ВЕ\Theta$ содержится 360 . И, значит, угол $ЕВ\Theta$ будет равен $0;8$ градусов, если два прямых угла принять за 360 . Точно так же, если весь радиус ZE эксцентра равен 60 , а $Z\Theta$, по доказанному, равна $5;24$, то остаток $Е\Theta$ получим равным $54;36$ градусам, каких в $Е\Theta$ было $0;4$; вследствие этого гипотенуза $ЕЕ$ [прямоугольного треугольника $Е\Theta E$] будет равна $54;36$ таким же частям. Если прямая $ЕЕ$ равна 120 , то $Е\Theta$ будет равна приблизительно $0;10$, а дуга на ней содержит $0;10$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $Е\Theta E$ имеется 360 . Таким образом, угол $ЕЕ\Theta$ будет равен $0;10$ градусов, каких в двух прямых углах будет 360 , а получающийся в остатке угол $ВЕЕ$ — $0;2$ таких же градусов,

или $0;1$ градусов, каких 360 будет в четырех прямых углах¹⁹. Отсюда ясно, что так как во втором противостоянии светило, усматриваемое по прямой $ЕВ$, находилось на $7;54$ градусах Рыб, то, если бы оно усматривалось по $ЕЕ$, оно находилось бы только на $7;53$ градусах Рыб.

[D.3] Теперь возьмем чертеж для третьего противостояния [рис. 11.5], которое находилось от перигея в направлении последовательности знаков. Так как дуга NE эксцентрического круга предполагалась равной $32;51$ градусам, то угол NZE содержит $32;51$ градуса, каких в четырех прямых углах будет 360 , или $65;42$ градуса, каких 360 имеется в двух прямых углах. Таким образом, дуга на ΔH равна $65;42$ градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZH содержится 360 , а дуга на ZH — недостающим до полукруга $114;18$ градусам. И, следовательно, из стягиваемых ими прямых ΔH будет равна $65;6$ частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120 , а ZH — $100;49$. Поэтому если прямая ΔZ равна $2;42$, а радиус $\Delta Г$ эксцентра — 60 , то в ΔH таких частей будет $1;28$, а в ZH — $2;16$. Так как квадрат на ΔH , отнятый от квадрата на $\Delta Г$, дает квадрат на $ГН$, то последняя прямая получится равной приблизительно $59;59$ таким же частям. Подобно этому, если ΘH равна HZ , а $Е\Theta$ вдвое больше ΔH ,

то остаток $\Gamma\Theta$ получится равным 57;43 частям, каких в прямой $Е\Theta$ будет 2;56; вследствие этого гипотенуза $ЕГ$ [прямоугольного треугольника $Е\ThetaГ$] будет равна 57;47 таким же частям. Если прямая $ЕГ$ равна 120, то $Е\Theta$ будет иметь 6;5 таких частей, а дуга на ней равна 5;48 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $ГЕ\Theta$ будет 360. Таким образом, угол $ЕГ\Theta$ будет иметь 5;48 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360. Точно так же, если радиус ZE эксцентра равен 60, а вся $Z\Theta$ имеет 4;32 таких части, то остаток $Э\Theta$ получится равным 55;28 частям, каких в $Е\Theta$ было 2;56; вследствие этого гипотенуза $ЕЭ$ [прямоугольного треугольника $Е\ThetaЭ$] будет равна 55;33 таким же частям. Поэтому если прямая $ЕЭ$ равна 120, то $Е\Theta$ будет равна 6;20 таким же частям, а дуга на ней будет иметь 6;2 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $Е\ThetaЭ$ содержится 360. И, следовательно, угол $ЕЭ\Theta$ будет иметь 6;2 градусов, каких в двух прямых углах

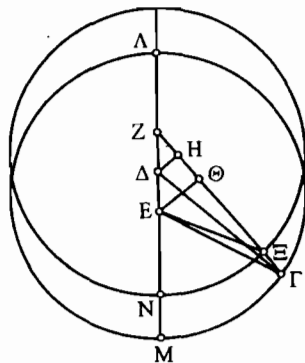


Рис. 11.5

содержится 360, а получающийся в остатке угол $ГЕЭ$ ²⁰ — 0;14 таких же градусов, или 0;7 градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360.

375 [Е] Таким образом, если в третьем противостоянии светило, усматриваемое по $ЕГ$, находилось на 14;23 градусах Овна, то опять ясно, что, если бы оно оказалось на прямой $ЕЭ$, оно находилось бы на 14;30 градусах Овна. Но показано, что в первом противостоянии оно находилось на 23;14 градусах Скорпиона, а во втором — на 7;53 градусах Рыб; следовательно, видимые расстояния светила, если наблюдать их не по отношению к эксцентрическому кругу, несущему центр эпицикла, но по отношению к кругу, по которому совершается его равномерное движение²¹, получаются такими: от первого противостояния до второго — 104;39 градуса, а от второго до третьего — 36;37 градусов.

[F] Воспользовавшись полученными величинами, на основании теоремы, доказанной выше²², найдем, что расстояние между центрами зодиака и эксцентрического круга, по которому совершается равномерное движение эпицикла, будет равно приблизительно 5;30 частям, каких в диаметре эксцентра содержится 120; дуги же эксцентрического круга будут: от апогея до первого противостояния — 77;15 градусов, от второго противостояния до перигея — 2;50 градуса, от перигея же до третьего противостояния — 30;36 градусов. А то, что эти величины верно определены указанным способом, 376 следует из того, что вычисленные на их основании разности противостояний [измеренные по деференту и экванту] приблизительно равны первоначальным²³. Это же выясняется из того, что видимые расстояния светила [по долготе], определенные при помощи упомянутых соотношений, оказались теми же, что и наблюдаемые. Это мы покажем следующим образом.

[G.1] Опять возьмем чертеж [рис. 11.6] для первого противостояния, на котором имеется только эксцентр, по которому перемещается центр эпицикла. Угол ΛZA , по доказанному, равняется 77;15 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла; если же 360 взять за два прямых угла, то ΛZA и вертикальный с ним угол ΔZH будут равны 154;30; поэтому

находящаяся на ΔH дуга окажется равной $154;30$ градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZH содержится 360 , а дуга на ZH — недостающим до полуокружности $25;30$ градусам. Вследствие этого стягивающие их прямые будут равны: ΔH — $117;2$ частям, каких в гипотенузе ΔZ содержится 120 , ZH — $26;29$ таким же частям. Таким образом, если прямая ΔA равна $2;45$, а радиус ΔA эксцентра — 60 , то в ΔH таких частей будет $2;41$, а в ZH — $0;36$. На основании тех же рассуждений, что и выше, получим, что прямая AH будет равна $59;56$ частям²⁴, а вся $A\Theta$ — $60;32$ частям, каких в прямой $E\Theta$, вдвое большей, чем ΔH , имеется $5;22$; поэтому гипотенуза AE [прямоугольного треугольника $AE\Theta$] получается равной $60;46$ таким же частям. И если прямая AE равна 120 , то в $E\Theta$ будет $10;36$ таких же частей, а находящаяся на ней дуга будет равна $10;8$ градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $AE\Theta$ содержится 360 . И, следовательно, угол $EA\Theta$ будет равен $10;8$ градусам, каких в двух прямых имеется 360 , а остающийся угол LEA будет иметь $144;22$ таких же градуса, или $72;11$ градуса, каких в четырех прямых углах содержится 360 ²⁵. Вот на сколько градусов в первом противостоянии светило отстояло от апогея на зодиаке.

377

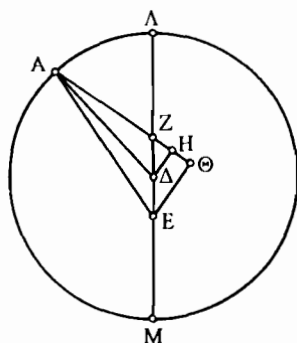


Рис. 11.6

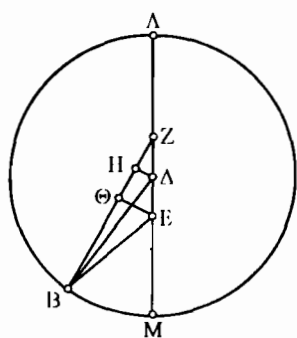


Рис. 11.7

[G.2] Теперь возьмем чертеж [рис. 11.7] для второго противостояния. Так как угол BZM предполагается равным $2;50$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 , или $5;40$ градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах, то построенная на ΔH дуга будет иметь $5;40$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZH было бы 360 , а дуга на ZH равняется недостающим до полуокружности $174;20$ градусам. И, следовательно, из стягивающих их прямых в ΔH будет $5;55$ частей, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120 , а в ZH — $119;51$ таких же частей. Таким образом, если прямая ΔZ равна $2;45$, а радиус ΔB эксцентра — 60 , то таких частей в ΔH будет $0;8$, а в ZH — приблизительно $2;45$. На том же основании BH будет равна приблизительно 60 таким же частям, а остаток $B\Theta$ — $57;15$ частям, каких в прямой $E\Theta$ будет $0;16$; вследствие этого гипотенуза EB [прямоугольного треугольника $EB\Theta$] получится равной $57;15$ таким же частям. И если прямая EB равна 120 , то в $E\Theta$ таких частей будет $0;33$, а стягивающая ее дуга будет иметь $0;32$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $BE\Theta$ содержится 360 . Поэтому угол $EB\Theta$ будет равен $0;32$ градусов, каких в двух прямых углах содержится 360 , а весь угол BEM — $6;12$ таким же градусам, или $3;6$ градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Следовательно, во втором противостоянии светило находилось на $3;6$ градусах от перигея в направлении против последовательности знаков. Но было доказано²⁶, что в первом противостоянии оно отстояло от перигея

378

379

на 72;11 градуса в направлении последовательности знаков; поэтому видимое расстояние от первого противостояния до второго получается равным недостающим до полукруга 104;43 градусам, что согласуется с расстоянием, полученным из наблюдений²⁷.

[G.3] Возьмем также чертеж [рис. 11.8] и для третьего противостояния. Было доказано, что угол $MZ\Gamma$ равняется 30;36 градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, или 61;12 градусу, каких 360 будет в двух прямых углах. Тогда дуга на ΔH равна 61;12 градусу, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZH содержится 360, а дуга на ZH — недостающим до полукруга 118;48 градусам; следовательно, из стягивающих их прямых ΔH будет равна 61;6 части, каких в гипотенузе ΔZ содержится 120, а ZH — 103;17 таким же частям. Поэтому если прямая ΔZ равна 2;45, а радиус $\Gamma\Delta$ эксцентра — 60, то в ΔH будет 1;24 такая часть, а в ZH — 2;22. На том же основании ΓH будет равна 59;59 таким же частям, а остаток $\Gamma\Theta$ — 57;37 частям, каких в $E\Theta$ получится 2;48. Поэтому гипотенуза $E\Gamma$ [прямоугольного треугольника $E\Theta\Gamma$] будет равна 57;41 таким же частям. И, следовательно, каких частей в прямой $E\Gamma$ имеется 120, таких частей в $E\Theta$ будет 5;50, а стоящая на ней дуга равняется 5;34 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $\Gamma E\Theta$ содержится 360. Таким образом, угол $E\Gamma\Theta$ будет равен 5;34 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а весь угол $ME\Gamma$ равен 66;46 таким же градусам, или 33;23 градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Вот на какое число градусов в третьем противостоянии светило отстояло от перигея в направлении последовательности знаков.

Но было показано, что во втором противостоянии оно от того же перигея отстояло на 3;6 градуса против последовательности знаков; следовательно, получается, что кажущееся расстояние от второго противостояния до третьего равняется 36;29 градусам, что опять согласуется с наблюдаемым²⁸.

Отсюда ясно, что если в третьем противостоянии светило находилось на полученных из наблюдений 14;23 градусах Овна и, как показано, отстояло от перигея на 33;23 градуса в направлении последовательности знаков, то перигей его эксцентра находился на 11 градусах Рыб, а апогей — в диаметрально противоположной точке, на 11 градусах Девы.

[H] Если около центра Γ [рис. 11.9]²⁹ мы опишем эпицикл $H\Theta K$, то среднее движение по долготе от находящегося в Λ апогея эксцентра получится равным 210;36 градусам, так как было доказано, что угол $MZ\Gamma$ равнялся 30;36 градусам, каких в четырех прямых углах содержится

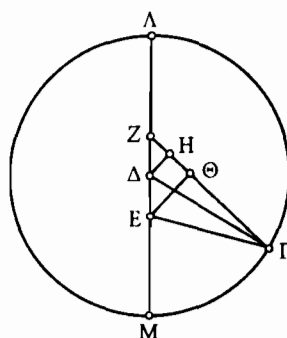


Рис. 11.8

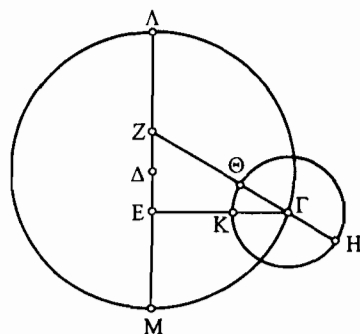


Рис. 11.9

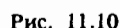
360, а дуга ΘK эпицикла от перигея Θ до светила в K равна $2;47$ градусам, поскольку было доказано, что угол EGZ равняется $5;34$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или $2;47$, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Следовательно, во время третьего противостояния, а именно в первом году Антонина, в ночь с 20-го на 21-е число египетского месяца Атир, через 5 часов после полуночи³⁰, планета Юпитер в своем среднем движении по долготе отстояла на $210;36$ градусов от апогея эксцентра, т.е. находилась на $11;36$ градусах Овна, имея аномалию $182;47$ градуса от апогея H эпицикла³¹. 382

2. Определение величины эпицикла Юпитера

Для определения величины эпицикла мы взяли наблюдение, которое было произведено нами во 2 году Антонина, в ночь с 26-го на 27-е число египетского месяца Месоре, перед восходом Солнца, т.е. приблизительно через 5 равноденственных часов после полуночи. Среднее положение Солнца было на $16;11$ градусах Рака, и в меридиане по наблюдениям с астролябией стоял 2-й градус Овна; Юпитер по своему положению относительно самой яркой из Гиад наблюдался на $15\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Близнецов и казался в одинаковом положении с центром Луны, находящейся южнее³². На основании изложенных ранее вычислений мы нашли, что в этот час³³ Луна в среднем движении находилась на $9;0$ градусах Близнецов, имея от апогея эпицикла [среднюю] аномалию $272;5$ градуса; вследствие этого точное ее положение было на $14;50$ градусах Близнецов, а видимое в Александрии — на $15;45$. Значит, планета Юпитер и по этому счету находилась на $15\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градусах Близнецов³⁴. Далее, так как от третьего противостояния до данного наблюдения прошло время, равное 1 египетскому году и 276 дням, то в течение этого времени (ощутимой разницы не получится, даже если взять более округленные данные)³⁵ планета прошла $53;17$ градуса долготы и $218;31$ аномалии; прибавив это к положениям, определенным для третьего противостояния, мы получим, что во время рассматриваемого наблюдения [средняя] долгота от того же самого апогея³⁶ была приблизительно $263;53$ градуса, а [средняя] аномалия от апогея эпицикла — $41;18$ градус. 383

На основании этих данных возьмем опять чертеж [рис. 11.10], аналогичный используемому в подобной ситуации для Марса³⁷, на котором, однако, эпицикл расположен по направлению последовательности знаков за перигеем эксцентра, а положение планеты — за апогеем эпицикла в соответствии со взятыми средними положениями по долготе и аномалии. Так как среднее положение по долготе от апогея эксцентра равняется $263;53$ градусам, то угол BZG равен $83;53$ градусам, каких 360 составляют четыре прямых угла, или $167;46$ градусам, каких 360 составляют два прямых угла. Таким образом, дуга на ΔM будет равна $167;46$ градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZM содержится 360, а дуга на ZM — недостающим до полукруга $12;14$ градусам. И, следовательно, из стягивающих их прямых линий ΔM будет равна $119;19$ частям, каких в гипотенузе ΔZ содержится 120, а ZM — $12;47$ таким же частям. Поэтому если прямая ΔZ равна $2;45$, а радиус ΔB эксцентра — 60, то в ΔM таких 384

385



386

3. Об исправлении периодических движений Юпитера

Вслед за этим для определения периодических движений мы взяли еще одно из записанных надежных старых наблюдений; в нем устанавливается, что в 45 году по Дионисию, 10 Парфенона планета Юпитер на рассвете покрыла южного из [двух] Ослят. Это время соответствует 83 году после

кончины Александра, утру с 17-го на 18-е число египетского месяца Эпифи, когда, по нашим расчетам, положение Солнца в среднем движении было на $9;56$ градусах Девы⁴¹. Но называемая южным Осленком звезда, находящаяся около туманности в Раке, была, по нашим наблюдениям, на $11\frac{1}{3}$ градусах Рака, а во время данного наблюдения, очевидно, на $7;33$ градусах, поскольку за 378 лет между обоими наблюдениями⁴² прибавляется $3;47$ градуса. Следовательно, тогда планета Юпитер, покрывшая упомянутую

387

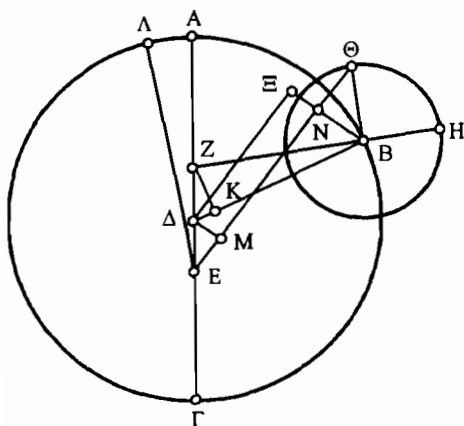


Рис. 11.11

звезду, находилась также на $7;33$ градусах Рака. Подобно этому, так как в наше время апогей был на 11 градусах Девы, то во время рассматриваемого наблюдения он должен был находиться на $7;13$ градусах Девы; ясно, что видимое положение светила находилось от тогдашнего апогея эксцентра на расстоянии $300;20$ градусов, а среднее положение Солнца было на $2;43$ градусах от того же апогея.

На основании этих данных возьмем опять чертеж, подобный используемому в аналогичной ситуации для Марса⁴³, только сделаем в нем изменения согласно данным положениям во время наблюдения [рис. 11.11], а именно

поместим эпицикл в В перед апогеем А, а среднее положение Солнца — в Л на небольшом расстоянии за его собственным апогеем; вследствие этого положение планеты в Θ было за апогеем Н эпицикла. Подобно предыдущему проведем, как всегда, соединительные прямые ZBN, ΔВ, ВΘ и ЕΘ, затем перпендикуляры ZK на ΔВ, ΔМ и BN на ЕΘ и ΔЕ на продолжение NB, образующие прямоугольный параллелограмм ΔМNE. Так как угол АЕΘ, соответствующий недостающей до полного круга зодиака дуге в $300;20$ градусов, равен $59;40$ градусам, каковых в четырех прямых углах содержится 360, а угол АЕЛ равен $2;43$ таким же градусам, то весь угол АЕΘ, или ВΘЕ, равняется $62;23$ градусам, каковых в четырех прямых углах содержится 360, или $124;46$ градусам, каковых 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на BN равна $124;46$ градусам, каковых в круге около прямоугольного треугольника ВΘN содержится 360, а прямая BN — $106;20$ частям, каковых гипотенуза ВΘ имеет 120. И, следовательно, если радиус эпицикла равен $11;30$, то в BN таких частей будет $10;12$.

388

389

Далее, так как угол ΔЕМ, по предположению, равен $59;40$ градусам, каковых в четырех прямых углах содержится 360, или $119;20$ градусам, каковых 360 будет в двух прямых углах, а остающийся угол МΔЕ — $60;40$ таким же градусам, то дуга на ΔМ равняется $119;20$ градусам, каковых круг около прямоугольного треугольника ΔЕМ содержит 360, а прямая ΔМ — $103;34$ частям, каковых в гипотенузе ЕΔ будет 120. Поэтому если прямая ЕΔ равна $2;45$, а радиус ΔВ эксцентра — 60, то в ΔМ таких частей будет $2;23$, а во всей ВNE — $12;35$. Таким образом, если гипотенузу ВΔ [прямоугольного треугольника ВΔЕ] принять за 120, то в ВЕ таких частей будет $25;10$, а дуга на ней будет иметь $24;14$ градуса, каковых круг около прямоугольного

треугольника ВДЕ содержит 360. И, следовательно, угол ВДЕ равен 24;14 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360; остающийся [после вычитания угла ВДЕ из прямого угла МДЕ] угол ВДМ равен 155;46 таким же градусам, весь угол ВДЕ — 216;26 и, наконец, остающийся [из суммы двух прямых углов] угол ВДZ — 143;34 таким же градусам. Поэтому дуга на ZK равна 143;34 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ³⁹⁰ ZΔK содержит 360, а дуга на ΔK — недостающим до полукруга 36;26 градусам. Вследствие этого из стягивающих их прямых ZK будет равна 113;59 частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120, а ΔK — таким же 37;31 частям. И если прямая ΔZ равна 2;45, а радиус ΔВ эксцентра — 60, то KZ будет содержать 2;37 такие части, ΔK — 0;52, а остаток KB — 59;8; поэтому гипотенуза ZB [прямоугольного треугольника BKZ] будет равна 59;12 таким же частям. Если прямая ZB равна 120, то в ZK таких частей будет 5;18, а в дуге на ней — 5;4 градусов, каких круг около прямоугольного треугольника BZK содержит 360. И, следовательно, угол ZBΔ равен 5;4 градусам, каких два прямых угла имеют 360, а весь угол AZB, соответствующий средней долготе, содержит 148;38 таких же градусов⁴⁴, или же 74;19 градуса, каких в четырех прямых углах будет 360. Но так как угол НВΘ, сложенный с BZΓ и полуокружностью, т.е. уменьшенный на AZB, дает угол АЕΛ, равный 2;43 таким же градусам, то мы получим угол НВΘ, представляющий перемещение планеты от апогея эпицикла, равным 77;2 таким же градусам⁴⁵.

Итак, мы показали, что во время упомянутого наблюдения планета Юпитер в своем среднем движении по долготе находилась на 285;41 градусах от апогея эксцентра, т.е. в среднем движении на 22;54 градусах Блинецов, имея аномалию от апогея эпицикла 77;2 градусах.

³⁹¹ Но нами было показано, что во время третьего противостояния планета Юпитер отстояла от апогея эпицикла на 182;47 градуса⁴⁶; следовательно, за протекшие между двумя наблюдениями 377 египетских лет и 128 дней, уменьшенных приблизительно на 1 час, планета, кроме 345 полных оборотов по аномалии, прошла еще 105;45 градусов, и это прибавление аномалии почти сходится с градусами, полученными нами при помощи [таблиц] средних движений. На основании этого мы получили дневное движение, разделив число градусов, получающееся от сложения полных оборотов и прибавления аномалии, на число заключающихся в этом промежутке дней⁴⁷.

4. Об эпохе периодических движений Юпитера

Так как от полудня 1-го числа египетского месяца Тот первого года Набонассара до времени упомянутого древнего наблюдения⁴⁸ прошло 506 египетских лет и приблизительно 316½¼ дней и за это время получились приращения 258;13 градусов долготы и 290;58 градусов аномалии, то, отняв

³⁹² эти величины от установленных в упомянутом наблюдении⁴⁹ значений, мы получим для указанной эпохи, как и для других планет, среднее положение планеты Юпитер по долготе 4;41 градуса Клешиной и величину аномалии 146;4 градусов от апогея эпицикла. Таким же образом получится и положение апогея его эксцентрического круга — на 2;9 градусах Девы⁵⁰.

5. Определение эксцентриситета и положения апогея Сатурна

В заключение нам остается определить теоретические величины аномалии и эпохи лишь для планеты Сатурн⁵¹. Сначала мы, как и для других планет, при определении положения апогея и эксцентриситета возьмем три противостояния планеты, когда она была диаметрально противоположной среднему положению Солнца. [1] Первое из них мы наблюдали при помощи астрологических инструментов в 11 году Адриана, в ночь с 7-го на 8-е число египетского месяца Пахон, вечером на 1;13 градусе Клеши⁵²; [2] второе — в 17 году того же Адриана, 18-го числа египетского месяца Эпифи; время и место точного противостояния мы вычислили при помощи сделанных для этого предшествующих и последующих наблюдений, а именно в 4 часа после полудня 18-го числа на 9;40 градусах Стрельца⁵³; [3] третье противостояние мы наблюдали в 20 году Адриана, 24-го числа египетского месяца Месоре; время точного диаметрального положения мы также вычислили, оно пришлось на самый полдень 24-го числа, а место его было на 14;14 градусах Козерога⁵⁴.

Итак, из двух этих промежутков времени тот, который прошел от первого противостояния до второго, составляет 6 египетских лет, 70 дней и 22 часа, видимое же движение планеты составило 68;27 градусов; промежуток времени от второго до третьего противостояния составил 3 египетских года, 35 дней и 20 часов и [по видимой долготе] 34;34 градуса. Для среднего движения по долготе получается округленно в течение первого промежутка времени 75;43 градусов, а в течение второго промежутка — 37;52⁵⁵.

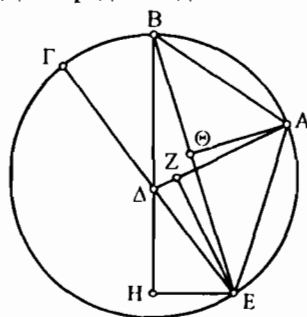


Рис. 11.12

[1] Установив величины упомянутых расстояний, определим заданные величины опять при помощи того же метода, а именно предположив сначала, что существует один только эксцентрический круг. Это мы сделаем следующим образом.

[А] Чтобы не повторяться, возьмем чертеж [рис. 11.12], подобный употреблявшимся нами в таких же определениях⁵⁶. Так как дуга ВГ эксцентра, по предположению, стягивает 34;34 градуса зодиака, то угол ВДГ или ЕДН, находящийся при центре зодиака, равен 34;34 градусам, каких четыре прямых угла содержат 360, или 69;8 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах. Таким образом, дуга на ЕН равна 69;8 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ДЕН имеет 360, а прямая ЕН содержит 68;5 частей, каких в гипотенузе ДЕ будет 120. Подобно этому, так как [дуга] ВГ составляет 37;52 градусов, то угол ВЕГ как находящийся при окружности будет равен 37;52 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а остающийся угол ЕВН — 31;16 такому же градусу⁵⁷. Поэтому дуга на ЕН составит 31;16 градус, каких в круге около прямоугольного треугольника ЕВН будет 360, а прямая ЕН равна 32;20 частям, каких гипотенуза ВЕ содержит 120. И если, как показано, ЕН равна 68;5, а прямая ЕД — 120, то ВЕ будет содержать 252;41 такие части.

Далее, так как вся дуга АВГ соответствует 103;1 градусам, получающимся от сложения обоих расстояний⁵⁸, то находящийся при центре зодиака угол АДГ равняется 103;1 градусам, каковых в четырех прямых углах содержится 360. Вследствие этого смежный с ним угол АДЕ будет иметь 76;59 таких же градусов, или 153;58 таких, каковых в двух прямых углах будет 360. Таким образом, дуга на EZ равна 153;58 градусам, каковых круг около прямоугольного треугольника ΔEZ имеет 360, а прямая EZ содержит 116;55 частей, каковых в гипотенузе ΔЕ будет 120. Подобным же образом, так как дуга АВГ эксцентра получается равной 113;35 градусам⁵⁹, то находящийся при окружности угол АЕГ равняется 113;35 градусам, каковых в двух прямых углах будет 360. Но таких же градусов в угле АДЕ было 153;58, вследствие этого остающийся угол ZAE будет их иметь 92;27⁶⁰; таким образом, дуга на EZ равна 92;27 градусам, каковых в круге около прямоугольного треугольника AEZ имеется 360, а прямая EZ содержит 86;39 частей, каковых в гипотенузе AE будет 120. И если, по доказанному, EZ равна 116;55, а прямая ЕΔ — 120, то ЕА будет равна 161;55 такой части.

Далее, так как дуга АВ эксцентра равна 75;43 градусам, то находящийся при окружности угол АЕВ равняется 75;43 градусам, каковых в двух прямых углах имеется 360; дуга на АΘ имеет 75;43 градусов, каковых в круге около прямоугольного треугольника АЕΘ содержится 360, а дуга на ЕΘ — недостающие до полуокружности 104;17 градуса. И, следовательно, из стягиваемых ими прямых АΘ будет содержать 73;39 части, каковых в гипотенузе ЕА имеется 120, а ЕΘ — 94;45 такие же части; поэтому если АЕ, по доказанному, равна 161;55, а прямая ΔЕ — 120, то АΘ будет равна 99;23, таким же частям⁶¹, а ЕΘ — 127;51. Но, как было показано, вся ЕВ содержит 252;41 такие же части; поэтому остаток ΘВ имеет 124;50 части, каковых в прямой АΘ будет 99;23; квадрат на ΘВ равен 15 583;22, а квадрат на АΘ — 9877;3. Сложив их, мы получим квадрат на АВ равным 25 460;25; таким образом, длина АВ будет равна 159;34 частям, каковых в ЕΔ было 120, а в ЕА — 161;55. И если диаметр эксцентра равен 120, то прямая АВ будет иметь 73;39 такие части, ибо она стягивает дугу в 75;43 градусов; по доказанному, если прямая АВ будет равна 73;39, а диаметр эксцентра — 120, то в ЕΔ таких частей будет 55;23, а в прямой ЕА — 74;43. Таким образом, дуга ЕА эксцентра равна 77;1 градусам, вся ЕАВГ — 190;36 градусам, а остающаяся часть ΓЕ, очевидно, 169;24 градусам. Вследствие этого прямая ΓΔЕ будет приблизительно равна 119;28 частям, каковых в диаметре эксцентра содержится 120.

[В] Итак, возьмем центр эксцентрического круга: он будет лежать внутри сегмента ЕАГ [рис. 11.13], так как последний больше полукруга. Пусть этим центром будет К; через оба центра К и Δ проведем диаметр АКΔМ эксцентрического круга; опустив из К на ΓЕ перпендикуляр, продолжим его, и пусть это будет КНЕ. Теперь, так как было показано,

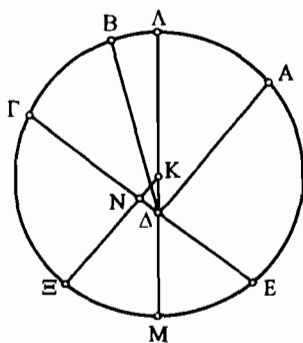


Рис. 11.13

что вся ЕГ равняется 119;28 частям, каких в диаметре АМ было 120, а прямая ЕД — 55;23, то остаток ДГ мы получим равным 64;5 таким же частям. Поскольку площадь содержащегося между ЕД и ДГ прямоугольника равна площади, содержащейся между АД и ДМ⁶², мы получим произведение АД на ДМ равным 3549;9 единицам, каких в диаметре АМ содержится 120. Но произведение АД на ДМ вместе с квадратом на ДК дает квадрат на половине диаметра, т.е. на АК⁶³. И если от квадрата на этой половине, т.е. от 3600, мы отнимем 3549;9, то в остатке у нас получится квадрат на ДК, равный 50;51 таким же частям. И, следовательно, длина ДК (расстояние между центрами) будет приблизительно равна 7;8 частям, каких мы полагали в диаметре 120⁶⁴.

[С] Далее, так как половина ГЕ, т.е. ЕН, равна 59;44 частям, каких в диаметре АМ содержится 120, и было доказано, что прямая ЕД равна 55;23 таким же частям, то остаток ДН мы получим равным 4;21 частям, каких в ДК было 7;8. Таким образом, если гипотенузу ДК [прямоугольного треугольника ДКН] принять за 120, то в ДН таких частей будет 73;11, и дуга на ней содержит 75;10 градусов, каких в описанном около прямоугольного треугольника ДКН круге содержится 360. Следовательно, угол ДКН будет равен 75;10 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 37;35 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах. Поскольку этот угол находится у центра эксцентрического круга, мы получим дугу ЭМ равной 37;35 градусам⁶⁵. Дуга ГЕ, будучи половиной ГЕЕ, равна 84;42 градусам, поэтому остаток ГЛ (расстояние от апогея до 399 третьего противостояния) будет равен 57;43 градусам⁶⁶. Но в ВГ таких градусов предполагалось 37;52; вследствие этого остаток (дуга АВ от апогея до второго противостояния) будет равен 19;51 градусам. Подобным же образом, так как АВ, по предположению, равна 75;43 градусам, остаток АЛ (расстояние от первого противостояния до апогея) получим равным 55;52 градусам.

Теперь, так как центр эпицикла движется не по этому эксцентрическому кругу, но по кругу, описанному вокруг середины ДК радиусом КЛ, то в дальнейшем, как и для других планет, мы вычислим разности видимых расстояний [истинной долготы] на зодиаке, как они получаются из приведенных выше отношений, считая их приблизительно правильными, как если бы кто-нибудь перенес движение эпицикла на упомянутый эксцентр, производящий зодиакальную аномалию⁶⁷.

[D.1] Как и для всех подобных определений, возьмем соответствующий чертеж [рис. 11.14] для первого противостояния, которое было от апогея в направлении против последовательности знаков. Так как угол NZE среднего движения по долготе, или угол ΔZH, равнялся, по доказанному, 55;52 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 111;44 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах, то дуга на ΔН будет равна 111;44 градусам, каких 360 будет в круге около прямоугольного 400 треугольника ΔZH, а дуга на ZH равна недостающим до полуокружности 68;16 градусам. Из стягивающих их прямых ΔН будет равна 99;20 частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120, а ZH — 67;20 таким же частям. Поэтому если расстояние ΔZ между центрами равно 3;34, а радиус ΔА эксцентра — 60, то в ΔН таких частей будет 2;57, а в ZH — 2;0. И так как квадрат на ΔН, будучи отнят от квадрата на ΔА, дает квадрат на

АН, то мы получим АН равной 59;56 таким же частям. Подобным же образом, поскольку ЗН равна НΘ, а ΘЕ вдвое больше НΔ, вся АΘ будет равна 61;56 части, каких в прямой ЕΘ будет 5;54; вследствие этого гипотенуза АЕ [прямоугольного треугольника ΘАЕ] будет равна 62;13 таким же частям. И если гипотенуза АЕ равна 120, то ЕΘ будет равна 11;21 таким же частям, а находящаяся на ней дуга — приблизительно 10;51 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника АЕΘ будет 360; поэтому угол ЕАΘ будет равен 10;51 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Далее, так как прямая ЕΘ равна 5;54 частям, каких в радиусе ЗЕ эксцентра содержится 60, а прямая ЗΘ равна 4 и вся ΘЕ, очевидно, 64, то гипотенузу ЕЕ [прямоугольного треугольника ЕΘЕ] мы получим равной 64;16 таким же частям. И если гипотенуза ЕЕ равна 120, то в ΘЕ таких частей будет 11;2, а находящаяся над ней дуга будет равна 10;33 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ЕЕΘ имеется 360; таким образом, угол ЕЕΘ равен 10;33 градусам, каких в двух

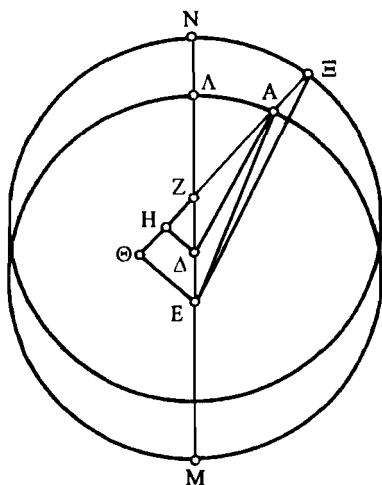


Рис. 11.14

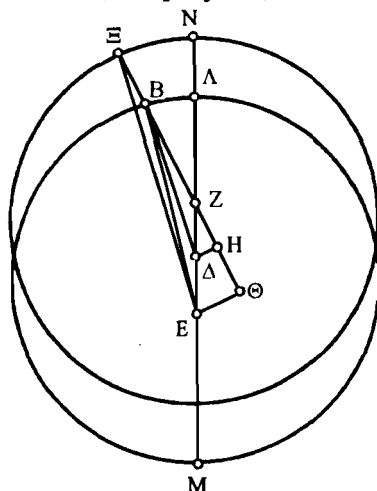


Рис. 11.15

прямых углах будет 360. Как было доказано, угол $EA\Theta$ равнялся 10;51 таким же градусам; поэтому получающийся в остатке угол $AE\Xi$ ⁶⁸ искомой разности равен 0;18 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360, или 0;9 градусов, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но в первом противостоянии светило, наблюдаемое по прямой AE , находилось на 1;13 градусе Клешней. Таким образом, ясно, что если центр эпицикла будет двигаться не по [кругу] AL , но по NE и находиться на последнем в точке Ξ , то светило будет наблюдаться по прямой $E\Xi$ в точке, отстоящей на 0;9 градусов против последовательности знаков от положения в A , и будет находиться [по долготе] на 1;4 градусе Клешней.

[D.2] Далее, возьмем чертеж для второго противостояния [рис. 11.15], подобный используемому в аналогичной ситуации выше, но [с эпициклом] в направлении последовательности знаков от апогея. Так как дуга NE эксцентра, по доказанному, равнялась 19;51 градусам, то и сам угол NZE, и вертикальный с ним угол DZH будут равны 19;51 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 39;42 градусам, каких 360 будет

частей будет 3;1, а в ZH — 1;54. И далее, так как квадрат на ΔH , будучи отнят от квадрата на ΔG , дает квадрат на $ГН$, то $ГН$ получим равной 59;56 таким же частям. Если ZH равна ΘH , а $E\Theta$ вдвое больше ΔH , то мы получим всю $Г\Theta$ равной 61;50 части, каких в $E\Theta$ заключается 6;2; вследствие этого гипотенуза $ЕГ$ [прямоугольного треугольника $ГЕ\Theta$] будет равна 62;8 таким же частям. И если гипотенузу $ГЕ$ принять за 120, то $E\Theta$ будет равна 11;39 таким же частям, а дуга на ней — приблизительно 11;9 градусам, каких круг, описанный около прямоугольного треугольника $ГЕ\Theta$, содержит 360; таким образом, угол $ЕГ\Theta$ будет равен 11;9 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360. Подобным же образом, если радиус EZ эксцентра равен 60, то $Z\Theta$ составит из 3;48 таких же частей и вся $E\Theta$ получится равной 63;48 частям, каких в $E\Theta$ было 6;2; вследствие этого гипотенуза $ЕЕ$ [прямоугольного треугольника $Е\Theta E$] будет равна 64;5
406 таким же частям. И, значит, если гипотенуза $ЕЕ$ равна 120, то в $E\Theta$ таких частей будет 11;18, а находящаяся на ней дуга равна 10;49 градусам, каких круг, описанный около прямоугольного треугольника $Е\Theta E$, имеет 360; поэтому угол $ЕЕ\Theta$ будет равен 10;49 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Но было доказано, что угол $ЕГ\Theta$ равен 11;9 таким же градусам; следовательно, остающийся угол $ГЕЕ$ будет равен 0;20 таких же градусов, или 0;10 таких градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360. Поэтому если в третьем противостоянии наблюдаемая по $ЕГ$ планета находилась на 14;14 градусах Козерога, то ясно, что если бы наблюдение производилось по прямой $ЕЕ$, то она находилась бы на 14;24 градусах Козерога, и тогда видимое расстояние [по долготе] от второго противостояния до третьего, усматриваемое по эксцентру NE , составляло бы 34;38 градуса⁷⁰.

[II] [F] Итак, опираясь на эти расстояния, мы покажем при помощи того же метода, что прямая между центрами зодиака и эксцентрического круга, по которому совершается равномерное движение эпицикла, т.е. прямая, равная EZ , будет иметь приблизительно 6;50 частей, каких диаметр эксцентра содержит 120. Что же касается дуг того же эксцентра⁷¹, то дуга от первого противостояния до апогея равна 57;5 градусам, от апогея до второго противостояния — 18;38 градусам, а от апогея до третьего противостояния — 56;30 градусам.

407 А то, что полученные таким образом величины будут точными, выясняется из того, что разности дуг зодиака получаются приблизительно такими же, как и первоначально найденные, и что видимые перемещения планеты согласуются с наблюдениями⁷², как это нам будет ясно из следующих рассуждений.

[G.1] Действительно, возьмем конфигурацию для первого противостояния с одним только эксцентрическим кругом [рис. 11.17], несущим центр эпицикла. Так как угол $AZ\Lambda$, стягивающий 57;5 градусов эксцентра⁷³, равен 57;5 градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах, то он и вертикальный с ним угол ΔZH будут равны 114;10 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, а находящаяся на ΔH дуга будет равна 114;10 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ΔZH содержит

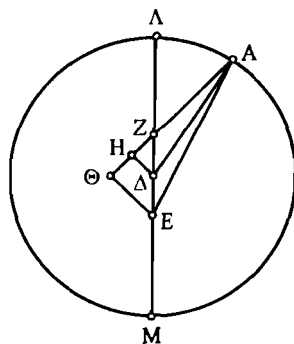


Рис. 11.17

360; дуга же на ZH будет равна недостающим до полукруга $65;50$ градусам. И, следовательно, из находящихся под ними прямых ΔH будет равна $100;44$ частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120 , а ZH — $65;13$ таким же частям; поэтому если расстояние ΔZ между центрами равно $3;25$, а радиус ΔA эксцентра — 60 , то в ΔH таких частей будет $2;52$, а в ZH — $1;51$. И далее, поскольку квадрат на ΔH , отнятый от квадрата на ΔA , дает квадрат на $АН$, $АН$ получится равной $59;56$ таким же частям. Точно так же, если ZH равна $H\Theta$, а $E\Theta$ в 2 раза больше ΔH , то всю $A\Theta$ мы получим равной $61;47$ части, каких в $E\Theta$ будет $5;44$; вследствие этого гипотенуза AE [прямоугольного треугольника $AE\Theta$] будет равна $62;3$ таким же частям. Значит, если гипотенузу AE принять за 120 , то в $E\Theta$ таких частей будет $11;5$, а дуга на ней равна $10;36$ градусам, каких круг, описанный около прямоугольного треугольника $AE\Theta$, содержит 360 ; поэтому угол EAZ будет равен $10;36$ градусам, каких в двух прямых углах имеется 360 . Но, по предположению, угол $AZ\Lambda$ равнялся $114;10$ таким же градусам; значит, остающийся угол $AE\Lambda$ будет равен $103;34$ таким же градусам⁷⁴, или же $51;47$ градусу, каких в четырех прямых углах содержится 360 . Именно на такое число градусов планета предшествовала апогею во время первого противостояния.

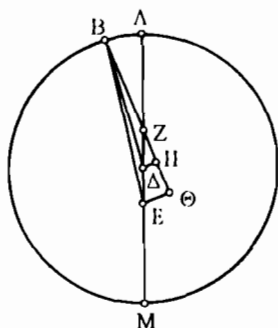


Рис. 11.18

[G.2] Возьмем опять такой же чертеж для второго противостояния [рис. 11.18]. Так как было доказано, что угол $BZ\Lambda$ равняется $18;38$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 (если же 360 взять за два прямых угла, то он и вертикальный с ним угол ΔZH будут содержать по $37;16$ градусов), то дуга на ΔH — $37;16$ градусам, каких в круге

около прямоугольного треугольника ΔZH имеется 360 , а дуга на ZH — недостающим до полукружности $142;44$ градусам. И, следовательно, из прямых под ними ΔH равна $38;20$ частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120 , а ZH — $113;43$ таким же частям; поэтому если прямая ΔZ равна $3;25$, а радиус ΔB эксцентра — 60 , то в ΔH таких частей будет $1;5$, а в ZH — $3;14$. Поскольку квадрат на ΔH , отнятый от квадрата на ΔB , дает квадрат на BH , то BH получится равной $59;59$ таким же частям. Подобно этому, если ZH равна $H\Theta$, а $E\Theta$ вдвое больше ΔH , то вся $B\Theta$ получится равной $63;13$ частям, каких в $E\Theta$ содержится $2;10$, и поэтому гипотенуза EB [прямоугольного треугольника $BE\Theta$] будет равна $63;15$ таким же частям. Если гипотенуза EB равна 120 , то в ΘE будет $4;7$ таких же части, а дуга над ней содержит $3;56$ градуса, каких в круге около прямоугольного треугольника $BE\Theta$ имеется 360 ; поэтому угол EBZ равен $3;56$ градусам, каких в двух прямых углах содержится 360 . По предположению угол $BZ\Lambda$ равнялся $37;16$ таким же градусам; значит, остающийся угол $BE\Lambda$ будет равен $33;20$ таким же градусам, или же $16;40$ градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Следовательно, во втором противостоянии планета наблюдалась отстоящей от апогея [при суточном вращении небесной сферы] на $16;40$ градусов. Но было показано, что в первом противостоянии планета предшествовала апогею на $51;47$ градус; поэтому видимое расстояние от первого противостояния до второго получается равным

установленным 68;27 градусам, что согласуется с наблюдаемым [расстоянием]⁷⁵.

[G.3] Далее возьмем чертеж для третьего противостояния [рис. 11.19]. Так как угол ГЗЛ равен, как показано, 56;30 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, то, если принять 360 за два прямых угла, этот угол и вертикальный с ним угол ΔZH будут равны каждый 113;0 градусам, дуга на ΔН будет равна 113 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ΔZH содержит 360, а дуга на ZH — недостающим до полуокружности 67 градусам. И, следовательно, из стягивающих их прямых ΔН равна 100;4 градусам, каких в гипотенузе ΔZ содержится 120, а ZH — 66;14 таким же частям; поэтому если прямая ΔZ равна 3;25, а радиус ΔГ эксцентра — 60, то в ΔН таких частей будет 2;51, а в ZH — 1;53. Далее, так как квадрат на ΔН, отнятый от квадрата на ΔГ, дает квадрат на ГН, то мы получим ГН равной 59;56 таким же частям. Подобно этому, если ZH равна НΘ, а ЕΘ вдвое больше ΔН, то вся ГΘ получится равной 61;49 части, каких в ЕΘ содержится 5;42; вследствие этого гипотенуза ЕГ [прямоугольного треугольника ГЕΘ] будет равна 62;5 таким же частям. Значит, если гипотенуза ГЕ равна 120, то в ЕΘ таких частей будет 11;1⁷⁶, а дуга на ней равна 10;32 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ГЕΘ содержит 360; поэтому и угол ЕГΘ равен 10;32 градусам, каких 360 составляют два прямых угла. По предположению таких градусов в угле ГЗЛ имеется 113; следовательно, остающийся угол ГЕЛ будет равен 102;28 таким же градусам, или 51;14 градусу, каких 360 будет в четырех прямых углах. Именно на такое число градусов планета казалась в третьем противостоянии [при суточном вращении] отстающей от апогея. Но было показано, что во втором противостоянии она отставала от того же апогея на 16;40 градусов. Таким образом, получается, что видимое расстояние от второго противостояния до третьего равняется 34;34 градусам, что также согласуется с полученным из наблюдения⁷⁷.

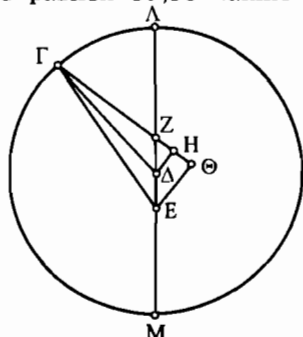


Рис. 11.19

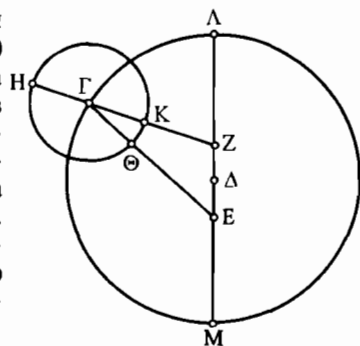


Рис. 11.20

Отсюда ясно, что если в третьем противостоянии планета находилась на 14;14 градусах Козерога и, как было показано, отставала от апогея на 51;14 градус, то апогей ее эксцентрического круга находился на 23 градусах Скорпиона, а перигей — в диаметрально противоположной точке, на 23 градусах Тельца.

[Н] Если около центра Г [рис. 11.20] опишем эпицикл НΘ, то среднее перемещение эпицикла по долготе от апогея эксцентра получим равным 56;30 градусам, а дугу ΘК эпицикла — 5;16 градусам, так как было доказано, что угол ЕГZ равняется 10;32 таким градусам⁷⁸, каких в двух прямых углах содержится 360. Таким образом, остающаяся часть (дуга НΘ

эпицикла от апогея планеты) будет содержать 174;44 градуса. Значит, во время третьего противостояния, т.е. в 20 году Адриана, в полдень 24-го числа египетского месяца Месоре⁷⁹, планета Сатурн в своих средних движениях отстояла по долготе на 56;30 градусов от апогея эксцента, т.е. находилась на 19;30 градусах Козерога, имея аномалию от апогея эпицикла равной 174;44 градусам. Это и предполагалось установить.

6. Определение величины эпицикла Сатурна⁸⁰

414

Для определения величины эпицикла мы взяли наблюдение, которое мы произвели во 2 году Антонина, в ночь с 6-го на 7-е число египетского месяца Мехир, за 4 равноденственных часа до полуночи, ибо, по наблюдениям с астролябией, в меридиане стоял последний градус Овна, а среднее положение Солнца было на 28;41 градусах Стрельца. Тогда планета Сатурн при сравнении ее положения с самой блестящей из Гиад наблюдалась находящейся на 9 $\frac{1}{15}$ градусах Водолея и отставала [при суточном вращении] от центра Луны приблизительно на $\frac{1}{2}$ градуса, так как на столько она отстояла от северного рога⁸¹. Но в тот час Луна в среднем движении находилась на 8;55 градусах Водолея, имея аномалию в 174;15 градуса от апогея эпицикла; вследствие этого истинное ее положение должно было быть на 9;40 градусах Водолея, наблюдаемое же в Александрии — на 8;34 градусах⁸². Поэтому планета Сатурн, отстававшая [при суточном вращении] от ее центра приблизительно на $\frac{1}{2}$ градуса, должна была находиться на 9 $\frac{1}{15}$ градусах Водолея; она отстояла на 76;4 градусов от апогея эксцента, который имел то же положение [что и в третьем противостоянии], поскольку за такой короткий промежуток времени апогей не передвинулся на сколько-нибудь заметную величину. Так как от третьего противостояния⁸³ до этого наблюдения прошло 2 египетских года, 167 дней и 8 часов, а за это время Сатурн перемещается по [средней] долготе на 30;3 градусах и по аномалии на 134;24 градуса, то если мы прибавим все это к начальным величинам, установленным для третьего противостояния, в момент упомянутого наблюдения мы получим для [средней] долготы 86;33 градусов от апогея эксцента, а по аномалии — 309;8 градусов от апогея эпицикла⁸⁴.

415

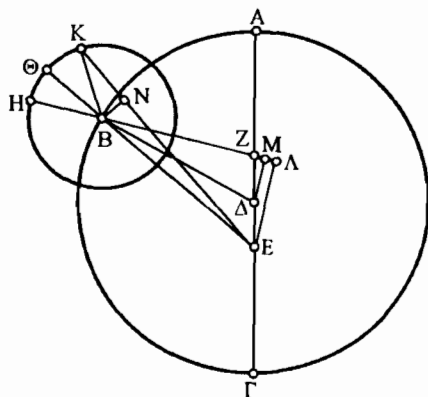


Рис. 11.21

Установив это, возьмем снова чертеж [рис. 11.21] для такого определения⁸⁵, на котором положение эпицикла было бы в направлении последовательности знаков от апогея эксцента, а положение планеты — в части, предшествующей апогею эпицикла, в соответствии с вы-

шеприведенными их перемещениями. Теперь, так как угол AZB или ΔZM , по предположению, равен 86;33 градусам, 360 которых составляют четыре прямых угла, или 173;6 градусам, 360 которых составляют два прямых угла, то дуга на ΔM равняется 173;6 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔZM содержится 360, а дуга ZM —

416

недостающим до полуокружности 6;54 градусам. И, следовательно, из находящихся под ними прямых ΔM будет равна 119;47 частям, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120, а MZ — 7;13 таким же частям; поэтому если расстояние ΔZ между центрами равняется 3;25, а радиус ΔB эксцентра — 60, то таких частей в ΔM будет приблизительно 3;25, а в ZM — 0;12.

417 Так как квадрат на ΔM , отнятый от квадрата на ΔB , дает квадрат на BM , то мы получим BM равной 59;54 таким же частям. Точно так же, поскольку ZM равна ML , а EL в 2 раза больше ΔM , мы получим всю BL равной 60;6 частям, каких в EL содержится 6;50; вследствие этого гипотенуза [прямоугольного треугольника BEL] получится равной 60;29 таким же частям. Если гипотенуза EB равна 120, то в EL таких частей будет 13;33, и дуга на ней равна 12;58 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника BEL содержится 360; таким образом, угол EBZ равен 12;58 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. По предположению угол AZB равняется 173;6 таким градусам, и, следовательно, остающийся угол AEB ⁸⁶ будет равен 160;8 таким же градусам. Но угол $AЕК$, дающий видимое расстояние планеты от апогея, предполагался равным 76;4 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 152;8 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах; следовательно, остающийся угол KEB мы получим равным 8;0 таким же градусам⁸⁷; поэтому дуга на BN равна 8 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника BEN содержит 360, а прямая BN — 8;22 частям, каких в

418 гипотенузе EB [прямоугольного треугольника BEN] будет 120. И если прямая EB равна 60;29, а радиус эксцентра — 60, то в BN таких частей будет 4;13.

Далее, так как планета отстояла на 309;8 градусов от апогея H эпицикла, то остающаяся дуга HK эпицикла равна 50;52 градусам⁸⁸; значит, угол HBK равен 50;52 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 101;44 градусу, каких 360 имеется в двух прямых углах. Но угол EBZ или $HB\Theta$ таких градусов содержит 12;58; следовательно, остающийся угол ΘBK будет равен 88;46 таким же градусам, каких в угле KEB , согласно показанному, было 8; остающийся угол BKN получится равным 80;46 таким же градусам⁸⁹; поэтому дуга на BN равна 80;46 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника BKN содержит 360; прямая же BN — 77;45 частям, каких в гипотенузе BK имеется 120. И, следовательно, если BN равна, как доказано, 4;13 частям, а радиус эксцентра — 60, то в радиусе BK эпицикла мы будем иметь приблизительно $6\frac{1}{2}$ таких частей. У нас получилось, что апогей Сатурна приблизительно в начале царствования Антонина находился на 23 градусах Скорпиона, и если радиус эксцентра,

419 несущего эпицикл, принять за 60, то расстояние между центрами зодиака и эксцентра, производящего равномерное движение, получилось равным 6;50, а радиус эпицикла — содержащим 6;30 таких же частей. Это и предполагалось найти.

7. Об исправлении периодических движений Сатурна

Так как нам остается определить поправку периодических движений, то для этой цели мы взяли еще одно из достоверно записанных древних наблюдений, в котором устанавливается, что в 82 году, по календарю халдеев, вечером 5-го числа месяца Ксантика планета Сатурн находилась

на 2 пальца ниже южного плеча Девы. Соответствующее время было в 519 году после Набонассара, вечером 14-го числа египетского месяца Тиби, когда, как мы нашли, среднее положение Солнца было на $6;10$ градусах Рыб⁹⁰. Неподвижная же звезда на южном плече Девы во время нашего наблюдения находилась на $13\frac{1}{6}$ градусах Девы. Поскольку 366 промежуточных лет прибавили примерно $3\frac{2}{3}$ градуса к движению неподвижных звезд, то во время упомянутого наблюдения ее долгота, очевидно, равнялась $9\frac{1}{2}$ градусам Девы⁹¹, на которых находилась также планета Сатурн, так как она была на 2 пальца южнее этой звезды. Точно так же, поскольку

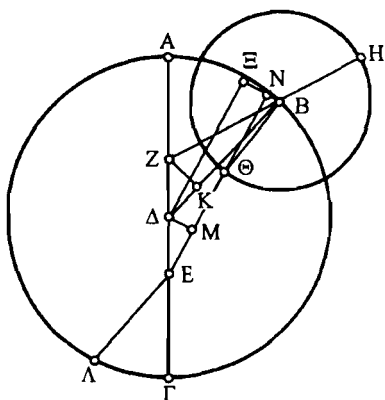


Рис. 11.22

мы показали, что при нас апогей Сатурна был на 23 градусах Скорпиона⁹², во время упомянутого наблюдения он должен был находиться на $19\frac{1}{3}$ градусах Скорпиона; вследствие этого получается, что в упомянутое время видимое положение планеты отстояло от апогея на $290;10$ градусов по зодиаку, среднее же положение Солнца отстояло от того же апогея на $106;50$ градусов⁹³.

Установив это, возьмем опять чертёж [рис. 11.22] для соответствующего доказательства⁹⁴, на котором положение эпицикла предшествовало апогею эксцента, а положение Солнца [в Λ] предшествовало его перигею, и от центра эпицикла до планеты проведем прямую [BΘ],

параллельную линии [ЕΛ, направленной к Солнцу]. Теперь, так как Сатурн во время наблюдения предшествовал апогею на недостающие до полной окружности $69;50$ градусов, то находящийся при центре зодиака угол [АЕΘ] равнялся $69;50$ градусам, каких четыре прямых угла содержат 360, или $139;40$ градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах. Также предполагается, что угол АЕΛ — расстояние Солнца [от апогея] — равен $106;50$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или $213;40$, каких 360 будет в двух прямых углах. Значит, весь угол ΘЕΛ, т.е. ВΘЕ, вследствие параллельности ВΘ и ЕΛ равен $353;20$ градусам, каких два прямых угла содержат 360; остающийся же угол ВΘN равен $6;40$ таким же градусам; таким образом, дуга на BN равна $6;40$ градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ВΘN содержит 360, прямая же BN — $6;58$ частям, каких в гипотенузе ВΘ имеется 120. Следовательно, если радиус ВΘ эпицикла равен $6;30$, то BN будет равна $0;23$ таких же частей. Подобно этому, если угол АЕΘ имеет $139;40$ градусов, каких в двух прямых углах содержится 360, а угол ЕΔM — $40;20$ таких же градусов, то дуга на ΔM равняется $139;40$ градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ΔЕМ содержит 360, сама же прямая ΔM равна $112;39$ частям, каких в гипотенузе ΔЕ имеется 120. И если прямая ЕΛ между центрами равна $3;25$, а радиус ΔВ эксцента — 60, то таких частей в прямой ΔM, т.е. в EN, будет $3;12$, и во всей BNE — $3;35$ части, каких в гипотенузе ΔВ [прямоугольного треугольника ВΔЕ] содержится 60. Если прямая ΔВ

равна 120, то ВЕ будет иметь 7;10 таких частей, а дуга на ней — 6;52 градусов, каких круг около прямоугольного треугольника ВДЕ содержит 360; поэтому угол ВДЕ равен 6;52 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360; остающийся угол ВДМ равен 173;8 градусам. Весь угол ВДЕ равен 213;28, а остающийся угол ВДА — 146;32 таким же градусам; вследствие этого дуга на ЗК равна 146;32 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔЗК будет 360, а дуга на ΔК — недостающим до полуокружности 33;28 градусам. Таким образом, из находящихся под ними прямых ЗК будет равна 114;55 частям, каких в гипотенузе ΔЗ
423 содержится 120, а ΔК — 34;33 таким же частям. Значит, если прямая ΔЗ между центрами равна 3;25, а радиус ΔВ эксцентра — 60, то в ЗК таких частей будет 3;17, в ΔК — 0;59, а остаток КВ равен 59;1 частям, каких в ЗК имеется 3;17; вследствие этого гипотенуза ЗВ [прямоугольного треугольника ВЗК] будет равна 59;6 таким же частям; поэтому если гипотенуза ЗВ равна 120, то в ЗК таких частей будет 6;40, а дуга на ней содержит 6;22 градусов, каких круг около прямоугольного треугольника ВЗК имеет 360; следовательно, угол ЗВК равен 6;22 частям, каких в двух прямых углах 360. Но угол АΔВ таких частей имеет 146;32; поэтому весь угол АЗВ, соответствующий среднему перемещению по долготе, получится равным 152;54 таким же градусам, или 76;27 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360⁹⁵.

Итак, во время рассматриваемого наблюдения планета Сатурн в среднем движении по долготе отстояла на 283;33 градуса от апогея, т.е. находилась на 2;53 градусах Девы⁹⁶. Так как среднее движение Солнца предполагается
424 равным 106;50 градусам, то если мы прибавим к ним 360 градусов одного оборота и из полученных 466;50 отнимем 283;33 градуса долготы, для того же времени будем иметь 183;17 градуса аномалии от апогея эпицикла⁹⁷.

Поскольку во время указанного наблюдения, которое было в 519 году после Набонассара, 14-го Тиби, вечером, Сатурн, как показано, отстоял на 183;17 градуса [по аномалии] от апогея эпицикла, а во время третьего противостояния, которое было в 883 году после Набонассара, 24-го Месоре, в полдень, он отстоял на 174;44 градуса, становится ясно, что за время, прошедшее между этими наблюдениями, содержащее 364 египетских года и 219½¼ дней, планета Сатурн передвинулась, за вычетом 351 полного оборота, на 351;27 градус аномалии; приблизительно такое же приращение градусов получается и при помощи вычисленных нами [таблиц] средних движений. На основании всего этого определяется среднее дневное движение
425 [по аномалии], если число градусов, получающееся после сложения числа полных оборотов и приращения, разделить на число дней в этом промежутке⁹⁸.

8. Об эпохе периодических движений Сатурна

Так как от полудня 1-го числа месяца Тот первого года Набонассара до указанного древнего наблюдения прошло 518 египетских лет и 133¼ дня, и за это время произошло приращение долготы на 216;10 градусов⁹⁹ и аномалии на 149;15 градусов, то, отняв их от [соответствующих] положений, установленных в этом наблюдении, получим опять, что для указанной эпохи планета Сатурн в среднем движении по долготе находилась на 26;43 градусах Козерога, а отсчитываемая от апогея эпицикла аномалия

равнялась 34;2 градусам; с помощью таких же вычислений находим, что апогей его эксцентрического круга находился на 14;10 градусах Скорпиона¹⁰⁰. Это и предлагалось найти.

9. О том, каким образом по периодическим движениям геометрически определяются истинные положения

426

Обратно¹⁰¹, если будут даны дуги периодических [движений] на эксцентре, по которому определяется среднее движение, и на эпицикле, то при помощи геометрических построений легко найти видимые положения светил; это выясняется при помощи такого же [чертежа].

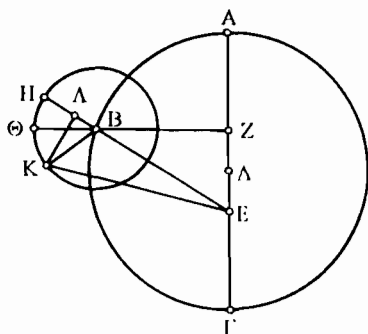


Рис. 11.23

Действительно, если на простом чертеже, содержащем [только] эксцентр и эпицикл [рис. 11.23], проведем соединительные прямые ZBΘ и EBH, то, имея заданным среднее движение по долготе, т.е. угол AZB, на основании доказанного выше мы определим по обеим гипотезам¹⁰² углы AEB и EBZ (равный HΒΘ), а также отношение прямой EB к радиусу эпицикла. Предположим, например, что планета находится в точке K эпицикла. Проведя соединительные прямые EK и BK и имея данной дугу ΘK, мы не будем, как при обратном ходе доказательства, опускать перпендикуляр из центра B эпицикла на EK, но опустим его из точки K планеты на прямую EB; пусть это будет перпендикуляр KΛ. Тогда будет заданным весь угол HBK, а вследствие этого и отношения прямых KΛ и ΛB к BK, а также, очевидно, к EB. В соответствии с этим будет известным и отношение всей прямой EΛ к ΛK; поэтому по заданному углу AЕК у нас определится угол AЕК, дающий видимое расстояние планеты от апогея.

427

10. Построение таблиц аномалий

Чтобы не вычислять постоянно видимые положения планет геометрически, хотя этот способ является единственным для точного решения поставленной задачи¹⁰³, но более трудным с точки зрения [астрономических] исследований, мы для каждой из пяти планет составили по таблице, которые должны быть простыми в использовании и одновременно возможно более точными. Каждая такая таблица содержит совокупность отдельных значений аномалий, при помощи которых по заданным средним расстояниям от соответствующих апогеев можно каждый раз легко вычислять видимые положения планет.

428

Каждая из этих таблиц построена ради симметрии в 45 строк и 8 столбцов. Два первых столбца содержат числовые значения средних движений, как для Солнца и Луны¹⁰⁴; в первом столбце сверху вниз помещены 180 градусов, отсчитываемые от апогея, а во втором снизу вверх — остальные дополняющие до полуокружности 180 градусов. Таким образом, значения, соответствующие 180 градусам, стоят в последней строке каждого столбца; приращения этих чисел в первых 15 строках сверху идут

429 через 6 градусов, в остальных 30 строках — через 3 градуса, так как разности значений дуг аномалий у апогеев менее отличаются друг от друга, а вблизи перигеев изменяются более быстро. Из двух следующих столбцов третий содержит для стоящих в соответствующих строках значений средних движений по долготе простаферезы, вычисленные для большего эксцентриситета¹⁰⁵ при упрощающем предположении, что центр эпицикла движется по эксцентрическому кругу, производящему равномерное движение¹⁰⁶. В четвертом столбце стоят прибавляемые разности простаферезов, получающиеся вследствие того, что центр эпицикла движется не по упомянутому кругу, а по другому¹⁰⁷. Метод, которым получают из чертежа эти значения [простаферезов и их поправки], каждое в отдельности или все вместе, легко понятен из большого числа приведенных выше доказательств¹⁰⁸. Здесь, поскольку систематичность изложения требовала сделать наглядными характерные особенности зодиакальной аномалии, мы дали ее в двух столбцах, хотя при использовании был бы вполне достаточным один столбец для простафереза, получающегося от сложения их обоих¹⁰⁹.

Каждый из трех следующих столбцов содержит простаферезы эпицикла, которые опять берутся при упрощающем допущении, что апогей или перигей эпицикла усматриваются по линии от наблюдателя [до центра эпицикла]¹¹⁰; способ их определения хорошо понятен из вышеизложенных доказательств. 430 Средний из этих трех столбцов (шестой, если считать от начала) содержит простаферезы, вычисляемые по отношениям [радиуса эпицикла к расстоянию до центра эпицикла] в средних расстояниях; пятый содержит избытки простаферезов, получающиеся в наибольшем расстоянии [эпицикла] сравнительно с величинами для тех же самых аргументов на среднем, а седьмой столбец — избытки простаферезов в наименьшем расстоянии сравнительно со средним. Действительно, мы показали, что радиус эпицикла будет (в дальнейшем будем начинать с самых высших планет): у Сатурна — 6;30, у Юпитера — 11;30, у Марса — 39;30, у Венеры — 43;10, у Меркурия — 22;30 такие части, которых для всех планет имеется 60 в среднем расстоянии, под которым мы понимаем расстояние, измеряемое по радиусу эксцента, несущего эпицикл¹¹¹. Наибольшее расстояние [центра эпицикла], взятое относительно центра зодиака, будет¹¹²: для Сатурна — 63;25, для 431 Юпитера — 62;45, для Марса — 66, для Венеры — 61;15, для Меркурия — 69. Аналогичным образом, наименьшее расстояние будет¹¹³: для Сатурна — 56;35, для Юпитера — 57;15, для Марса — 54; для Венеры — 58;45, для Меркурия — 55;34. Последний, восьмой столбец поставлен нами для того, чтобы определять пропорциональные части от приведенных избытков [в пятом и седьмом столбцах], получающиеся, если эпицикл планеты находится не в среднем, наибольшем или наименьшем расстояниях, но в промежуточных между ними положениях. Вычисление такой поправки произведено нами только для наибольших простаферезов, в которых луч нашего зрения касается эпицикла, для каждого промежуточного расстояния, так как дробь избытков, получающихся для остальных дуг эпициклов, ничем существенным не отличаются от тех, которые соответствуют наибольшим простаферезам¹¹⁴.

Для пояснения сказанного, а также чтобы сделать понятным метод получения этих составляющих суммы, возьмем прямую [рис. 11.24], проходящую через центры зодиака и эксцента, производящего равномерное

436-437

11. Таблицы для определения долгот пяти планет

Сатурн

Апогей на 14;10° Скорпиона

Общие числа $[\bar{\kappa}, \bar{\alpha}]$		Проста- фerez по долготe $[c_3(\bar{\kappa})]$	Разность проста- фerezа $[c_4(\bar{k})]$	Разность вычи- таемая $[c_5(\alpha)]$	Проста- фerez аномалии $[c_6(\alpha)]$	Разность прибав- ляемая $[c_7(\alpha)]$	Шестиде- сятые доли $[c_8(\bar{\kappa})]$
1	2	3	4	5	6	7	8
6°	354°	0° 37'	+0° 2'	0° 2'	0° 36'	0° 2'	-60' 0"
12	348	1 13	+0 4	0 4	1 11	0 4	-58 30
18	342	1 49	+0 6	0 5	1 45	0 7	-57 0
24	336	2 23	+0 8	0 7	2 18	0 9	-55 30
30	330	2 57	+0 9	0 8	2 50	0 11	-52 30
36	324	3 29	+0 10	0 10	3 20	0 13	-49 30
42	318	3 59	+0 11	0 11	3 49	0 15	-46 30
48	312	4 28	+0 11	0 12	4 17	0 17	-43 30
54	306	4 55	+0 10	0 14	4 42	0 19	-39 0
60	300	5 20	+0 9	0 15	5 4	0 20	-34 30
66	294	5 42	+0 8	0 17	5 25	0 20	-30 0
72	288	6 0	+0 7	0 18	5 42	0 21	-24 0
78	282	6 14	+0 5	0 18	5 55	0 21	-18 0
84	276	6 24	+0 3	0 19	6 5	0 22	-12 0
90	270	6 30	+0 1	0 19	6 12	0 22	- 4 30
93	267	6 31	0 0	0 20	6 12	0 23	- 0 45
96	264	6 32	-0 2	0 20	6 13	0 23	+ 2 32
99	261	6 31	-0 3	0 20	6 12	0 24	+ 5 51
102	258	6 30	-0 4	0 21	6 12	0 24	+ 9 8
105	255	6 27	-0 5	0 21	6 9	0 24	+11 45
108	252	6 23	-0 6	0 20	6 5	0 25	+14 21
111	249	6 19	-0 7	0 20	6 0	0 25	+16 58
114	246	6 14	-0 8	0 20	5 55	0 24	+19 31
117	243	6 7	-0 9	0 19	5 48	0 24	+22 11
120	240	5 59	-0 10	0 19	5 40	0 23	+24 47
123	237	5 50	-0 10	0 19	5 31	0 23	+27 24
126	234	5 39	-0 11	0 18	5 21	0 22	+30 0
129	231	5 27	-0 11	0 18	5 10	0 22	+32 37
132	228	5 14	-0 12	0 17	4 58	0 21	+35 13
135	225	5 0	-0 12	0 17	4 45	0 20	+37 50
138	222	4 45	-0 12	0 16	4 31	0 19	+40 26
141	219	4 29	-0 12	0 15	4 16	0 18	+43 3
144	216	4 12	-0 12	0 14	4 0	0 17	+45 39
147	213	3 54	-0 12	0 14	3 43	0 15	+47 37
150	210	3 35	-0 11	0 12	3 25	0 14	+49 34
153	207	3 16	-0 11	0 11	3 7	0 13	+51 32
156	204	2 56	-0 10	0 10	2 48	0 12	+53 29
159	201	2 36	-0 9	0 9	2 29	0 11	+54 49
162	198	2 15	-0 8	0 7	2 9	0 10	+56 6
165	195	1 53	-0 7	0 6	1 48	0 8	+57 24
168	192	1 31	-0 6	0 5	1 27	0 7	+58 42
171	189	1 9	-0 5	0 5	1 6	0 5	+59 21
174	186	0 47	-0 3	0 4	0 45	0 4	+60 0
177	183	0 24	-0 2	0 2	0 23	0 2	+60 0
180	180	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	+60 0

Юпитер
Апогей на 2;9° Девы

Общие числа $[\bar{\kappa}, \bar{\alpha}]$		Проста- ферез по долготе $[c_3(\kappa)]$	Разность проста- фереза $[c_4(\bar{k})]$	Разность вычи- таемая $[c_5(\alpha)]$	Проста- ферез аномалии $[c_6(\alpha)]$	Разность прибав- ляемая $[c_7(\alpha)]$	Шестиде- сятые доли $[c_8(\kappa)]$
1	2	3	4	5	6	7	8
6°	354°	0° 30'	+0° 1'	0° 2'	0° 58'	0° 2'	-60' 0"
12	348	1 0	+0 2	0 5	1 56	0 5	-58 58
18	342	1 30	+0 3	0 7	2 52	0 7	-57 56
24	336	1 58	+0 4	0 9	3 48	0 9	-56 54
30	330	2 26	+0 5	0 11	4 42	0 11	-54 50
36	324	2 52	+0 6	0 13	5 34	0 13	-54 43
42	318	3 17	+0 7	0 15	6 25	0 15	-47 35
48	312	3 40	+0 7	0 17	7 12	0 18	-43 27
54	306	4 1	+0 7	0 19	7 57	0 20	-39 19
60	300	4 20	+0 6	0 21	8 37	0 22	-35 8
66	294	4 37	+0 5	0 23	9 14	0 24	-28 58
72	288	4 51	+0 4	0 24	9 46	0 26	-22 45
78	282	5 2	+0 3	0 25	10 13	0 28	-17 35
84	276	5 9	+0 2	0 26	10 35	0 30	-11 23
90	270	5 14	+0 1	0 26	10 51	0 31	-4 40
93	267	5 15	0 0	0 27	10 57	0 31	-1 8
96	264	5 16	-0 1	0 27	11 0	0 32	+1 52
99	261	5 15	-0 1	0 27	11 2	0 32	+5 9
102	258	5 14	-0 2	0 28	11 3	0 32	+8 26
105	255	5 12	-0 2	0 28	11 1	0 33	+11 43
108	252	5 9	-0 3	0 29	10 59	0 33	+15 0
111	249	5 5	-0 4	0 29	10 53	0 33	+17 49
114	246	5 0	-0 5	0 30	10 45	0 34	+20 37
117	243	4 54	-0 5	0 30	10 35	0 34	+23 26
120	240	4 47	-0 6	0 30	10 24	0 34	+26 15
123	237	4 39	-0 6	0 29	10 10	0 33	+29 4
126	234	4 30	-0 7	0 29	9 54	0 33	+31 52
129	231	4 20	-0 7	0 28	9 36	0 32	+34 41
132	228	4 9	-0 8	0 28	9 16	0 32	+37 30
135	225	3 58	-0 8	0 27	8 54	0 31	+40 19
138	222	3 46	-0 8	0 26	8 30	0 30	+43 7
141	219	3 33	-0 8	0 25	8 4	0 28	+45 28
144	216	3 20	-0 7	0 23	7 36	0 26	+47 49
147	213	3 6	-0 7	0 22	7 6	0 25	+49 42
150	210	2 51	-0 6	0 21	6 34	0 23	+51 31
153	207	2 36	-0 6	0 19	6 0	0 21	+52 58
156	204	2 20	-0 5	0 17	5 24	0 19	+54 22
159	201	2 4	-0 5	0 15	4 47	0 17	+55 47
162	198	1 47	-0 4	0 13	4 9	0 15	+57 11
165	195	1 30	-0 3	0 11	3 29	0 13	+57 40
168	192	1 13	-0 2	0 9	2 49	0 10	+58 13
171	189	0 55	-0 2	0 7	2 7	0 8	+58 40
174	186	0 37	-0 1	0 5	1 25	0 5	+59 4
177	183	0 18	-0 1	0 3	0 43	0 3	+59 32
180	180	0 0	-0 0	0 0	0 0	0 0	+60 0

440-441

Марс
Апогей на 16;40° Рака

Общие числа $\bar{\kappa}, \bar{\alpha}$		Проста- фerez по долготe $[c_3(\bar{\kappa})]$	Разность проста- фереза $[c_4(\bar{\kappa})]$	Разность вычи- таемая $[c_5(\alpha)]$	Проста- фerez аномалии $[c_6(\alpha)]$	Разность прибав- ляемая $[c_7(\alpha)]$	Шестиде- сятые доли $[c_8(\bar{\kappa})]$
1	2	3	4	5	6	7	8
6°	354°	1° 0'	+0° 5'	0° 8'	2° 24'	0° 9'	-59' 53"
12	348	2 0	+0 10	0 16	4 46	0 18	-58 59
18	342	2 58	+0 5	0 24	7 8	0 28	-57 51
24	336	3 56	+0 20	0 33	9 30	0 37	-56 36
30	330	4 52	+0 24	0 42	11 51	0 46	-54 34
36	324	5 46	+0 27	0 51	14 11	0 56	-52 11
42	318	6 39	+0 28	1 0	16 29	1 6	-49 28
48	312	7 28	+0 29	1 9	18 46	1 16	-46 17
54	306	8 14	+0 28	1 18	21 0	1 28	-42 38
60	300	8 57	+0 27	1 27	23 13	1 40	-38 8
66	294	9 36	+0 24	1 37	25 22	1 53	-33 26
72	288	10 9	+0 20	1 49	27 29	2 6	-28 20
78	282	10 38	+0 15	2 1	29 32	2 19	-22 47
84	276	11 2	+0 10	2 14	31 30	2 33	-16 33
90	270	11 19	+0 4	2 28	33 22	2 45	-10 5
93	267	11 25	+0 0	2 35	34 15	2 57	- 6 34
96	264	11 29	-0 4	2 42	35 6	3 6	- 3 3
99	261	11 32	-0 8	2 49	35 56	3 15	+ 0 5
102	258	11 32	-0 12	2 56	36 43	3 25	+ 3 13
105	255	11 31	-0 16	3 4	37 27	3 36	+ 6 1
108	252	11 28	-0 19	3 13	38 9	3 47	+ 8 49
111	249	11 22	-0 22	3 22	38 48	3 58	+11 44
114	246	11 14	-0 25	3 32	39 24	4 9	+14 38
117	243	11 5	-0 28	3 43	39 56	4 21	+17 33
120	240	10 53	-0 31	3 54	40 23	4 35	+20 27
123	237	10 39	-0 33	4 4	40 44	4 50	+23 35
126	234	10 23	-0 35	4 14	40 59	5 5	+26 42
129	231	10 4	-0 37	4 24	41 7	5 21	+29 31
132	228	9 44	-0 39	4 35	41 9	5 37	+32 20
135	225	9 21	-0 40	4 45	41 2	5 55	+35 9
138	222	8 55	-0 41	4 56	40 45	6 14	+37 58
141	219	8 27	-0 41	5 7	40 16	6 34	+40 35
144	216	7 59	-0 41	5 18	39 37	6 53	+43 12
147	213	7 27	-0 40	5 28	38 40	7 12	+45 26
150	210	6 54	-0 38	5 34	37 25	7 30	+47 39
153	207	6 19	-0 36	5 38	35 52	7 45	+49 50
156	204	5 41	-0 33	5 38	33 53	7 58	+52 1
159	201	5 3	-0 30	5 34	31 30	8 3	+53 47
162	198	4 22	-0 27	5 18	28 35	7 58	+55 32
165	195	3 41	-0 23	4 52	25 3	7 47	+56 44
168	192	2 58	-0 19	4 18	21 0	7 6	+57 55
171	189	2 14	-0 15	3 32	16 25	5 59	+58 49
174	186	1 30	-0 10	2 27	11 15	4 26	+59 43
177	183	0 45	-0 5	1 16	5 45	2 20	+59 52
180	180	0 0	-0 0	0 0	0 0	0 0	+60 0

Венера
Апогей на 16;10° Тельца

Общие числа $[\kappa, \alpha]$		Проста- ферез по долготе $[c_3(\kappa)]$	Разность простафе- реза $[c_4(k)]$	Разность вычитае- мая $[c_5(\alpha)]$	Проста- ферез аномалии $[c_6(\alpha)]$	Разность прибавля- емая $[c_7(\alpha)]$	Шестиде- сятые доли $[c_8(\kappa)]$
1	2	3	4	5	6	7	8
6°	354°	0° 14'	+0° 1'	0° 1'	2° 31'	0° 2'	-59' 10"
12	348	0 28	+0 1	0 3	5 1	0 4	-57 55
18	342	0 42	+0 1	0 5	7 31	0 6	-56 40
24	336	0 56	+0 2	0 7	10 1	0 8	-55 0
30	330	1 9	+0 2	0 9	12 30	0 10	-52 55
36	324	1 21	+0 2	0 11	14 58	0 12	-49 35
42	318	1 32	+0 3	0 13	17 25	0 14	-45 50
48	312	1 43	+0 3	0 15	19 51	0 16	-42 5
54	306	1 53	+0 3	0 18	22 15	0 18	-37 5
60	300	2 1	+0 2	0 20	24 38	0 20	-31 40
66	294	2 8	+0 2	0 22	26 57	0 23	-26 15
72	288	2 14	+0 2	0 24	29 14	0 25	-20 25
78	282	2 18	+0 1	0 27	31 27	0 28	-14 35
84	276	2 21	+0 1	0 29	33 38	0 30	- 8 20
90	270	2 23	+0 1	0 31	35 44	0 33	- 1 40
93	267	2 23	0 0	0 33	36 40	0 36	+ 1 31
96	264	2 23	-0 1	0 35	37 43	0 38	+ 4 42
99	261	2 22	-0 1	0 38	38 40	0 40	+ 7 39
102	258	2 21	-0 1	0 40	39 35	0 43	+10 35
105	255	2 20	-0 1	0 42	40 29	0 45	+13 32
108	252	2 18	-0 1	0 45	41 20	0 47	+16 28
111	249	2 16	-0 1	0 47	42 9	0 50	+19 25
114	246	2 13	-0 2	0 49	42 54	0 52	+22 21
117	243	2 10	-0 2	0 52	43 35	0 55	+25 18
120	240	2 6	-0 2	0 54	44 12	0 58	+28 14
123	237	2 2	-0 2	0 57	44 45	1 1	+31 0
126	234	1 58	-0 2	1 0	45 14	1 4	+33 44
129	231	1 54	-0 2	1 3	45 36	1 8	+36 18
132	228	1 49	-0 3	1 6	45 51	1 11	+38 50
135	225	1 44	-0 3	1 10	45 59	1 14	+41 11
138	222	1 39	-0 3	1 14	45 57	1 18	+43 32
141	219	1 33	-0 3	1 19	45 45	1 22	+45 42
144	216	1 27	-0 2	1 24	45 20	1 27	+47 51
147	213	1 21	-0 2	1 29	44 40	1 32	+49 37
150	210	1 14	-0 2	1 33	43 39	1 38	+51 23
153	207	1 7	-0 2	1 37	42 18	1 43	+52 46
156	204	1 0	-0 2	1 39	40 28	1 48	+54 8
159	201	0 53	-0 2	1 41	38 7	1 51	+55 18
162	198	0 46	-0 1	1 42	35 7	1 52	+56 26
165	195	0 39	-0 1	1 38	31 24	1 50	+57 28
168	192	0 32	-0 1	1 31	26 46	1 43	+58 26
171	189	0 24	-0 1	1 19	21 15	1 27	+59 1
174	186	0 16	-0 1	0 58	14 47	1 5	+59 36
177	183	0 8	-0 1	0 31	7 38	0 35	+59 58
180	180	0 0	-0 0	0 0	0 0	0 0	+60 0

444-445

Меркурий
Апогей на 1;10° Клешиной

Общие числа $\bar{\kappa}, \bar{\alpha}$		Проста- фerez подолготы $[c_3(\bar{\kappa})]$	Разность проста- фerezы $[c_4(\bar{k})]$	Разность вычи- таемая $[c_5(\alpha)]$	Проста- фerez аномалии $[c_6(\alpha)]$	Разность прибав- ляемая $[c_7(\alpha)]$	Шести- десятые доли $[c_8(\bar{\kappa})]$
1	2	3	4	5	6	7	8
6°	354°	0° 18'	-0° 1'	0° 10'	1° 38'	0° 5'	-59' 20"
12	348	0 34	-0 2	0 20	3 16	0 11	-57 20
18	342	0 51	-0 4	0 29	4 53	0 17	-54 40
24	336	1 7	-0 5	0 39	6 29	0 23	-50 40
30	330	1 22	-0 5	0 49	8 4	0 28	-45 40
36	324	1 37	-0 4	0 59	9 36	0 34	-39 40
42	318	1 51	-0 4	1 8	11 6	0 40	-33 0
48	312	2 4	-0 3	1 18	12 33	0 45	-25 40
54	306	2 15	-0 1	1 28	13 58	0 50	-18 0
60	300	2 25	-0 0	1 39	15 18	0 56	-10 20
66	294	2 34	+0 2	1 49	16 33	1 4	- 2 20
72	288	2 41	+0 4	1 59	17 43	1 11	+ 9 14
78	282	2 46	+0 6	2 9	18 47	1 17	+20 0
84	276	2 50	+0 7	2 19	19 44	1 23	+29 44
90	270	2 52	+0 9	2 29	20 33	1 29	+39 28
93	267	2 52	+0 10	2 34	20 54	1 32	+43 31
96	264	2 52	+0 10	2 39	21 14	1 35	+47 34
99	261	2 51	+0 11	2 44	21 29	1 38	+50 0
102	258	2 50	+0 10	2 48	21 42	1 41	+52 26
105	255	2 48	+0 10	2 53	21 52	1 44	+54 52
108	252	2 46	+0 10	2 58	21 59	1 46	+57 18
111	249	2 44	+0 9	3 2	22 2	1 49	+58 23
114	246	2 41	+0 9	3 4	22 1	1 52	+59 28
117	243	2 37	+0 9	3 6	21 56	1 55	+59 44
120	240	2 33	+0 8	3 8	21 47	1 57	+60 0
123	237	2 28	+0 7	3 9	21 33	1 59	+59 44
126	234	2 23	+0 7	3 10	21 15	2 0	+59 23
129	231	2 18	+0 6	3 12	20 53	2 0	+58 39
132	228	2 12	+0 6	3 12	20 25	2 1	+57 50
135	225	2 6	+0 5	3 9	19 50	2 1	+56 46
138	222	2 0	+0 4	3 6	19 10	2 0	+55 41
141	219	1 53	+0 4	3 2	18 24	2 0	+54 3
144	216	1 46	+0 3	2 57	17 32	1 58	+52 26
147	213	1 38	+0 3	2 51	16 35	1 53	+50 48
150	210	1 30	+0 2	2 42	15 31	1 47	+49 11
153	207	1 22	+0 2	2 32	14 20	1 41	+47 34
156	204	1 13	+0 2	2 21	13 3	1 34	+45 57
159	201	1 5	+0 1	2 9	11 41	1 26	+44 36
162	198	0 56	+0 1	1 55	10 13	1 17	+43 15
165	195	0 46	+0 1	1 38	8 40	1 7	+42 26
168	192	0 38	+0 0	1 19	7 1	0 56	+41 37
171	189	0 28	+0 0	1 1	5 19	0 43	+40 48
174	186	0 19	+0 0	0 42	3 35	0 28	+40 0
177	183	0 9	+0 0	0 21	1 48	0 14	+39 44
180	180	0 0	+0 0	0 0	0 0	0 0	+39 28

12. О вычислении долгот пяти планет

446

Итак, если при помощи приведенных таблиц мы хотим определить по периодическим движениям по долготам и аномалии видимые положения каждой из этих планет, то способ вычисления, являющийся одним и тем же для всех пяти светил, будет таков.

Получив из таблиц средних движений соответствующие рассматриваемому времени средние значения долготы и аномалии после отбрасывания полных оборотов, мы сначала, беря в качестве аргумента число градусов от апогея эксцентрического круга для соответствующего момента до среднего положения по долготам, обратимся к таблице аномалий для этой планеты; соответствующее этому числу в третьем столбце значение поправки к долготам вместе с имеющимися в четвертом столбце шестидесятыми долями простафереза, которые должны прибавляться или вычитаться, мы вычтем из числа градусов [средней] долготы и прибавим к числу градусов аномалии, если взятая величина [средней] долготы будет стоять в первом столбце; 447
если же она стоит во втором столбце, то мы прибавим их к градусам долготы и вычтем из градусов аномалии, и так получим уточненные значения обеих величин¹²⁴.

После этого входим с уточненным значением аномалии, отсчитываемым от [истинного] апогея [эпицикла], в один из двух первых столбцов и записываем соответствующий ему простаферез для среднего расстояния, находящийся в шестом столбце. Точно так же отыщем среди тех же самых чисел [первого и второго столбцов] первоначальное значение средней долготы, которое мы использовали как аргумент вначале, и если оно окажется в первых строках [таблицы] в большей близости к апогею, чем строка среднего расстояния (а это станет ясным из содержащегося в восьмом столбце числа шестидесятих)¹²⁵, то соответствующее ему в восьмом столбце число шестидесятих умножим на стоящее в той же строке в пятом столбце число избытка простафереза в наибольшем расстоянии, и полученный результат вычтем из того числа, которое было записано. Если же число упомянутой долготы стоит в нижних строках [таблицы] в большей близости к перигею, т.е. ниже строки для среднего расстояния, то, взяв в восьмом столбце соответствующее ему число шестидесятих, как и ранее, мы умножим его на стоящее в седьмом столбце для наименьшего расстояния число разности с простаферезом для среднего расстояния и полученный результат 448
прибавим к записанному ранее значению. Полученные от сложения градусы уточненного простафереза мы прибавим к градусам уточненной долготы, если уточненное число аномалии будет в первом столбце; если же оно будет во втором, то вычтем из них; затем, отсчитав это число градусов от соответствующего рассматриваемому времени апогея планеты, мы получим видимое положение¹²⁶.

Книга XII

450 1. О предварительных положениях, касающихся попятных движений

После всего изложенного для каждой из пяти планет следовало бы рассмотреть получающиеся наименьшие и наибольшие попятные движения¹ и определить их величины на основании установленных гипотез, которые должны быть возможно более согласованными с данными наблюдений.

При исследовании этого предмета различные математики, а также Аполлоний Пергский доказывают сначала для одной только аномалии, а именно связанной с Солнцем, следующую лемму. Предположим, что она [т.е. синодическая аномалия] получается по гипотезе эпицикла, причем центр эпицикла совершает [среднее] движение по долготе в направлении последовательности знаков по гомоцентрическому с зодиаком кругу, планета же совершает [равномерное] движение по аномалии на эпицикле вокруг его центра, идя по дуге от апогея в направлении последовательности знаков. Проведем от точки нашего зрения некоторую прямую, пересекающую эпицикл так, чтобы половина ее отрезка внутри эпицикла относилась к отрезку секущей от точки местонахождения наблюдателя до сечения с перигейной дугой эпицикла, как скорость эпицикла к скорости планеты. Полученная таким образом точка на проведенной прямой, лежащая на перигейной дуге эпицикла, разделит места с прямыми и попятными движениями так, что планета, находясь в этой точке, будет казаться нам стоящей на месте.

Если же относящаяся к Солнцу аномалия объясняется по гипотезе эксцентрического круга, что возможно лишь для трех планет, которые могут отходить от Солнца на любое расстояние², и центр эксцентрического круга движется [равномерно] вокруг центра зодиака в направлении последовательности знаков со скоростью, равной [средней] скорости Солнца, а планета идет по эксцентру вокруг его центра против последовательности знаков, имея скорость, равную [средней] скорости движения аномалии, и если через центр зодиака, т.е. точку местонахождения наблюдателя, провести прямую, пересекающую эксцентр так, чтобы половина этой прямой относилась к меньшему из отрезков от положения наблюдателя, как скорость эксцентра относится к скорости планеты, то планета, будучи в точке, где эта прямая пересекает перигейную дугу эксцентра, будет казаться нам находящейся в стоянии. И мы, приступая к изложению, чтобы достичь желаемого результата, и ничем не поступая в удобстве, будем пользоваться общим методом доказательства, составленным для обеих этих гипотез, чтобы можно было обнаружить их согласие и тождество получающихся из них отношений³.

Пусть АВΓΔ [рис. 12.1] будет эпициклом, имеющим центр Е, а АЕГ — диаметром этого эпицикла, проведенным через центр Z круга, проходящего

через середины зодиакальных созвездий, т.е. через точку местонахождения наблюдателя. По обе стороны перигея Γ отложим равные дуги ΓH и $\Gamma\Theta$, из центра Z через точки H и Θ проведем прямые $Z\text{H}\text{B}$ и $Z\Theta\Delta$, затем соединительные прямые ΔH и $\text{B}\Theta$, пересекающиеся в точке K , которая, очевидно, попадает на диаметр $\text{A}\Gamma$. Мы утверждаем сначала, что прямая AZ относится к $\text{Z}\Gamma$, как AK относится к $\text{K}\Gamma$.

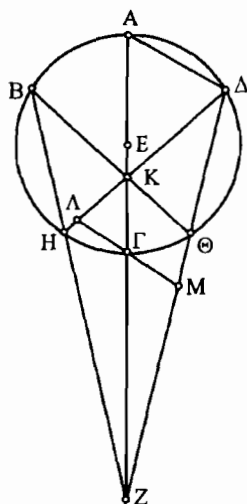


Рис. 12.1

Проведем соединительные прямые $\text{A}\Delta$ и $\Delta\Gamma$ и через точку Γ параллельно $\text{A}\Delta$ прямую ΓM , которая, очевидно, будет перпендикулярной к $\Delta\Gamma$, так как угол $\text{A}\Delta\Gamma$ прямой. Так как угол $\Gamma\Delta\text{H}$ равен углу $\Gamma\Delta\Theta$, то прямая $\Gamma\Delta$ будет равна ΓM и, значит, $\text{A}\Delta$ к каждой из них имеет одно и то же отношение. Но как $\text{A}\Delta$ относится к ΓM , так будет и AZ относиться к $\text{Z}\Gamma$, а как $\text{A}\Delta$ относится к $\Delta\Gamma$, так будет относиться и AK к $\text{K}\Gamma$ ⁴; следовательно, как AZ относится к $\text{Z}\Gamma$, так будет и AK относиться к $\text{K}\Gamma$. Поэтому если эпицикл $\text{AB}\Gamma\Delta$ в гипотезе эксцентра мы будем рассматривать как эксцентрический круг, то точка K будет центром зодиака и диаметр $\text{A}\Gamma$ разделится ею в том же самом отношении, как и в гипотезе эпицикла, так как мы показали, что для эпицикла отношение наибольшего расстояния AZ к наименьшему $\text{Z}\Gamma$ будет тем же самым, что для эксцентра отношение наибольшего расстояния AK к наименьшему $\text{K}\Gamma$.

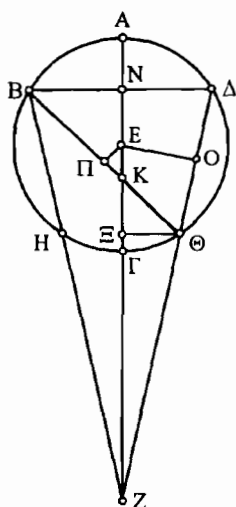


Рис. 12.2

Теперь мы говорим, что отношение прямой ΔZ к $\text{Z}\Theta$ [рис. 12.2] будет равно отношению прямой BK к $\text{K}\Theta$. Действительно, проведем на таком же чертеже соединительную прямую $\text{B}\Delta$, которая, очевидно, будет перпендикулярной к диаметру $\text{A}\Gamma$, а через Θ проведем параллельную ей прямую ΘE . Поскольку BN равна $\text{N}\Delta$, каждая из этих прямых будет иметь к $\text{E}\Theta$ одно и то же отношение. Но как $\text{N}\Delta$ относится к $\text{E}\Theta$, так будет относиться и ΔZ к $\text{Z}\Theta$; как BN относится к $\text{E}\Theta$, так и BK будет относиться к $\text{K}\Theta$ ⁵; следовательно, как ΔZ относится к $\text{Z}\Theta$, так и BK будет относиться к $\text{K}\Theta$. В «композиции» как ΔZ плюс $\text{Z}\Theta$ относится к $\text{Z}\Theta$, так и $\text{B}\Theta$ будет относиться к $\text{K}\Theta$ ⁶. Если мы проведем перпендикуляры EO и EP , то после «выделения» получаем, что как OZ относится к $\text{Z}\Theta$, так и $\text{P}\Theta$ будет относиться к $\text{K}\Theta$ ⁷.

И еще раз после «выделения», как $\text{O}\Theta$ [$\text{OZ} - \text{Z}\Theta$] относится к $\text{Z}\Theta$, так и PK [$\text{P}\Theta - \text{K}\Theta$] будет относиться к $\text{K}\Theta$. Поэтому если в гипотезе эпицикла прямую ΔZ провести так, чтобы $\text{O}\Theta$ имела к $\text{Z}\Theta$ такое же отношение, как скорость эпицикла к скорости планеты, то в гипотезе эксцентра то же самое отношение будет иметь и прямая PK к $\text{K}\Theta$.

Причина же того, что мы здесь, используя эксцентрическую гипотезу при определении стояния, пользуемся не «выделенным» отношением, т.е.

ПК к КΘ, но «композицией», т.е. отношением ПΘ к КΘ, заключается в том, что скорость эпицикла относится к скорости планеты, как [среднее] движение по долготе к [среднему] движению по аномалии, тогда как скорость эксцента к скорости планеты имеет отношение, которое среднее движение Солнца, т.е. [среднее движение] по долготе планеты, сложенное с аномалией, имеет к этой аномалии. Таким образом, например, для планеты Марс скорость эпицикла к скорости планеты имеет отношение, как приблизительно 42 к 37, ибо мы показали, что отношение [среднего] движения по долготе к [среднему] движению по аномалии имеет приблизительно такую величину⁸; а вследствие этого такое же отношение будет иметь и ОΘ к ΘZ; скорость же эксцента будет относиться к скорости планеты как сумма 456 обоих этих чисел 79 к 37, т.е. оно будет равно отношению, полученному в «композиции», ПΘ [ПК + КΘ] к ΘК, так как мы нашли, что при «выделении» отношение ПК [ПΘ - КΘ] к КΘ [ПΘ - КΘ] было равно отношению ОΘ к ΘZ, т.е. 42 к 37.

И всего этого пока нам будет достаточно. Остается показать, почему в каждой из рассмотренных гипотез нужно брать прямые, разделенные именно в этом отношении, чтобы точки Н и Θ соответствовали кажущимся стояниям, и почему на дуге НГΘ необходимо должно иметь место попятное движение, а на остальной части круга — движение вперед. Этому Аполлоний предпосылает следующую лемму.

Если в треугольнике АВГ, где сторона ВГ больше АГ, отложить ГΔ, не меньшую АГ, то ГΔ будет иметь к ВΔ отношение большее, чем 457 угол АВГ имеет к ВГА⁹.

Доказывает он это так. Дополним, говорит он, параллелограмм АДГЕ [рис. 12.3], и пусть продолжения ВА и ГЕ пересекутся в точке Z. Поскольку АЕ не менее АГ, круг, описанный из центра А радиусом АЕ, пройдет или через Г, или дальше ее. Пусть он пройдет через Г, как [круг] НЕГ. И так как треугольник АЕZ больше сектора АЕН, а треугольник АЕГ меньше сектора АЕГ, то треугольник АЕZ к 458 треугольнику АЕГ будет иметь большее отношение, чем сектор АЕН к сектору АЕГ. Как сектор АЕН относится к сектору АЕГ, так будет и угол ЕАЗ относиться к углу ЕАГ, и как треугольник АЕZ относится к треугольнику АЕГ, так будет относиться и основание ZE к ЕГ¹⁰. Следовательно, ZE к ЕГ будет иметь отношение, большее, чем угол ZAE к углу ЕАГ. Но как ZE относится к ЕГ, так будет относиться и ГΔ к ΔВ¹¹. Угол ZAE равен углу АВГ, угол ЕАГ равен ВГА; поэтому ГΔ имеет к ΔВ большее отношение, чем угол АВГ к углу АГВ. Ясно также, что это отношение будет еще больше, если мы предположим, что ГΔ, т.е. АЕ, не равна, а больше АГ.

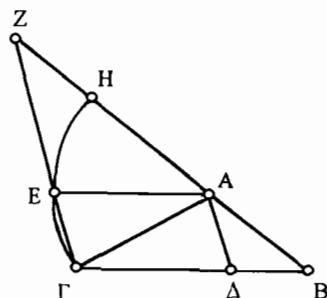


Рис. 12.3

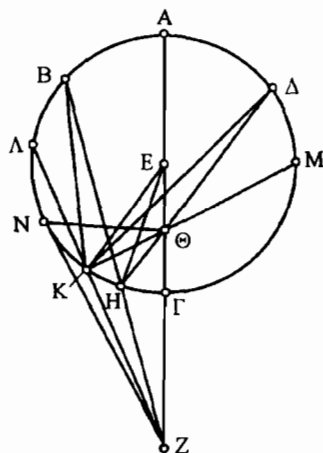


Рис. 12.4

Доказав предварительно это, возьмем эпицикл $AB\Gamma\Delta$ с центром E [рис. 12.4] и диаметром AEG ; последний мы продолжим до точки Z — положения наблюдателя, чтобы EG имела к ΓZ большее отношение, чем скорость эпицикла к скорости планеты. Тогда возможно будет провести прямую ZHB , чтобы половина BH имела к HZ отношение, как скорость эпицикла к скорости планеты¹². Если мы по доказанному выше отложим равную AB дугу AD и проведем соединительную прямую $\Delta\Theta H$, то в гипотезе эксцентра точка Θ будет представлять собой положение наблюдателя, и половина ΔH будет иметь к ΘH такое же отношение, как скорость эксцентра к скорости планеты. Мы утверждаем, что при нахождении планеты в точке H она в обеих гипотезах будет казаться стоящей. И если мы по обе стороны от H возьмем какую-нибудь дугу, то обращенная к апогею [дуга] окажется с прямым движением, а к перигею — с обратным.

Действительно, возьмем сначала какую-нибудь дугу KH по направлению к апогею и проведем $ZK\Lambda$ и $K\Theta M$, затем — соединительные прямые BK и ΔK , а также EK и EH . Так как в треугольнике BKZ сторона BH больше BK ¹³, то BH будет иметь к HZ большее отношение, чем угол HZK к углу HVK , так что половина BH имеет к HZ отношение большее, чем угол HZK к удвоенному углу KBH , т.е. [как угол HZK] к углу KEH . Отношение же половины BH к HZ равно отношению скорости эпицикла к скорости планеты, поэтому угол HZK имеет к KEH меньшее отношение, чем скорость эпицикла к скорости планеты. Следовательно, угол, имеющий к KEH такое же отношение, как скорость эпицикла к скорости планеты, будет больше угла HZK . Пусть этим углом будет HZN . Так как планета проходит дугу KH эпицикла в то же самое время, в какое центр эпицикла прошел в противоположном направлении расстояние, равное [угловому] расстоянию от ZH до ZN , то ясно, что для нашего зрения в одинаковое время дуга KH эпицикла перенесет планету против последовательности знаков на угол HZK , меньший того, на котором сам эпицикл передвинул ее в направлении последовательности, т.е. на угол HZN . Таким образом, планета продвинется вперед на угол KZN .

Подобное рассуждение мы применим и для эксцентрического круга¹⁴, так как BH имеет к HZ большее отношение, чем угол HZK к углу HVK . Следовательно, по «композиции» BZ [$BH + HZ$] будет иметь к ZH отношение, большее того, какое угол $BK\Lambda$ [угол $HZK +$ угол HVK] имеет к HVK . Но как BZ относится к ZH , так будет относиться и $\Delta\Theta$ к ΘH ¹⁵. Угол $BK\Lambda$ равен углу ΔKM ¹⁶, и угол HVK равен $H\Delta K$, поэтому $\Delta\Theta$ будет иметь к ΘH отношение, большее того, какое угол ΔKM имеет к углу $H\Delta K$. Таким образом, при «композиции» ΔH [$\Delta\Theta + \Theta H$] будет иметь к $H\Theta$ большее отношение, чем угол $H\Theta K$ [угол $\Delta KM +$ угол $H\Delta K$] к углу $H\Delta K$. Тогда после «выделения» половина ΔH будет иметь к $H\Theta$ большее отношение, чем угол $H\Theta K$ к удвоенному углу $H\Delta K$, или чем угол $H\Theta K$ к углу HEK . Поскольку отношение половины ΔH к ΘH есть отношение скорости эксцентра к скорости планеты, угол $H\Theta K$ имеет к HEK меньшее отношение, чем скорость эксцентра к скорости планеты. Значит, угол, имеющий с HEK такое же отношение, как скорость эксцентра к скорости планеты, будет больше угла $H\Theta K$. Пусть опять это будет $H\Theta N$. Так как в одно и то же время сама планета, пройдя дугу KH , передвинулась против

Пусть АВ [рис. 12.6] будет кругом, несущим центр эпицикла²¹, а АГВ будет его диаметром, на котором мы предположим находящимся в Г центр зодиака, т.е. положение наблюдателя. Описав около центра А эпицикл ΔEZH , проведем прямую ГЗЕ так, чтобы, опустив на нее перпендикуляр АΘ, мы получили, что половина EZ, т.е. ΘZ , имела к ЗГ такое же отношение, как скорость эпицикла к скорости планеты.

Предположим сначала, что эпицикл занимает положение, соответствующее среднему расстоянию, так что периодические движения по долготе и аномалии будут приблизительно такими же, как если бы они наблюдались

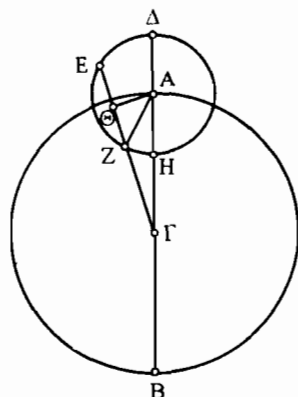


Рис. 12.6

из центра зодиака²². Для планеты Сатурн доказано, что, приняв среднее расстояние ГА равным 60, мы получим радиус АД эпицикла равным $6\frac{1}{2}$ ²³, так что вся ΔГ будет равна 66;30, а остаток ГН — 53;30 таким же частям; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 3557;45. Но прямоугольник между ΔГ, ГН равен прямоугольнику между ЕГ, ГЗ²⁴, и мы получим, что произведение ЕГ на ГЗ равно 3557;45 таким же частям. Далее, для средних движений, приняв за 1 скорость эпицикла, т.е. прямую ΘZ , мы получим, что скорость планеты, или прямая ЗГ, будет равна приблизительно 28;25,46²⁵, так что вся ЕГ [ЗГ + $2\Theta Z$] получается равной 30;25,46, а прямоугольник на ЕГ и ГЗ равен 865;5,32 таким

же частям. Если разделить 3557;45 на это число 865;5,32 и из полученного частного 4;6,45 извлечь квадратный корень 2;1,40, то, умножив его отдельно на соответствующее ΘZ число (равное 1), а также на 28;25,46 для ЗГ, получим, что ΘZ будет равна 2;1,40 частям, каких в прямоугольнике на ЕГ, ГЗ содержится 3557;45, а ЗГ равна 57;38,55 таким же частям. Если провести соединительную прямую AZ, равную 6;30 частям, каких в прямой ZΘ содержится 2;1,40 (если же взять AZ за 120, таких частей в ZΘ будет 37;26,9), то дуга на ΘZ будет равняться 36;21,15 градусам²⁶, каких в круге около прямоугольного треугольника AZΘ содержится 360, а угол ZΑΘ — 36;21,15 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или приблизительно 18;10,38 градусам, каких 360 составят четыре прямых угла. Если гипотенуза ГНА равна 60, то вся ГЗΘ [ГЗ + ZΘ] получается равной 59;40,35 таким частям; если же принять гипотенузу за 120, то ГЗΘ будет равна 119;21,10, и дуга на ГΘ будет равняться 168;5,39 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника АГΘ будет 360, а угол ГΑΘ равен 168;5,39 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или же приблизительно 84;2,50 градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Вследствие этого мы получим, что угол АГΘ будет равен недостающим до прямого 5;57,10 градусам, а угол ZАН — 65;52,12 градусам, получающимся после вычитания угла ZΑΘ из ГΑΘ. Так как в своем первом стоянии планета видна по прямой ГЗ, а в [среднем] противостоянии — по ГН, то ясно, что если бы центр эпицикла [в течение этого интервала] совсем не двигался в направлении последовательности знаков, то 65;52,15 градусов его дуги ZН соответствовали бы 5;57,10 градусам угла АГЗ —

а ГZ — скорости планеты 28;32,16 и всю ЕГ [GZ + 2ZΘ] — 30;19,16 таким же частям, то произведение ЕГ на ГZ равняется 865;17,50. Разделим опять 3979;25,25 на 865;17,50 и возьмем из полученного частного 4;35,56 квадратный корень. Найденную его величину 2;8,40 умножим отдельно на 0;53,30 для прямой ΘZ, а также на 28;32,16 для ZГ. Тогда получим ΘZ равной 1;54,44 части, каких в AZ имеется 6;30, в АГ — 63;25, в ГZ — 61;11,52, а во всей ГΘ — 63;6,36 таких же части. Если гипотенузу AZ [прямоугольного треугольника AZΘ] принять за 120, то в ΘZ будет 35;18,9 таких частей; если же за 120 принять гипотенузу ГА [прямоугольного треугольника АГΘ], то в прямой ГΘ таких частей будет 119;25,11. Вследствие этого дуга на ΘZ будет равна 34;13,4 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника AZΘ будет 360, а дуга на ГΘ — 168;43,38 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника АГΘ будет 360. И, следовательно, если два прямых угла принять за 360, то в угле ZAΘ будет 34;13,4 таких градусов, а в угле ГАΘ — 168;43,38. Если же за 360 принять четыре прямых угла, то угол ZAΘ будет равен 47;6,32 градусам, а угол ГАΘ — 84;21,49. Поэтому остающийся угол АГΘ от одного из стояний до оппозиции мы получили бы равным 5;38,11

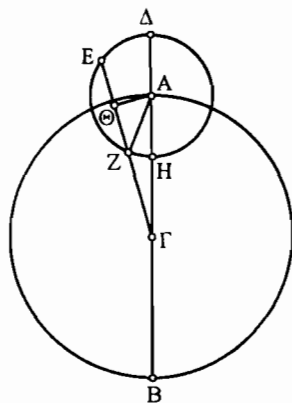


Рис. 12.7

градусам, если бы эпицикл не имел прямого движения³⁰, а остающийся угол $\angle ZAH$ [угол $\angle GA\Theta$ — угол $\angle ZA\Theta$] видимого движения по эпициклу³¹ на том же расстоянии равнялся бы $67;15,17$ градусам. Но так как этому числу градусов по отношению скоростей для апогея соответствует $2;6,6$ градуса уточненной долготы³², то для половины всего попятного движения мы получим остающиеся $3;32,5$ [$5;38,11 - 2;6,6$] градуса и $70\frac{1}{3}$ дней, в течение которых планета продвигается примерно на $2;21,25$ градуса долготы³³ в периодическом движении, соответствующих указанным $2;6,6$ градусам истинной долготы, а все попятное движение составит $7;4,10$ градусов и $140\frac{2}{3}$ дней.

Теперь подобным же образом на том же чертеже [рис. 12.8] определим соответствующие числовые величины для наименьшего расстояния, когда находящаяся посередине между стояниями оппозиция получается в наиболее

471

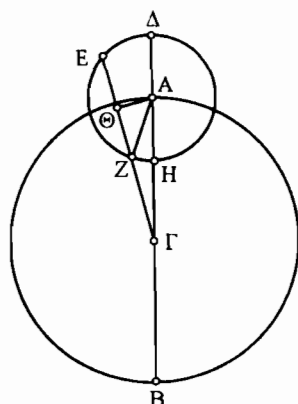


Рис. 12.8

близкой к Земле точке эксцентра, а каждое стояние — на указанном расстоянии [$2;19$ градуса] по долготе от места оппозиции, т.е. от перигея. В этом положении мы также считаем, что прямая AG не отличается от наименьшего расстояния, а соответствующий 1 градусу долготы простаферез составляет приблизительно $7;20$ шестидесятых. Таким образом, и здесь видимая скорость эпицикла имеет к видимой скорости планеты такое же отношение, как $1;7,20$ к $28;18,26$ ³⁴. Вследствие этого, если прямая ΘZ равна $1;7,20$ части, то в GZ таких частей будет $28;18,26$, во всей EG — $30;33,6$, а содержащийся между EG , GZ прямоугольник равен $864;49,58$ ³⁵. Если радиус ΔA эпицикла равен $6;30$, то AG , не отличающаяся от наименьшего расстояния, будет равна $56;35$, вся

ΔG — $63;5$ таким частям, а остаток GH — $50;5$ частям. Заключенный же между ними прямоугольник, равный прямоугольнику на EG и GZ , равняется $3159;25,25$. Если подобным же образом разделим $3159;25,25$ на $864;49,58$, из полученного частного $3;39,12$ возьмем квадратный корень и его величину $1;54,42$ ³⁶ умножим раздельно на $1;7,20$ для прямой ΘZ и на $28;18,26$ для прямой ZG , то получим ΘZ равной $2;8,43$ частям, каких радиус AZ эпицикла содержит $6;30$, а расстояние AG в рассматриваемый момент — $56;35$; прямая GZ равна $54;6,22$ частям и вся $G\Theta$ — $56;15,5$. Следовательно, если гипотенузу AZ принять равной 120 , то прямая ΘZ будет содержать $39;36,18$ таких частей; если гипотенуза GA равна 120 , то $G\Theta$ будет равна $119;17,46$ таким же частям. Вследствие этого дуга на $Z\Theta$ будет иметь $38;32,34$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $AZ\Theta$ содержится 360 , а дуга на $G\Theta$ — $167;34,54$ градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $AG\Theta$ содержится 360 . Таким образом, если принять два прямых угла за 360 , то угол $\angle ZA\Theta$ будет равен $38;32,34$ градусам, а угол $\angle GA\Theta$ — $167;34,54$. Если же за 360 взять четыре прямых угла, то угол $\angle ZA\Theta$ будет равен $19;16,17$, а угол $\angle GA\Theta$ — $83;47,27$. Следовательно, остающийся угол $\angle A\Theta$, который дает попятное движение, обусловленное скоростью планеты, от одного стояния до оппозиции мы будем иметь равным $6;12,33$ частям,

472

473

а другой угол ZAH , представляющий видимое перемещение по эпициклу, для этого расстояния будет равен $64;31,10$. Так как этому числу градусов по отношению скоростей в перигее соответствуют $2;33,28$ градуса истинной долготы³⁷, то половину всего попятного движения мы получим равной $3;39,5$ градусам $[6;12,33 - 2;33,28]$ и 68 дням³⁸, в течение которых планета в среднем движении продвинется на $2;16,45$ градуса периодического движения, соответствующих указанным $2;33,28$ градусам истинной долготы, а все попятное движение займет $7;18,10$ градусов и 136 дней.

3. Определение попятных движений Юпитера³⁹

У Юпитера при вычислениях для среднего расстояния отношение ΘZ к GZ [рис. 12.9] получается равным 1 к $10;51,29$ ⁴⁰, а EG относится к ZG , как $12;51,29$ к $10;51,29$; содержащийся между ними прямоугольник равен $139;37,39$ ⁴¹. Прямая GA будет относиться к AD , как 60 к $11;30$, а GA к $ГН$ — как $71;30$ к $48;30$; содержащийся между ними прямоугольник будет равен $3467;45$. От деления $[3467;45$ на $139;37,39]$ получается частное $24;50,9$, квадратный корень из которого $4;59,1$, будучи умножен на заданные отношения для ΘZ и ZG при заданных величинах GA и AZ , для ΘZ дает $4;59,1$ части, для GZ — $54;6,44$, а для всей $G\Theta$ — $59;5,45$ таких же частей. Поэтому, полагая в отношениях гипотенузы AZ и AG равными 120 частям, мы получим прямую ΘZ равной $52;0,10$, а $G\Theta$ — $118;11,30$ таким же частям; из дуг над ними дуга на $Z\Theta$ будет равна $51;21,41$ градусу, а на $G\Theta$ — $160;4,55$. Вследствие этого угол $ZA\Theta$ получается равным приблизительно $25;40,50$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $GA\Theta$ — $80;2,28$. Оставшийся [после вычитания угла $GA\Theta$ из 90 градусов] угол ZGA , определяющий движение против последовательности знаков, обусловленное скоростью самой планеты, будет $9;57,32$ градусов, а угол ZAH видимой аномалии — $54;21,38$ градуса. Этим величинам по установленным отношениям соответствуют $5;1,24$ градусов движения по долготе⁴². Половина попятного движения будет составлять $4;56,8$ градуса $[9;57,32 - 5;1,24]$ и приблизительно $60\frac{1}{2}$ дней⁴³, а все попятное движение — $9;52,16$ градусов и 121 день. При удалении на 5 градусов от апогея или перигея [эксцентра] расстояние $[GA$ до центра эпицикла] будет [соответственно] на неощутимую величину меньше наибольшего или больше наименьшего расстояния⁴⁴.

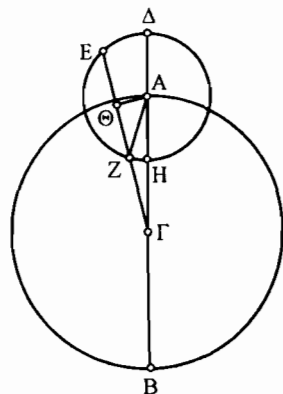


Рис. 12.9

Согласно вычислениям для наибольшего расстояния простаферез [соответствующий 1 градусу] при уточненном определении [скорости] оказывается равным $5\frac{1}{6}$ шестидесятым. Вследствие этого отношение ΘZ к GZ будет таким же, как у $0;54,50$ к $10;56,39$ ⁴⁵, а отношение EG к GZ — как у $12;46,19$ к $10;56,39$; заключающийся же между ними прямоугольник равен $139;46,42$. Далее, отношение GA к AD будет таким же, как $62;45$ к $11;30$, а отношение AG к $ГН$ — как $74;15$ к $51;15$; прямоугольник же между ними равен $3805;18,45$. Из полученного частного [при делении $3805;18,45$ на $139;46,42$] $27;13,26$ квадратный корень будет $5;13,4$. Умножив его на

указанное отношение прямых ΘZ к $ZГ$, при заданных величинах $ГA$ и AZ для $Z\Theta$ получим 4;46,6 части, для $ГZ$ — 57;6,19⁴⁶, а для всей прямой $Г\Theta$ — 61;52,25 такую же часть. Вследствие этого по заданным отношениям [катетов] к каждой из гипотенуз AZ и $AГ$, принятым за 120, $Z\Theta$ получается равной 49;45,23, а $Г\Theta$ — 118;19,27 таким же частям. Из дуг над ними дуга на $Z\Theta$ будет 48;59,34 градусов, а на $Г\Theta$ — 160;49,36. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет равен 24;29,47 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $ГA\Theta$ — 80;24,48 таким же градусам. После вычитания [угла $ГA\Theta$ из 90 градусов] угол $ZГA$ попятного движения, обусловленного скоростью планеты, будет равен 9;35,12 градусам, а угол $ZАН$ видимой аномалии [угол $ГA\Theta$ — угол $ZA\Theta$] — 55;55,1 градусам. По отношению [скоростей] в апогее им соответствуют 4;40,35 градуса уточненного движения [по долготе] и 5;6,35 среднего периодического движения [по долготе]⁴⁷. Половина попятного движения будет равной 4;54,37 градусам [9;35,12 — 4;40,35] и приблизительно 61½ дню⁴⁸, а все попятное движение займет 9;49,14 градусов и 123 дня.

Согласно вычислениям для наименьшего расстояния простаферез [соответствующий 1 градусу] при точном определении [отношения скоростей] оказывается равным 5⅔ шестидесятым. Вследствие этого отношение ΘZ к $ZГ$ будет таким же, как у 1;5,40 к 10;45,49⁴⁹, а отношение $ЕГ$ к $ZГ$ — как у 12;57,9 к 10;45,49; содержащийся между ними прямоугольник равен 139;24,56. Далее, отношение $ГA$ к $AД$ будет таким же, как у 57;15 к 11;30, а отношение $ΔГ$ к $ГН$ — как у 68;45 к 45;45; содержащийся между ними прямоугольник равен 3145;18,45. Из полученного частного [при делении 3145;18,45 на 139;24,56] 22;33,39 квадратный корень 4;45,0, будучи умножен на отношение прямых ΘZ и $ZГ$ при указанных величинах $ГA$ и AZ , для ΘZ дает 5;11,55, для $ZГ$ — 51;7,38, а для всей $Г\Theta$ — 56;19,33 таких же частей. Вследствие этого при заданных отношениях [катетов] к гипотенузам ZA и $AГ$, принятым за 120, прямая $Z\Theta$ становится равной 54;14,47, а $Г\Theta$ — 118;3,46 таким же частям. Из дуг над ними дуга на $Z\Theta$ будет равна 53;45,4 градусам, а на $Г\Theta$ — 159;22,40 градусам. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет иметь 26;52,32 градусов, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $ГA\Theta$ — 79;41,20 таких же градусов. После вычитания [угла $ГA\Theta$ из 90 градусов] угол $ZГA$ попятного движения вследствие собственной скорости светила будет равен 10;18,40, а угол $ZАН$ [угол $ГA\Theta$ — угол $ZA\Theta$] видимой аномалии 52;48,48 градусам. Согласно отношению [скоростей] для перигея им соответствуют 5;21,20 градусов уточненного движения по долготе и 4;54,20 периодического движения [по долготе]⁵⁰. Половина попятного движения получается равной 4;57,20 градусам [10;18,40 — 5;21,20] и приблизительно 59 дням⁵¹, а все попятное движение будет 9;54,40 градусов и 118 дней.

4. Определение попятных движений Марса

У Марса при вычислениях для среднего расстояния отношение ΘZ к $ZГ$ [рис. 12.10] получается таким же, как у 1 к 0;52,51⁵², а отношение $ЕГ$ к $ГZ$ — как у 2;52,51 к 0;52,51; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 2;32,15. Отношение $ГA$ к $AН$ будет таким же, как у 60 к 39;30⁵³, отношение $ΔГ$ к $ГН$ — как у 99;30 к 20;30; содержащийся

Согласно вычислениям для наибольшего расстояния простаферез, соответствующий приращению в 1 градус, при уточненном определении [скоростей] оказывается равным $10\frac{1}{3}$ шестидесятым. Вследствие этого отношение ΘZ к $Z\Gamma$ будет таким же, как у $0;49,40$ к $1;3,11$ ⁵⁸, отношение же $E\Gamma$ к GZ — как у $2;42,31$ к $1;3,11$; содержащийся между ними прямоугольник будет равен $2;51,8$. Отношение ΓA к AH будет, как у $65;40$ к $39;30$, а отношение $\Delta\Gamma$ и ΓH — как у $105;10$ к $26;10$; содержащийся между ними прямоугольник будет равен $2751;51,40$. Из полученного [при делении $2751;51,40$ на $2;51,8$] частного $964;48,47$ квадратный корень $31;3,41$, будучи умножен на приведенные выше отношения прямых ΘZ и $Z\Gamma$, при заданных числовых значениях ΓA и AZ дает для ΘZ величину $25;42,43$, для GZ — $32;42,34$, а для всей $\Gamma\Theta$ — $58;25,17$ таких же частей. Вследствие этого при установленных отношениях [катетов] к каждой из гипотенуз AZ и ΓA , принятым за 120 , прямая $Z\Theta$ становится равной $78;6,44$, а $\Gamma\Theta$ — $106;45,36$ таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $Z\Theta$ равна $81;13,8$ градусу⁵⁹ а на $\Gamma\Theta$ — $125;39,46$ градусам. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет равен $40;36,34$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360 , а угол $\Gamma A\Theta$ — $62;49,53$ таким же градусам. После вычитания угол $Z\Gamma A$ попятного движения, обусловленного собственной скоростью планеты [при движении по эпициклу], будет равен $27;10,7$ градусам [90 — угол $\Gamma A\Theta$], а угол ZAH видимой аномалии — $22;13,19$ градусам [угол $\Gamma A\Theta$ — угол $ZA\Theta$]. По отношениям [скоростей] в апогее им соответствуют $17;13,21$

градусов уточненной долготы и 20;58,21 градусов периодического движения⁶⁰. Половина попятного движения оказывается равной 9;56,46 градусам [27;10,7 – 17;13,21] и приблизительно 40 дням⁶¹, а все попятное движение составит 19;53,32 градусов и 80 дней.

Согласно вычислениям для наименьшего расстояния простаферез [соответствующий приращению аргумента в 1 градус] при уточненном определении [скоростей] оказывается равным $12\frac{2}{3}$ шестидесятым. Вследствие этого отношение ΘZ к $Z\Gamma$ будет таким же, как у 1;12,40 к 0;40,11⁶², а отношение $E\Gamma$ к ΓZ — как у 3;5,31 к 0;40,11; содержащийся между ними прямоугольник равен 2;4,14. И далее, отношение ΓA к AH будет таким же, как у 54;20 к 39;30, а отношение $\Delta\Gamma$ к ΓH — как у 93;50 к 14;50; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 1391;51,40. Из полученного [при делении 1391;51,40 на 2;4,14] частного 672;13 квадратный корень 25;55,38, будучи умножен на указанные выше отношения прямых ΘZ и $Z\Gamma$, при заданных числовых значениях ΓA и AZ дает для ΘZ величину 31;24,3, для ΓZ — 17;21,51, а для всей $\Gamma\Theta$ — 48;45,54 таких же частей. Вследствие этого при установленных отношениях [катетов] к каждой из гипотенуз AZ и $A\Gamma$, принятым за 120, прямая $Z\Theta$ становится равной 95;23,42, а $\Gamma\Theta$ — 107;42,7 таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $Z\Theta$ равна 105;18,10 градусам, а на $\Gamma\Theta$ — 127;40,22 градусам⁶³. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ равен 52;39,5 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $\Gamma A\Theta$ — 63;50,11 таким же градусам. Оставшийся [после вычитания угла $ZA\Theta$ из 90 градусов] угол $Z\Gamma A$ попятного движения, обусловленного собственной скоростью планеты [на эпицикле], будет равен 26;9,49 градусам, а угол ZAH видимой аномалии — 11;11,6 градусов. По отношениям [скоростей] в перигее им соответствуют 20;33,42 градусов уточненной долготы и 16;52,52 градусов периодического движения⁶⁴. Половина попятного движения получается равной 5;36,7 градусам [26;9,49 – 20;33,42] и приблизительно $32\frac{1}{4}$ дням⁶⁵, а все попятное движение составит 11;12,14 градусов и $64\frac{1}{2}$ дня.

5. Определение попятных движений Венеры

У планеты Венера при вычислениях для среднего расстояния отношение ΘZ к $Z\Gamma$ [рис. 12.11] получается таким же, как у 1 к 0;37,31⁶⁶, а отношение $E\Gamma$ к ΓZ — как у 2;37,31 к 0;37,31; содержащийся между ними прямоугольник равняется 1;38,30. Отношение ΓA к AH будет таким же, как у 60 к 43;10, а $\Delta\Gamma$ к ΓH — как у 103;10 к 16;50; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 1736;38,20. Из получающегося [при делении 1736;38,20 на 1;38,30] частного 1057;50,6⁶⁷ квадратный корень будет равен 32;31,29. Умножив его на приведенное отношение прямых ΘZ и $Z\Gamma$, получим, что для заданных величин ΓA и AZ линия ΘZ равна 32;31,29, ΓZ — 20;20,11, а вся $\Gamma\Theta$ — 52;51,40 таким же частям. Вследствие этого, если каждую из гипотенуз AZ и $A\Gamma$ принять за 120, то $Z\Theta$ станет равной 90;24,58, а $\Gamma\Theta$ — 105;43,20 таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $Z\Theta$ будет 97;47,0 градусов, а на $\Gamma\Theta$ — 123;31,49 градуса. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет равен 48;53,30 градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, а угол $\Gamma A\Theta$ — приблизительно 61;45,54

такому же градусу. Остающийся [после вычитания угла $\Gamma\Lambda\Theta$ из 90 градусов] угол $\text{Z}\Gamma\Lambda$ попятного движения, обусловленного собственной скоростью планеты, будет равен 28;14,6 градусам, а угол $\text{Z}\Lambda\text{H}$ [средней] аномалии — 12;52,24 градусам [угол $\Gamma\Lambda\Theta$ — угол $\text{Z}\Lambda\Theta$]. По упомянутому отношению [скоростей] на среднем [расстоянии] им соответствует перемещение по [средней] долготы 20;35,19 градусов⁶⁸. Половина попятного движения получится равной 7;38,47 градусам [28;14,6 — 20;35,19] и приблизительно $20\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ дням⁶⁹, а все попятное движение составит 15;17,34 градусов и $41\frac{2}{3}$ день.

Для точек стояний вблизи апогея расстояние планеты будет приблизительно на 0,5 частей от среднего расстояния меньше наибольшего и больше наименьшего⁷⁰.

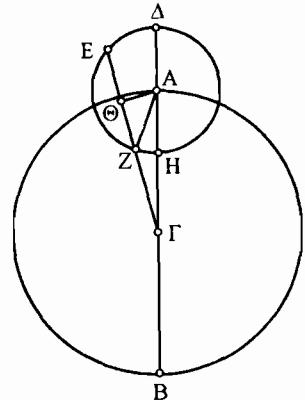


Рис. 12.11

485 Согласно расчетам для наибольшего расстояния простаферез [соответствующий 1 градусу] при уточненном значении [скоростей] оказывается равным $2\frac{1}{3}$ шестидесятым. Вследствие этого отношения ΘZ к $\text{Z}\Gamma$ будет таким же, как у 0;57,40 к 0;39,51⁷¹, а отношение $\text{E}\Gamma$ к GZ — как у 2;35,11 к 0;39,51; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 1;43,4. Отношение $\Gamma\Lambda$ к ΛH будет таким же, как у 61;10 к 43;10, а отношение $\Delta\Gamma$ к $\text{H}\Gamma$ — как у 104;20 к 18;0; содержащийся между ними прямоугольник будет равен 1878;0. Из полученного [при делении 1878 на 1;43,4] частного 1093;16,23 квадратный корень будет равен 33;3,53. Умножив его на вышеприведенное отношение прямых ΘZ и $\text{Z}\Gamma$, получим, что при заданных числовых значениях $\Gamma\Lambda$ и AZ величина ΘZ будет 31;46,44, GZ — 21;57,38, а вся $\Gamma\Theta$ — 53;44,22 таких же части. Вследствие этого, если каждую из гипотенуз AZ и $\Lambda\Gamma$ принять за 120, то $\text{Z}\Theta$ получится равной 88;20,34, а $\Gamma\Theta$ — 105;25,44 таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $\text{Z}\Theta$ равна 94;48,54 градусам, а на $\Gamma\Theta$ — 122;56,27 градусам. В соответствии с этим угол $\text{Z}\Lambda\Theta$ будет равен 47;24,27 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $\Gamma\Lambda\Theta$ — 61;28,14 такому же градусу. Остающийся [после вычитания угла $\Gamma\Lambda\Theta$ из 90 градусов] угол $\text{Z}\Gamma\Lambda$ попятного движения, обусловленного собственной скоростью планеты, будет равен 28;31,46 градусам, а угол $\text{Z}\Lambda\text{H}$ видимой аномалии — 14;3,47 градусам [угол $\Gamma\Lambda\Theta$ — угол $\text{Z}\Lambda\Theta$]. Согласно отношениям [скоростей] для апогея им соответствуют 20;19,3 градусов уточненной долготы и 21;9,3 градус периодического движения⁷². Половина попятного движения получается равной 8;12,43 градусам [28;31,46 — 20;19,3] и приблизительно $21\frac{1}{2}$ дню⁷³, а все попятное движение будет равно 16;25,26 градусам и 43 дням.

487 Согласно вычислениям для наименьшего расстояния простаферез [соответствующий приращению аргумента в 1 градус] при уточнении [значений скоростей] будет равен тем же $2\frac{1}{3}$ шестидесятым. Вследствие этого отношение $\text{Z}\Theta$ к $\text{Z}\Gamma$ будет таким же, как у 1;2,20 к 0;35,11⁷⁴, а отношение $\text{E}\Gamma$ к GZ — как у 2;39,51 к 0;35,11; их произведение будет 1;33,44. Отношение $\Gamma\Lambda$ к $\Lambda\Delta$ такое же, как у 58;50 к 43;10, а отношение $\Delta\Gamma$ к $\text{H}\Gamma$ такое же, как у 102;0 к 15;40; их произведение будет равно 1598;0.

Из полученного [при делении 1598 на 1;33,44] частного 1022;54,7 квадратный корень будет равен 31;58,58. Умножив его на приведенное выше отношение ΘZ к $Z\Gamma$, получим, что при заданных числовых значениях ΓA и AZ величина ΘZ будет равна 33;13,36, ΓZ — 18;45,16, а вся $\Gamma\Theta$ — 51;58,52 такой же части. Вследствие этого, если принять за 120 каждую из гипотенуз AZ и $A\Gamma$, то $Z\Theta$ получится равной 92;22,3, а $\Gamma\Theta$ — 106;1,23 таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $Z\Theta$ равна 100;39,34 градусам, а на $\Gamma\Theta$ — 124;8,22 градусам. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет равен 50;19,47 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $\Gamma A\Theta$ — 62;4,11 таким же градусам. Остающийся [после вычитания угла $\Gamma A\Theta$ из 90 градусов] угол $Z\Gamma A$ попятного движения, обусловленного собственной скоростью планеты, будет равен 27;55,49 градусам, а угол ZAN видимой аномалии — 11;44,24 градусам [угол $\Gamma A\Theta$ — угол $ZA\Theta$]. Согласно отношению [скоростей] в перигее им соответствуют 20;53,30 градусов уточненного движения по долготе, а по средней долготе — 20;4,30 градусов⁷⁵. Половина попятного движения получается вследствие этого равной 7;2,19 градусам [27;55,49 — — 20;53,30] и приблизительно 20 $\frac{1}{3}$ дням⁷⁶, а все попятное движение — 14;4,38 градусам и 40 $\frac{2}{3}$ дням.

6. Определение попятных движений Меркурия

488

У Меркурия при вычислениях для среднего расстояния отношение ΘZ к $Z\Gamma$ [рис. 12.12] получается таким же как отношение 1 к 3;9,8⁷⁷, а отношение $E\Gamma$ к ΓZ — как 5;9,8 к 3;9,8; их произведение равно 16;14,27. Отношение ΓA к AN будет таким же, как у 60 к 22 $\frac{1}{2}$, отношение $\Delta\Gamma$ к

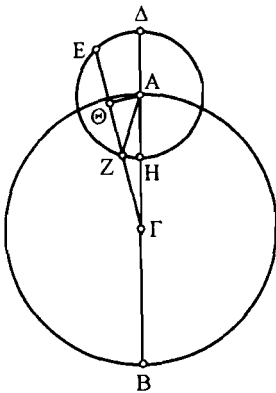


Рис. 12.12

ΓH — как у 82;30 к 37;30; их произведение будет равно 3093;45. Квадратный корень из полученного [при делении 3093;45 на 16;14,27] частного 190;29,31 будет равно 13;48,7. Умножив его на приведенное отношение прямых ΘZ и $Z\Gamma$, получим, что при заданных числовых значениях ΓA и AZ прямая ΘZ будет равна 13;48,7, $Z\Gamma$ — 43;30,24, а вся $\Gamma\Theta$ — 57;18,31 таким же частям. Вследствие этого, если принять каждую из гипотенуз AZ и $A\Gamma$ за 120, то $Z\Theta$ получается равной 73;36,37, а $\Gamma\Theta$ — 114;37,2 таким же частям. Из дуг стоящая на $Z\Theta$ равна 75;40,28 градусам, а на $\Gamma\Theta$ — 145;32,52 градусам. Вследствие этого угол $ZA\Theta$ будет равен 37;50,14 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $\Theta A\Gamma$ — 72;46,26 таким же градусам. Остающийся

489

[после вычитания угла $\Theta A\Gamma$ из 90 градусов] угол $Z\Gamma A$ попятного движения от собственной скорости планеты будет равен 17;13,34 градусам, а угол аномалии ZAN [угол $\Theta A\Gamma$ — угол $ZA\Theta$] — 34;56,12 градусам. Согласно указанному отношению [скоростей] ему соответствуют 11;4,59 градусов движения по [средней] долготе⁷⁸. Для половины попятного движения [после вычитания 11;4,59 из 17;13,34] остается 6;8,35 градусов и приблизительно 11 $\frac{1}{4}$ дней⁷⁹, а все попятное движение составит 12;17,10 градусов и 22 $\frac{1}{2}$ дня.

При вычислениях для наибольшего расстояния, т.е. когда уточненная долгота отстоит на 11 градусов от апогея, которым соответствуют приблизительно $11\frac{1}{2}$ градусов среднего движения, простаферез для уточнения [отношения скоростей] оказывается равным приблизительно $2\frac{1}{3}$ шестидесятым на 1 градус [аномалии]⁸⁰. Вследствие этого отношение ΘZ к $Z\Gamma$ будет таким же, как у $0;57,40$ к $3;11,28$ ⁸¹, отношение $E\Gamma$ к ΓZ — как у $5;6,48$ к $3;11,28$; их произведение будет равно $16;19,2$. Отношение ΓA к AH будет таким же, как у $68;36$ ⁸² к $22;30$, а отношение $\Delta\Gamma$ к ΓH — как у $91;6$ к $46;6$; их произведение будет равно $4199;42,36$. Из полученного [при делении $4199;42,36$ на $16;19,2$] частного $257;22,44$ квадратный корень будет равен $16;2,35$. Умножив его на приведенное отношение прямых ΘZ и $Z\Gamma$, получим при заданных числовых значениях ΓA и AZ , что величина ΘZ равняется $15;25,9$, $Z\Gamma$ — $51;13,43$, а вся $\Gamma\Theta$ — $66;36,52$ таким же частям. Вследствие этого, если каждую из гипотенуз ZA и $A\Gamma$ принять за 120, то $Z\Theta$ получится равной $82;14,8$, а $\Gamma\Theta$ — $116;31,36$ таким же частям. Из дуг над ними стоящая на $Z\Theta$ равна $86;31,4$ градусам, а на $\Theta\Gamma$ — $152;27,56$ таким же градусам⁸³. В соответствии с этим угол $ZA\Theta$ будет равен $43;15,32$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол $\Theta A\Gamma$ — $76;13,58$ таким же градусам. Остаточные [после вычитания угла $\Theta A\Gamma$ из 90 градусов] угол $Z\Gamma A$ попятного движения от собственной скорости планеты будет равен $13;46,2$ градусам, а угол ZAH видимой аномалии [угол $\Theta A\Gamma$ — угол $ZA\Theta$] — $32;52,26$ градусам⁸⁴. По отношениям [скоростей] в апогее им соответствуют $9;48,51$ градусов уточненной долготы и $10;16,51$ периодической⁸⁵. Для половины попятного движения остается $3;57,11$ градуса [$13;46,2 - 9;48,51$] и приблизительно $10\frac{1}{2}$ дней⁸⁶, а все попятное движение будет $7;54,22$ градусов и 21 день.

Согласно вычислениям для наименьших расстояний, которые получаются при удалениях на 120 градусов среднего движения от апогея, простаферез [на 1 градус аргумента] при уточнении [значений скоростей], получающийся от прибавки 11 градусов с каждой стороны от перигея, будет равняться приблизительно $1\frac{1}{2}$ шестидесятой⁸⁷. Вследствие этого отношение ΘZ к $Z\Gamma$ будет таким же, как у $1;1,30$ к $3;7,38$ ⁸⁸, а отношение $E\Gamma$ к ΓZ — как у $5;10,38$ к $3;7,38$; и их произведение будет $16;11,25$. Отношение ΓA к AH такое же приблизительно, как у $55;42$ ⁸⁹ к $22;30$, а отношение $\Delta\Gamma$ к ΓH — как у $78;12$ к $33;12$; их произведение будет $2596;14,24$. Из полученного [при делении $2596;14$ на $16;11,25$] частного $160;31,29$ квадратный корень $12;39,48$, будучи умножен на приведенное отношение ΘZ к $Z\Gamma$, при указанных числовых значениях ΓA и AZ для ΘZ дает $12;58,47$, для $Z\Gamma$ — $39;36,4$, а для всей $\Gamma\Theta$ — $52;34,51$ такие же части. Вследствие этого, если каждую из гипотенуз AZ и $A\Gamma$ принять за 120, то ΘZ будет равна $69;13,31$, а $\Theta\Gamma$ — $113;16,48$ таким же частям. Из дуг стоящая на ΘZ равна $70;27,44$ градусам, а на $\Theta\Gamma$ — $141;28,14$ градусу. В соответствии с этим угол ΘAZ будет равен $35;13,52$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол — $70;44,7$ таким же градусам. Из остаточных [после вычитания] угол $Z\Gamma A$ [90 — угол $\Theta A\Gamma$] попятного движения от собственной скорости планеты будет равен $19;15,53$ градусам, а угол ZAH видимой аномалии [угол $\Theta A\Gamma$ — угол ΘAZ] — $35;30,15$ градусам. При заданном отношении [скоростей] им соответствуют $11;39,30$ градусов уточненной долготы и $11;21,30$ градусов периодической⁹⁰. Для половины попятного движения остается $7;36,23$

градусов [19;15,53 – 11;39,30] и приблизительно $11\frac{1}{2}$ дней⁹¹, а все попятное движение будет 15;12,46 градусов и 23 дня.

Вычисленные величины [попятных движений] приблизительно соответствуют полученным из наблюдений для каждой из планет.

Данные относительно величин движений по долготе для наибольших и наименьших расстояний мы нашли следующим образом⁹². Для наибольшего расстояния, например, Марса, мы показали⁹³, что видимая дуга эпицикла от каждого из стояний до оппозиции, т.е. наблюдаемая из центра зодиака [относительно истинного апогея эпицикла], равна 22;13,19 градусам. Соответствующая ей величина среднего движения по долготе согласно отношению [скоростей] 1 к 1;3,11 составляет приблизительно 21;10 градус. Однако последняя величина не представляется точной вследствие того, что указанные соотношения скоростей, которые мы установили для стояний, не остаются неизменными в течение всего попятного движения. Они, однако, не отличаются от истинных на столько, чтобы соответствующий им простаферез, равный приблизительно 3;45 градусам, отличался на какую-нибудь существенную величину [от истинного значения]. Если мы отнимем 494 его от 22;13,19 градусов на эпицикле (так как на наибольших расстояниях видимые движения по эпициклу будут больше периодических), то соответствующее периодическое движение по аномалии от одного из стояний до оппозиции окажется равным 18;28,19 градусам. По отношениям средних движений ему соответствуют 20;58,21 градусов периодической долготы. Мы воспользуемся им как точным вместо 21;10. Отняв от него 3;45 градуса простафереза, который приблизительно остается таким же и здесь, поскольку в наибольших удалениях видимые движения по долготе будут меньше периодических, мы найдем видимое движение по долготе для приведенного выше удаления, а именно 17;13,21 градусов⁹⁴.

7. Построение таблицы стояний

Для более удобного исследования вопроса о том, в какой точке на эпицикле находится каждая планета, когда она кажется остановившейся, для положений в интервале между средним расстоянием и наибольшим или наименьшим расстоянием, мы построили таблицу, содержащую 31 строку 495 и 12 столбцов. Из них два первых столбца содержат значения средней долготы через 6 градусов соответственно расположению в других таблицах, а десять следующих столбцов дают для каждой из пяти планет величины уточненной аномалии, отсчитываемые от видимых апогеев эпициклов, причем в каждом случае первые столбцы дают аномалии для первых стояний, а вторые — для вторых. Их величины мы определили на основании полученных выше значений для средних, наименьших и наибольших расстояний, а также разностей этих значений на промежуточных расстояниях. Об этих разностях мы уже говорили при определении шестидесятих долей восьмого столбца в таблицах аномалий, так как для каждого из значений периодической долготы вместе с наибольшей разностью видимой аномалии мы определили расстояния эпициклов, на которых больше всего усматриваются различия стояний⁹⁵. Прежде всего, поскольку определенные для апогеев и перигеев попятные движения не содержат стояний, получающихся, когда центры эпициклов находятся в самих апогеях и перигеях, 496 но они отстоят от них на некоторое определенное для каждой планеты расстояние, то мы получили значения [видимой аномалии ZAH], соответствующие самим перигеям и апогеям, следующим образом⁹⁶.

Так как для Сатурна и Юпитера расстояния [ГА] эпициклов непосредственно в апогеях и перигеях ничем существенным не отличаются от тех, которые получаются на установленных выше расстояниях от апогея и перигея, то полученные для них значения аномалии, отсчитываемые от видимых апогеев эпициклов, мы поместили в соответствующих строках, т.е. для апогеев — в строках с числом 360, а для перигеев — в строках с числом 180. Как было показано, для Сатурна расстояние в апогее эксцентрического круга от перигея эпицикла составляет приблизительно 67;15 градусов, а в перигее — 64;31 градуса⁹⁷; для Юпитера это расстояние в апогее равняется 55;55 градусам, а в перигее — 52;49 градусам⁹⁸. Соответствующие им значения расстояний от апогеев эпициклов мы для удобства поместили в следующих четырех столбцах долготы в соответствующих строках, а именно в строке с числом 360 апогея в третьем столбце мы поставили 112;45 градусов для первого стояния Сатурна, а в четвертом — 247;15 градусов для второго стояния. Точно так же в пятом столбце мы поставили 124;5 градуса для первого стояния Юпитера, в шестом — 235;55 градусов для второго стояния. В строках, имеющих число 180 для перигея, следуя тому же порядку, мы поместили 115;29 и 244;31 градусов и точно так же 127;11 и 232;49.

В случае Марса мы показали⁹⁹, что когда центр эпицикла находится на расстоянии 20;58 градусов средней долготы от апогея эксцентра, планета совершает стояния, находясь на 22;13 градусах [по аномалии] от видимого перигея эпицикла. В среднем расстоянии соответствующее значение равняется 16;51 градусам, поэтому разность составит 5;22 градусов. Если же среднее расстояние принять за 60, то наибольшее будет равняться 66, и разность по сравнению со средним равна 6. В указанном же положении апогея¹⁰⁰ это расстояние [ГА] будет 65;40, так что разность по сравнению со средним расстоянием будет 5;40. Умножив 6 на 5;22 и разделив полученное на 5;40, мы найдем приблизительно 5;41 градусов разности в самом апогее по сравнению со средним расстоянием. Таким образом, от видимого перигея эпицикла получается расстояние 22;32 градуса [16;51 + 5;41], от апогея в первом стоянии — 157;28 градусов, которые мы ставим в седьмом столбце в строке, соответствующей 360, а во втором стоянии — 202;32 градуса, которые мы ставим в восьмом столбце в той же самой строке¹⁰¹.

Точно так же, когда центр эпицикла отстоит от перигея [эксцентра] на 16;53 градусов средней долготы¹⁰², планета Марс совершает стояния, находясь на 11;11 градусах [по аномалии] от видимого перигея эпицикла, так что по сравнению со средним расстоянием получается разность 5;40 градусов [16;51 – 11;11]. Из расстояний же наименьшее составляет 54 такие части, имея разницу 6 частей по сравнению со средним. В указанном же положении от перигея эксцентра оно равно 54;20, так что по сравнению со средним расстоянием получается разность 5;40. В самом перигее мы имеем разность 6 частей, вследствие чего мы получаем от видимого перигея эпицикла расстояние 10;51 градусов¹⁰³, от апогея в первом стоянии — 169;9 градусов, а во втором — 190;51. Эти значения мы помещаем в строке для 180 градусов в соответствующих столбцах.

Для Венеры мы показали¹⁰⁴, что на расстоянии [центра эпицикла] в 21;9 градус средней долготы от апогея [эксцентра] планета совершает стояния, находясь на 14;4 градусах [по аномалии] от видимого перигея

эпицикла. Поскольку в среднем расстоянии ее положение соответствует перемещению в 12;52 градусов, получается разность 1;12 градус. Если же среднее расстояние принять за 60, то наибольшее будет равняться 61;15, и разница по сравнению со средним будет 1;15. В указанном же удалении от апогея это расстояние равно 61;10, и разница по сравнению со средним будет 1;10. Умножив 1;15 на 1;12 и разделив полученное на 1;10, мы найдем, что на самом апогее разница [по аномалии] равна 1;17 по сравнению со средним расстоянием. Таким образом, от видимого перигея эпицикла получается 14;9 градусов, а от апогея — 165;51 градусов для первого стояния, что мы и помещаем в девятом столбце в строке для 360 градусов. Для второго стояния мы будем иметь 194;9 градуса, которые мы помещаем в десятом столбце в той же самой строке.

Подобно этому, когда эпицикл отстоит от перигея эксцента приблизительно на 20 градусов в среднем движении по долготе¹⁰⁵, планета [Венера] совершает стояния, находясь на 11;44 градусах от видимого перигея эпицикла, так что по сравнению со средним расстоянием получается разность 1;8 градус. Наименьшее же расстояние составляет 58;45 частей, каких в среднем [расстоянии] имеется 60, и их разность будет равна 1;15. В указанном же удалении от перигея это расстояние составляет 58;50 таких частей и разность по сравнению со средним будет 1;10. Умножив 1;15 на 1;8 и разделив полученное на 1;10, найдем в самом перигее разница [по аномалии] 1;13 по сравнению со средним расстоянием. Таким образом удаление от видимого перигея эпицикла будет 11;39 градусов, а от апогея — 168;21 градусов в первом стоянии и 191;39 во втором, что мы и поместим в тех же самых столбцах в строке, соответствующей 180 градусам.

Для планеты Меркурий мы показали¹⁰⁶, что когда эпицикл удален на 10;17 градусов средней долготы от апогея эксцента, планета совершает стояния, находясь на 32;52 градусах [по аномалии] от видимого перигея эпицикла. В среднем расстоянии это удаление равняется 34;56 градусам, так что разность получится равной 2;4 градусам. Если среднее расстояние принять за 60, то наибольшее будет равняться 69 таким же частям и разность их равна 9. В указанном же удалении от апогея расстояние будет 68;36 и разница по сравнению со средним равна 8;36. Умножив 9 на 2;4 и разделив полученное на 8;36, найдем для самого апогея в среднем расстоянии разность приблизительно 2;10 градуса. Таким образом, расстояние [по аномалии] от видимого перигея эпицикла получается 32;46 градуса, а от апогея — 147;14 градусов для первого стояния; мы их поместим в одиннадцатом столбце в строке, соответствующей 360 градусам. Для второго стояния будет 212;46 градусов, что мы поместим в двенадцатом столбце в той же самой строке.

Точно так же, когда эпицикл отстоит от перигея [эксцента] на 11;22 градусов средней долготы, планета [Меркурий] совершает стояния, находясь на 35;30 градусах от видимого перигея эпицикла¹⁰⁷. Таким образом, по сравнению со средним расстоянием получается разница 34 шестидесятых; из расстояний наименьшее содержит 55;34 частей, каких в среднем имеется 60, и их разность будет 4;26. На указанном же удалении от перигея расстояние равно приблизительно 55;42 таким же частям и разница по сравнению со средним будет 4;18. Умножив 4;26 на 0;34 и разделив полученное на 4;18, найдем для самого перигея разницу 0;35 по сравнению со средним расстоянием. Вследствие этого удаление от видимого перигея эпицикла будет 35;31 градусов, а от апогея в первом стоянии — 144;29

градуса, во втором — 215;31, которые мы и поместим в тех же самых столбцах, но только не в строке для 180 градусов долготы, а в строках для 120 и 240 градусов, так как, по доказанному, именно таким значениям соответствуют перигейные места на эксцентре планеты Меркурий.

Следуя изложенному выше, теми же самыми методами получаем разности и для промежуточных положений [между апогеем и перигеем]¹⁰⁸.

Предположим, например, что для первых стояний требуется найти значения видимой аномалии, когда среднее положение по долготе отстоит от апогея на 30 градусов. В этом положении, если для всех планет считать среднее расстояние равным 60 [частям], расстояние эпицикла получится, как мы показали выше, равным для Сатурна 63;2, для Юпитера — 62;26, для Марса — 65;24, для Венеры — 61;6, для Меркурия — 66;35¹⁰⁹. Таким образом, для каждой планеты разница по сравнению со средним расстоянием будет, чтобы не повторяться, в той же самой последовательности: 3;2, 2;26, 5;24, 1;6 и 6;35. Но в самих апогеях разности расстояний [центра эпицикла от наблюдателя] по сравнению со средними расстояниями будут больше, поскольку для всех планет написанные выше числовые значения расстояний будут больше среднего. В тех же единицах они будут равны 3;25, 2;45, 6;0, 1;15 и 9;0. Так как полные разности градусов видимой аномалии в апогеях и для средних расстояний получаются в той же самой последовательности равными 1;23, 1;33, 5;41, 1;17 и 2;10 градусам, то, умножив каждую из этих величин для каждой планеты соответственно на разницу расстояния по сравнению со средним (например, 1;23 на 3;2 [для Сатурна]) и разделив полученные произведения на разность для наибольшего расстояния (в нашем примере на 3;25 [для Сатурна]), мы найдем для каждой планеты в указанном положении по долготе разности чисел градусов аномалии по сравнению со средним расстоянием, а именно 1;14, 1;22, 5;7, 1;8 и 1;35. Но для средних расстояний числа градусов [по аномалии] от видимого апогея эпицикла будут 114;8, 125;38, 163;9, 167;8 и 145;4. На наибольших расстояниях эти числа для всех планет, кроме Меркурия, будут меньше указанных, для Меркурия же больше. Таким образом, найденные при заданном расстоянии разности для всех планет, кроме Меркурия, мы отнимем от числа градусов для среднего расстояния, а для Меркурия прибавим к нему. В результате мы получим для 30 градусов средней долготы значения видимой аномалии, отсчитываемые от апогея эпицикла, которые должны быть помещены в столбцах для первых стояний: для Сатурна — 112;54, для Юпитера — 124;16, для Марса — 158;2, для Венеры — 166;0, для Меркурия — 146;39. Вслед за этим мы можем заполнить столбцы для вторых стояний для каждой [планеты], поместив в них (в тех же самых строках в столбцах вторых стояний) разности после вычитания из 360 градусов чисел для первых стояний. Для указанной долготы [соответственно находим]: 247;6, 235;44, 201;58, 194;0 и 213;21 градусов.

Легко понять, что хотя мы привели [в таблице] наблюдаемые градусы аномалии, отсчитываемые от видимого апогея эпицикла, но для удобства можно взять отнесенные к среднему апогею [эпицикла] неуточненные [значения аномалии] и по ним получить то же самое. При этом соответствующий каждому значению средней долготы простаферез, помещенный в таблицах аномалии, мы вычитаем из найденного числа градусов видимой аномалии вплоть до 180 градусов расстояния от апогея эксцентра и прибавляем к нему, если это расстояние [по средней долготе от апогея] превышает 180 градусов. Построенная таблица будет такова.

8. Таблица стояний. Значения уточненной аномалии¹¹⁰

506-507

Общие числа		Сатурн		Юпитер		Марс		Венера		Меркурий	
		1-е стояние	2-е стояние	1-е стояние	2-е стояние	1-е стояние	2-е стояние	1-е стояние	2-е стояние	1-е стояние	2-е стояние
0°	360°	112°45'	247°15'	124° 5'	235°55'	157°28'	202°32'	165°51'	194° 9'	147°14'	212°46'
6	354	112 45	247 15	124 6	235 54	157 29	202 31	165 52	194 8	147 13	212 47
12	348	112 46	247 14	124 7	235 53	157 34	202 26	165 53	194 7	147 8	212 52
18	342	112 48	247 12	124 9	235 51	157 41	202 19	165 55	194 5	147 1	212 59
24	336	112 51	247 9	124 12	235 48	157 50	202 10	165 57	194 3	146 51	213 9
30	330	112 54	247 6	124 16	235 44	158 2	201 58	166 0	194 0	146 39	213 21
36	324	112 58	247 2	124 21	235 39	158 18	201 42	166 4	193 56	146 25	213 35
42	318	113 3	246 57	124 26	235 34	158 34	201 26	166 9	193 51	146 11	213 49
48	312	113 8	246 52	124 32	235 28	158 55	201 5	166 15	193 45	145 55	214 5
54	306	113 15	246 45	124 39	235 21	159 17	200 43	166 22	193 38	145 39	214 21
60	300	113 22	246 38	124 47	235 13	159 42	200 18	166 29	193 31	145 23	214 37
66	294	113 29	246 31	124 55	235 5	160 10	199 50	166 35	193 25	145 8	214 52
72	288	113 36	246 24	125 3	234 57	160 39	199 21	166 42	193 18	144 58	215 2
78	282	113 44	246 16	125 12	234 48	161 10	198 50	166 50	193 10	144 52	215 8
84	276	113 53	246 7	125 22	234 38	161 44	198 16	166 58	193 2	144 46	215 14
90	270	114 1	245 59	125 32	234 28	162 18	197 42	167 7	192 53	144 40	215 20
96	264	114 10	245 50	125 41	234 19	162 54	197 6	167 14	192 46	144 36	215 24
102	258	114 18	245 42	125 51	234 9	163 31	196 29	167 21	192 39	144 33	215 27
108	252	114 27	245 33	126 0	234 0	164 9	195 51	167 28	192 32	144 30	215 30
114	246	114 35	245 25	126 10	233 50	164 47	195 13	167 35	192 25	144 30	215 30
120	240	114 43	245 17	126 19	233 41	165 25	194 35	167 43	192 17	144 29	215 31
126	234	114 51	245 9	126 28	233 32	166 3	193 57	167 50	192 10	144 29	215 31
132	228	114 58	245 2	126 36	233 24	166 37	193 23	167 56	192 4	144 30	215 30
138	222	115 5	244 55	126 44	233 16	167 8	192 52	168 1	191 59	144 31	215 29
144	216	115 11	244 49	126 51	233 9	167 39	192 21	168 6	191 54	144 33	215 27
150	210	115 16	244 44	126 57	233 3	168 4	191 56	168 10	191 50	144 35	215 25
156	204	115 21	244 39	127 2	232 58	168 28	191 32	168 14	191 46	144 37	215 23
162	198	115 25	244 35	127 6	232 54	168 46	191 14	168 17	191 43	144 38	215 22
168	192	115 27	244 33	127 8	232 52	168 59	191 1	168 19	191 41	144 39	215 21
174	186	115 29	244 31	127 10	232 50	169 8	190 52	168 20	191 40	144 40	215 20
180	180	115 29	244 31	127 11	232 49	169 9	190 51	168 21	191 39	144 40	215 20

9. Определение наибольших удалений Венеры и Меркурия от Солнца

После изложения теории попятных движений следует определить получающиеся при установленных предположениях наибольшие отклонения от Солнца планет Венера и Меркурий для каждой из двенадцати частей зодиака. В установленных для этого [таблицах] мы поместили [наибольшие удаления] применительно к видимым положениям Солнца, предполагая, что упомянутые планеты находятся как бы в началах этих двенадцати частей и что положения их апогеев отнесены к соответствующим нашему времени точкам равноденствий и солнцеворотов, иными словами, что апогей Венеры находится на 25 градусах Тельца, а Меркурия — на 10 градусах Клешней¹¹¹.

Получающееся вследствие передвижения апогеев изменение наибольших отклонений легко может быть исправлено позднейшими исследователями при помощи тех же самых методов; кроме того, в течение очень большого времени оно остается незначительным. Чтобы сделать понятным характер этих методов, покажем, например, для Венеры, каковы будут упомянутые наибольшие отклонения, утренние и вечерние, когда планета находится в точке весеннего равноденствия, т.е. в начале Овна¹¹².

Итак, пусть АВГДЕ [рис. 12.13] будет прямой, проходящей через апогей А эксцентра¹¹³. Предположим, что на ней в точке В находится центр равномерного движения, в Г — центр несущего эпицикл эксцентрического круга и, наконец, в Д — центр зодиака. Проведем радиус ГЗ эксцентра, опишем вокруг З эпицикл НО.

Из Δ проведем касательную $\Delta\Theta$ к стороне эпицикла, которая представляет утреннюю видимость и предшествует ему [в суточном движении], соединительные прямые BZH , $Z\Theta$ и перпендикуляры $ГК$, $ГЛ$, $ВМ$. Так как ΔA направлена к 25 градусам Тельца, а $\Delta\Theta$ — к началу Овна, то угол $\Delta\Delta\Theta$ будет равен 55 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 110 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а угол $\DeltaГК$ — недостающим до одного прямого 70 градусам. Таким образом, дуга на $ГК$ равна 110 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $Г\Delta К$ содержится 360, а прямая $ГК$ — 98;18 частям, каких в гипотенузе $Г\Delta$ будет 120. Если прямая $Г\Delta$ равна 1;15, а радиус $Z\Theta$ эпицикла — 43;10, то в $ГК$ или в $\Delta\Theta$ будет 1;1, а в остатке $Z\Lambda$ [после вычитания $\Delta\Theta$ из $Z\Theta$] — 42;9 таких части, каких в радиусе $ГZ$ эпицикла предполагается 60. Значит, если гипотенуза $ГZ$ равна 120, то в $Z\Lambda$ таких частей будет 84;18, а дуга на ней имеет 89;16 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника $ГZ\Lambda$ содержится 360; таким образом, угол $ZГ\Lambda$ равен 89;16 градусам, каких в двух прямых углах будет 360. Поскольку угол $\DeltaГК$ имеет 70 таких градусов, угол $\LambdaГК$ прямой, весь угол $ZГ\Delta$ получится равным 339;16 градусам [89;16 + 70 + 180], а остающийся [после вычитания из двух прямых углов угла $ZГ\Delta$] угол $\LambdaГZ$ — 20;44 таким же градусам. Поэтому дуга на $ВМ$ равна 20;44 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $ВГМ$ будет 360, а дуга

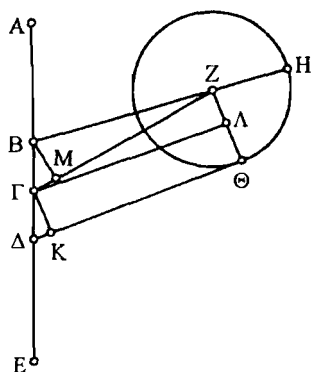


Рис. 12.13

на ГМ — недостающим до полукруга 159;16 градусам. Из стягивающих их прямых ВМ будет равна 21;35 части, каких в гипотенузе ВГ имеется 120, а ГМ — 118;2 таким же частям. Если прямая ВГ равна 1;15, а радиус ГЗ эксцента — 60, то таких частей в ВМ будет 0;13, в ГМ — 1;14, а в остатке [после вычитания ГМ из ГЗ] МЗ — 58;46. Вследствие этого гипотенуза ВЗ будет иметь 58;46 таких же частей; значит, если прямая ВЗ равна 120, то в ВМ таких частей будет 0;27, а дуга на ней имеет 0;26 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника ВЗМ содержится 360. Таким образом, угол ВЗГ равен 0;26 градусов, каких в двух прямых углах будет 360. Поскольку было доказано, что угол АГЗ равен 20;44 таким же градусам, весь угол АВЗ равномерного движения по долготе будет равен 21;10 градусу, каких в двух прямых углах имеется 360, или 10;35 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах.

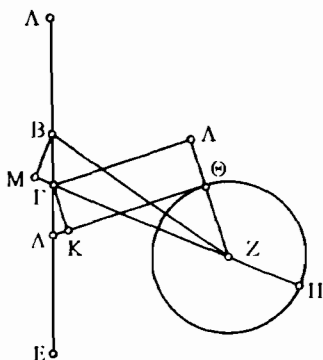


Рис. 12.14

Следовательно, среднее положение Солнца будет отстоять от апогея А на 10;35 градусов против последовательности знаков и, очевидно, окажется на 14;25 градусах Тельца, истинное же его положение будет на 15;14 градусах. Таким образом, планета, находящаяся в начале Овна, будет иметь наибольшее утреннее отклонение от истинного положения Солнца, равное 45;14 градусам¹¹⁴.

Теперь возьмем соответствующий чертеж [рис. 12.14], когда касательная будет проведена к стороне эпицикла, которая представляет вечернюю видимость и идет позади эпицикла [в суточном движении], а планета предполагается точно так же находящейся в начале Овна. На

основании доказанного выше, если угол АΔΘ сохраняет ту же величину, угол ΔГК получится равным 70 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, а прямая ГК или АΘ равна 1;1 части, каких в радиусе ГЗ эксцента содержится 60, а в радиусе ЗΘ эпицикла — 43;10. Следовательно, в ЗЛ [ЗΘ + АΘ] таких частей будет 44;11. Ясно, что если взять гипотенузу ГЗ [треугольника ГЗЛ] за 120, то в ЗЛ таких частей будет 88;22, а дуга на ней будет иметь 94;51 градуса, каких в круге около прямоугольного треугольника ГЗЛ содержится 360. Таким образом, угол ЗГЛ равен 94;51 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, угол ЗГК — недостающим до одного прямого угла 85;9 градусам, а весь угол ЗГΔ, т.е. ВГМ, — 155;9 таким же градусам. Вследствие этого находящаяся на ВМ дуга будет равна 155;9 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ВГМ имеется 360, а дуга на ГМ — недостающим до полукруглости 24;51 градусам. Из стягивающих их прямых ВМ равна 117;11 частям, каких в гипотенузе ВГ будет 120, а ГМ — 25;49 таким же частям. Поэтому если прямая ВГ равна 1;15, то таких частей в ВМ будет 1;13, в МГ — 0;16, а во всей МЗ — 60;16, поэтому гипотенуза ВЗ будет равна 60;17 таким же частям. Значит, если прямая ВЗ равна 120, то в ВМ таких частей будет 2;25, а дуга на ней содержит 2;19 градуса, каких в круге около прямоугольного треугольника ВЗМ имеется 360. Таким образом, угол ВЗМ равен 2;19 градусам, каких в двух прямых углах будет 360. Но угол ВГЗ равен 204;51 таким же градусам, поскольку угол ΔГЗ, по доказанному, равняется таким же 155;9 градусам; значит, весь угол АВЗ равномерного

движения по долготе будет равен 207;10 градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах, или 103;35 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах. Следовательно, среднее положение Солнца окажется на 11;25 градусах Водолея [25 градусов Тельца – 103;35 градусов], а истинное — на 13;38. Таким образом, вечернее наибольшее расстояние от истинного положения Солнца, когда планета находится в начале Овна, будет равно 46;22 градусам¹¹⁵.

514 Что касается планеты Меркурий, то для более удобного определения в дальнейшем пропущенных гелиакических восходов¹¹⁶ поставим задачу: найти наибольшее его отклонение от истинного положения Солнца, полагая, что в вечерних отклонениях планета находится в начале Скорпиона, а в утренних — в начале Тельца. Сделанные относительно Меркурия предположения не позволяют по заданному видимому положению планеты определить ее среднее положение по долготе, так как прямая GZ не будет всегда одной и той же и равной радиусу эксцента, как это имеет место в предположениях для других планет, но при задании его среднего положения по долоте определяется и видимое. Введем поэтому для каждой из двенадцати частей зодиака два [средних] положения по долготе, между которыми планета [в наибольшей элонгации] может попасть в начало исследуемого нами [знака]: одно в направлении против последовательности знаков [от начала исследуемого знака], а другое — в направлении последовательности. Вычислив получающиеся в этих положениях наибольшие отклонения, мы найдем то наибольшее отклонение, которое получается в самом начале рассматриваемой двенадцатой части, как легко будет сообразить на основании предыдущего¹¹⁷. Сделаем это сначала для наибольшего вечернего отклонения, соответствующего началу Скорпиона.

515 Пусть АВГД [рис. 12.15] будет проходящим через апогей А диаметром. Предположим, что на нем в точке Г находится центр зодиака, а в В — центр равномерного движения эпицикла. Пусть, по предположению, центр эпицикла находится в самом апогее, так что среднее положение Солнца по долготе попадает на 10 градусов Клешней, а истинное — на 8. Описав около точки А эпицикл ЗН, проведем из Г касательную ГН к его вечерним частям и перпендикулярную к ней соединительную прямую АН. На

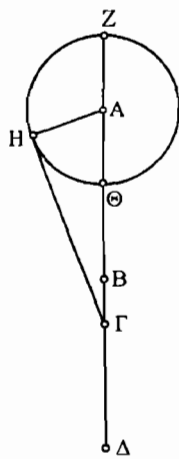


Рис. 12.15

основании доказанного выше¹¹⁸ известно, что если наибольшее расстояние ГА равняется 69, то радиус АН эпицикла равен 22½ таким частям. Положив гипотенузу АГ [треугольника АГН] равной 120, получим, что прямая АН будет равна 39;8 таким частям. Поэтому дуга на АН равна 38;4 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника АГН содержится 360, и угол АГН — 38;4 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 19;2 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах, и ГА направлена к 10 градусам Клешней. Следовательно, планета окажется на 29;2 градусах Клешней, имея наибольшее расстояние от истинного положения Солнца равным 21;2 градусу.

516 Далее предположим, что средняя долгота [центра эпицикла] от апогея будет 3 градуса, так что среднее положение Солнца будет на 13 градусах Клешней, а истинное — на 11;4. Проведя прямую ВЕ [рис. 12.16], опишем около центра Е эпицикл ЗН; проведем также касательную ГН, начертим

соединительные прямые ЕГ и ЕН. В рассматриваемой ситуации, т.е. когда угол АВЕ предполагается равным 3 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, на основании изложенного выше можно показать, что угол АГЕ, соответствующий разности от эксцентриситета, будет равен 2;52 таким же градусам, а расстояние эпицикла в этот момент ЕГ равно

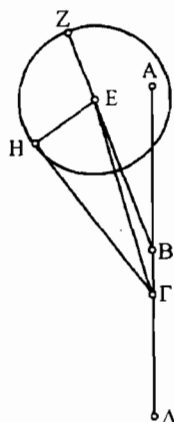


Рис. 12.16

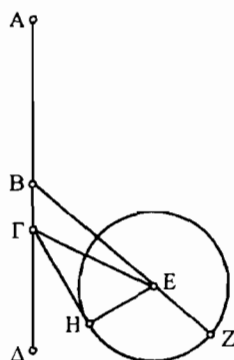


Рис. 12.17

приблизительно 68;58 частям, каких в радиусе ЕН эпицикла будет 22;30. Если гипотенузу ЕГ принять за 120, то прямая ЕН будет равна 39;9 таким же частям; поэтому дуга на ней равна 38;5 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ГЕН содержится 360, а угол ЕГН — 38;5 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или приблизительно 19;3 градусам, каких 360 имеется в четырех прямых углах. Вследствие этого весь угол АГН будет равен 21;55 такому же градусу. Значит, когда планета находится на 1;55 градусе Скорпиона, то наибольшее ее расстояние от истинного положения Солнца будет равно 20;51 градусам [1;55 Скорпиона — 11;4 Весов]. Но было доказано, что при нахождении планеты на 29;2 градусах Клешией ее наибольшее отклонение от истинного положения Солнца составляло 21;2 градус. Так как разность начальных положений равна 2;53, а разность наибольших отклонений — 11 шестидесятых, то 58 шестидесятым от первого начального положения до начала Скорпиона соответствуют приблизительно 4 шестидесятым; отняв их от 21;2, мы получим соответствующее самому началу Скорпиона наибольшее вечернее отклонение от истинного положения Солнца, равное 20;58 градусам¹¹⁹.

Для определения наибольшего утреннего отклонения в начале Тельца предположим сначала среднее положение по долготе отстоящим от перигея на 39 градусов в направлении последовательности знаков¹²⁰. Таким образом, среднее положение Солнца будет на 19 градусах Тельца, а истинное — на 19;38. Возьмем подобный чертеж, на котором эпицикл отступает от перигея в направлении последовательности знаков, и проведем касательную к утренней части эпицикла. В указанном положении, т.е. когда угол ΔВZ [рис. 12.17]

предполагается равным 39 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, на основании изложенного выше можно доказать, что угол ΔГЕ будет равен 40;57 таким же градусам, а прямая ГЕ расстояния в указанный момент содержит 55;59 частей, каких в радиусе ЕН эпицикла имеется 22;30. Если гипотенузу ГЕ принять за 120, то в прямой ЕН таких частей будет 48;14, а дуга на ней будет содержать 47;24 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника ГЕН содержится 360. Поэтому угол ЕГН будет равен 47;24 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 23;42 градусам, каких 360 содержится в четырех прямых углах, а остающийся угол НГΔ — 17;15 таким же градусам. Следовательно, планета Меркурий, находясь на 27;15 градусах Овна, будет иметь наибольшее

утреннее отклонение от истинного положения Солнца, равное 22;23 градусам [19;38 Тельца – 27;15 Овна].

Теперь предположим, что планета по своей средней долготе отстоит от перигея в ту же сторону на 42 градуса, так что среднее положение Солнца будет на 22 градусах Тельца, а истинное — на 22;31. Так как в этом положении угол ΔBZ [рис. 12.17] предполагается равным 42 градусам, каких четыре прямых угла содержат 360, можно показать, что угол ΔGE равен 44;4 таким же градусам, а расстояние GE в указанный момент — 55;50 частям¹²¹, каких радиус EH эпицикла содержит 22;30. Если гипотенузу EH принять за 120, то прямая EH составит 48;19 таких частей, а дуга на ней будет равна 47;30 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника EHN содержится 360. Таким образом, угол EHN равен 47;30 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 23;45 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах; остающийся же угол HGD равен 20;19 таким же градусам. Следовательно, при нахождении планеты Меркурий на 0;19 градусов Тельца ее наибольшее утреннее удаление от истинного положения Солнца будет равно 22;12 градусам [22;31 Тельца – 0;19 Тельца]. Но было показано, что при нахождении на 27;15 градусах Тельца ее наибольшее удаление равнялось 22;23 градусам. Значит, разность начальных положений будет 3;4 градуса, а разность наибольших удалений — 11 шестидесятых, так что 2;45 градусам от первого начального положения до начала Тельца соответствует приблизительно 10 шестидесятых. Отняв их от 22;23, получим наибольшее утреннее расстояние от истинного положения Солнца для начала Тельца, равное 22;13 градусам, что и требовалось определить.

Вычислив таким же образом наибольшие утренние и вечерние отклонения 521 обеих планет, получающиеся для остальных знаков [зодиака], мы составили для них таблицу из 12 строк, равных числу знаков, и 5 столбцов. В первом столбце мы поместили начала знаков [зодиака], отправляясь от Овна, в 4 следующих столбцах — вычисленные наибольшие расстояния планет от истинного положения Солнца, причем второй и третий столбцы содержат утренние и вечерние отклонения Венеры, а четвертый и пятый утренние и вечерние отклонения Меркурия. И таблица эта такова.

10. Таблица наибольших удалений планет от истинного положения Солнца

Начало знака Зодиака	Венера		Меркурий	
	утренние	вечерние	утренние	вечерние
Овен	45° 14'	46° 22'	24° 14'	19° 36'
Телец	45 17	45 31	22 13	21 7
Близнецы	45 34	44 49	20 18	23 41
Рак	45 56	44 25	18 17	26 16
Лев	46 20	44 31	16 35	27 37
Дева	46 38	44 55	16 8	26 17
Весы ¹²²	46 45	45 41	17 46	23 31
Скорпион	46 47	46 30	21 32	20 58
Стрелец	46 30	47 13	26 9	19 28
Козерог	46 7	47 35	28 37	19 14 ¹²³
Водолей	45 41	47 34	28 17	18 51
Рыбы	45 20	47 7	26 24	19 0

Книга XIII

1. О гипотезах, касающихся движения пяти планет по широте

Из теории пяти планет остаются еще два вопроса: об их движении по широте относительно средней линии зодиака и об определении расстояний планет от Солнца в их гелиакических восходах и заходах. В последнем случае необходимо сначала рассмотреть расстояния каждой из планет по широте, поскольку они служат причиной некоторых заметных различий в их гелиакических восходах и заходах. Поэтому мы сначала изложим общие для всех [планет] соображения относительно наклонов их кругов.

Во-первых, у каждой из планет наблюдается двойное неравенство по широте, так же как и у аномалий по долготе, а именно одно зависит от нахождения в различных частях зодиака и определяется эксцентрическим кругом, а другое связано с Солнцем и определяется эпициклом¹. Поэтому мы предполагаем, что у всех планет эксцентр наклонен к плоскости зодиакального круга, а эпицикл имеет наклон к плоскости эксцентра. При этом, как мы сказали, не получится никаких существенных отклонений в движении по долготе или в определении аномалий, если наклоны [эксцентра и эпицикла] будут иметь такие величины, которые мы установим в дальнейшем². Во-вторых, из отдельных наблюдений для каждой планеты мы установили, что когда уточненные значения долготы и аномалии отстоят приблизительно на четверть круга — первое от северной или южной предельной точки эксцентра, второе от соответствующего [истинного] апогея [эпицикла], — планеты наблюдаются в самой плоскости зодиака. Вследствие этого мы предположили, что линии наклона эксцентров проходят через центр зодиака, как у Луны, и определяются диаметрами, проходящими через северную и южную предельные точки, а наклоны эпициклов определяются углом линии, проходящей через центр зодиака, с диаметром эпицикла, на котором находятся видимые апогеи и перигеи.

Далее, для трех планет — Сатурна, Юпитера и Марса — из наблюдений мы установили, что когда положения планет по долготе приходятся на часть эксцентра, прилегающую к апогею, они всегда кажутся имеющими отклонения к северу от плоскости зодиака³ и являются более северными для позиций в перигеях эпициклов, чем в апогеях⁴. Если же их положения по долготе приходятся на перигейную часть эксцентра, то они наблюдаются в противоположном положении — к югу от [плоскости] зодиака. Затем [как мы установили], самые северные точки эксцентров у Сатурна и

Юпитера находятся в начале знака Клешней, а у Марса — в конечных частях Рака, почти в точке его апогея⁵. Отсюда можно заключить, что в упомянутых частях зодиака эксцентры отклоняются к северу, а в диаметрально противоположных частях — на столько же к югу; у эпициклов перигейные части всегда отклонены в ту же сторону, что и эксцентры⁶, причем диаметры, проведенные под прямым углом к линиям апогеев [эпициклов], всегда остаются параллельными плоскости зодиака.

У Венеры и Меркурия мы наблюдали, что когда положения [центров их эпициклов] по долготе приходятся на апогеи и перигеи эксцентров, то положения в перигейной части эпицикла по широте ничем не отличаются от положений в апогейной части [эпицикла], но в обоих случаях будут или севернее, или южнее зодиака на одинаковую величину: у Венеры всегда севернее, а у Меркурия, наоборот, всегда южнее⁷. В наибольших отклонениях [от Солнца] их положения [по широте в апогее эксцентра] различаются между собой больше всего, а именно утренние от вечерних. От положений же в апогеях и перигеях эпициклов, т.е. от разности [по широте], производимой эксцентром, они отличаются на одинаковую величину, но в противоположные стороны. Наибольшее вечернее отклонение планеты, отстающей [от центра эпицикла] при суточном движении, у Венеры будет в апогее эксцентра более северным [чем утреннее отклонение], а в перигее — более южным; у Меркурия, наоборот: в апогее — более южным, а в перигее — более северным. [Кроме того, мы наблюдали, что] когда их уточненные положения по долготе приходятся на узлы [эксцентра⁸], то в точках, отстоящих на четверть окружности от перигеев или апогеев эпициклов, положения обеих планет оказываются в самой плоскости зодиака⁹. Положения же в перигеях [эпициклов] будут в наибольшей степени отличаться [по широте] от положений в апогеях. При этом у Венеры в узле, находящемся на полуокружности, где уравнение отрицательно, инклинация получается к югу, а в узле, лежащем в противоположной полуокружности, — к северу. У Меркурия же наоборот: при нахождении узла в отрицательной полуокружности инклинация будет к северу, а в противоположной части — к югу. Таким образом, получается, что инклинации эксцентров будут также переменными, и период их изменения совпадает с периодом движения эпицикла [по эксцентру]. Если эпицикл будет в узле, то эксцентр попадет в зодиакальную плоскость, в апогеях и перигеях [эксцентров] отклонения эпициклов [по широте от эксцентров] будут наибольшими, причем у Венеры они делают эпицикл более северным, а у Меркурия более южным. [Мы также установили, что] эпициклы производят два неравенства [по широте]: в узлах эксцентров они сообщают наибольшую инклинацию диаметрам, проходящим через видимые апогеи, а в апогеях и перигеях эксцентров — наибольшую обликвацию (такое название мы дадим этому отклонению) диаметрам¹⁰, перпендикулярным упомянутым; наоборот, первый [диаметр] они приводят в плоскость эксцентра в апогеях и перигеях [эксцентра], а последний — в плоскость зодиака в указанных узлах.

2. О характере движения в предполагаемых инклинациях и обликвациях согласно гипотезам

529

Из вышеизложенных предположений получается, что эксцентрические круги пяти планет наклонены к плоскости средней линии зодиака и проходят через центр последнего, но у трех планет — Сатурна, Юпитера и Марса — этот наклон будет постоянным, так что при диаметрально противоположных положениях планеты смещаются по широте в противоположные стороны, а у Венеры и Меркурия эксцентр движется по широте вместе с эпициклом в одном и том же направлении¹¹: для Венеры всегда на север, а для Меркурия на юг.

[У всех планет] проходящие через видимые апогеи диаметры эпициклов, выходя из некоторого начального положения в плоскости эксцента, перемещаются в соответствии [с движением] по малым кругам, которые, так сказать, приложены к их перигейным концам. Размеры этих малых кругов определяются [максимальными] отклонениями по широте [диаметров эпициклов], они перпендикулярны плоскостям эксцентов и имеют свои центры в этих плоскостях; они вращаются равномерно с периодом, равным движению по долготе, выходя из начального положения одного из концов в пересечении своей собственной плоскости и плоскости эпицикла [при ее совпадении с плоскостью эксцента] и двигаясь, предположим, к северу; они увлекают вместе с собой плоскости эпициклов, которые по истечении четверти оборота переходят, очевидно, к самому северному пределу, за следующую четверть оборота они возвращаются в плоскость эксцента, за третью четверть — к самому южному пределу и, наконец, за последнюю возвращаются к начальному положению в плоскости. Начальная и конечная точки этого движения у Сатурна, Юпитера и Марса находятся в сечении, соответствующем восходящему узлу, у Венеры — в перигее эксцента, у Меркурия — в апогее эксцента¹². Диаметры [эпициклов], проведенные под прямыми углами к вышеупомянутому, у первых трех планет, остаются, как мы сказали¹³, всегда параллельными плоскости зодиака или во всяком случае не отклоняются от нее на заметную величину; у Меркурия же и Венеры эти диаметры тоже выходят из некоторого начального положения в плоскости зодиака и вращаются в соответствии [с движением воображаемой точки] по малому кругу, приложенному к их концам, имеющим, скажем, большую долготу. Эти малые круги тоже должны быть соразмерны величинам [максимального] отклонения по широте [диаметра эпицикла], перпендикулярны к плоскости зодиака и иметь центры на диаметрах, параллельных плоскости зодиака. Вращения происходят с такой же скоростью, что и у первых малых кругов, выходя из какого-нибудь начального положения в сечениях их собственных плоскостей и [плоскостей] эпициклов [когда они совпадают с плоскостью зодиака]; двигаясь, скажем, опять к северу, они увлекают за собой западные¹⁴ концы упомянутых диаметров совершенно так же, как было сказано выше. Начальной и конечной точками подобного движения будут: у Венеры — узел, соответствующий положительной полуокружности, а у Меркурия — узел, соответствующий отрицательной полуокружности¹⁵.

Однако относительно упомянутых малых кругов, по которым происходит вращение [по широте] эпициклов, мы должны предположить следующее: они тоже делятся пополам теми плоскостями, у которых, как мы сказали,

происходят периодические изменения наклона¹⁶; действительно, только таким образом могут получиться одинаковые перемещения по широте в обе стороны. Кроме того, равномерные вращения они совершают не вокруг своего центра, но вокруг некоторого другого, сообщающего этим малым кругам тот же эксцентриситет, который получается по долготе у планеты по отношению к кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий. Действительно, мы предполагаем, что времена возвращений в движениях как по зодиаку, так и по малому кругу являются одинаковыми и что перемещения за каждую четверть оборота должны у обоих совпадать с наблюдаемыми. Если бы вращение малого круга совершалось вокруг его собственного центра, то упомянутое никоим образом не могло бы произойти, так как в движении малых кругов каждая четверть круга проходила бы за одинаковое время, а в наблюдаемом движении эпицикла по отношению к зодиаку этого никак не могло быть вследствие эксцентриситета, предполагаемого для каждой планеты. Если же равномерное вращение [малых кругов] будет происходить вокруг точки, расположенной подобно центру [равномерного вращения] эксцентрического круга, то для соответствующих на зодиаке и на малом круге четвертях окружности восстановления наклонов будут совершаться в одинаковые времена.

И пусть никто, рассматривая общую схему наших ухищрений, не считает эти гипотезы слишком искусственными. Не следует применять человеческие понятия к божественному и добиваться в таком великом деле уверенности при помощи совсем неподходящих аналогий, ибо что может быть общего между тем, что вечно остается тем же самым, и тем, что никогда не сохраняется? Или между тем, что во всем встречает препятствие, и тем, что не имеет препятствий даже в самом себе?¹⁷ Но к небесным движениям нужно пытаться приспособить сколь возможно простые предположения, а если этого недостаточно, то во всяком случае допустимые¹⁸. Действительно, если каждое из наблюдающихся явлений удастся один раз объяснить такими гипотезами¹⁹, то что же будет удивительного, если небесные движения могут получаться таким сложным образом? Ведь для этого не существует никакой препятствующей природы, но все соразмеряется с естественными движениями каждой части и предоставляет им место и возможность, даже если [движения] совершаются в противоположные стороны. И все эти движения могут легко происходить и быть видны в распространенной везде тонкой материи, в которой не будет препятствий не только для круговых орбит, но даже и для сфер и осей вращения. Их связь и взаимное влияние в различных движениях кажутся нам очень искусственными в устраиваемых нами моделях, и трудно сделать так, чтобы движения не мешали друг другу, но в небе никакос из этих движений не встретит препятствий от подобного соединения. Лучше будет и о самой простоте небесного судить не на основании того, что нам кажется таким, ибо ведь и у нас не для всех будет простым одно и то же. При таком рассмотрении ничто не покажется нам простым из совершающегося на небе, даже неизменность первого движения, ибо даже это движение, являющееся одним и тем же все время, для нас объяснить не только трудно, но и вообще невозможно. Это можно сделать только из [рассмотрения] природы тел в самом небе и неизменности их движений. Тогда действительно все [движения] нам покажутся простыми и даже более простыми, чем те, что у нас такими кажутся, и мы без всякого труда и замешательства сможем представить способы их вращения.

3. О величинах инклинаций и обликваций для каждой планеты

На основании сказанного можно представить себе общее положение и порядок наклона [различных] кругов. Для каждой же планеты частные значения дуг, измеряющих наклоны, определяются по большому кругу, проведенному через полюсы круга наклона²⁰ перпендикулярно к плоскости, проходящей через середины зодиакальных созвездий, по этому кругу определяются и отклонения по широте; у Венеры и Меркурия для вычислений удобнее [использовать] отклонения, наблюдаемые в вышеуказанных положениях²¹. Когда их движения по долготе происходят в апогеях и перигеях эксцентров, а сами планеты находятся в перигеях и апогеях эпициклов, то, как мы сказали, на основании сделанных вблизи этих точек наблюдений²² планеты находятся на одинаковом расстоянии севернее или южнее зодиака: Венера всегда будет самое большее на $\frac{1}{6}$ градуса севернее, а Меркурий всегда южнее на $\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градуса. Следовательно, наклоны эксцентрических кругов для каждой из них имеют как раз такие величины²³. В наибольших же удалениях от Солнца обе планеты в среднем кажутся на 5 градусов севернее или южнее по сравнению с наибольшим удалением в противоположную сторону; действительно, Венера дает упомянутую разность в противоположных положениях, лишь на незначительную часть градуса меньшую 5 градусов в апогее эксцентра и [на незначительную часть градуса] больше в перигее, а Меркурий самое большее на $\frac{1}{2}$ градуса [меньше и больше полученной для Венеры величины]²⁴. Таким образом, наклоны эпициклов с той и с другой стороны плоскостей эксцентров в среднем стягивают на перпендикулярном к зодиаку круге дуги в $2\frac{1}{2}$ градуса²⁵. Отсюда определяются величины углов, составляемых эпициклами с плоскостями эксцентров, как это выяснится в дальнейшем²⁶ на основании того, что мы относительно них докажем; пока же не будем разрывать 535 общий анализ наклонов пяти планет. 536

Когда их уточненные движения по долготе происходят в узлах и [поэтому] в средних расстояниях²⁷, Венера, находясь около апогея эпицикла, наблюдается на 1 градус севернее или южнее средней линии зодиака, а около перигея приблизительно на $6\frac{1}{3}$ градусов²⁸; отсюда получается, что наклон эпицикла отсекает $2\frac{1}{2}$ градуса на круге, проведенном описанным образом через его полюсы. Действительно, именно такие величины мы найдем на основании [таблиц] эпициклической аномалии для средних расстояний, а именно в апогее эпицикла угол зрения [в $2\frac{1}{2}$ градуса] стягивает $1\frac{1}{2}$ градус, а в перигее — $6\frac{2}{3}$ градусов²⁹. Планета же Меркурий, находясь вблизи апогея эпицикла, как можно вычислить приблизительно на основании его ближайших фаз, кажется южнее и севернее средней линии зодиака на $1\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ градус, а в перигее — приблизительно на 4 градуса³⁰; отсюда наклон эпицикла получается равным $6\frac{1}{4}$ градусам. Именно такие 537 величины мы найдем на основании аномалии эпицикла для расстояний, соответствующих наибольшим инклинациям, т.е. когда уточненная долгота отстоит на четверть круга от апогея [эксцентра], при этом в апогее эпицикла угол зрения [величиной $6\frac{1}{4}$ градусов] стягивает $1\frac{1}{4}$ градус, а в перигее — $4\frac{5}{8}$ градуса³¹.

Что касается остальных планет — Сатурна, Юпитера и Марса, — то не существует метода, позволяющего получить сразу же величины наклонений, так как оба вида наклонений и то, что производится эксцентром, и то, что зависит от эпицикла, всегда будут смешаны друг с другом, но, наблюдая величины отклонения по широте в перигеях и апогеях эксцентров и эпициклов, мы сможем выделить каждое из наклонений следующим образом.

Пусть в плоскости, перпендикулярной к средней линии зодиака, АВ [рис. 13.1] будет общей линией ее сечения с плоскостью зодиака, ГД — с плоскостью эксцента, а точка Е — центр зодиака — [находится] в общем сечении этих [трех] плоскостей. Опишем вокруг апогея Г эксцента и его перигея Δ в упомянутой плоскости [перпендикулярной зодиаку] равные круги ЗНΘК и ΛМНΞ, как бы проходящие через полюсы эпициклов, и на них будем определять наклоны плоскостей эпициклов, а именно по отношению к прямым НГК и МΔΞ, образующих, конечно, при Г и Δ равные углы. Из центра Е зодиака, где помещается наш глаз, проведем соединительные прямые к апогеям и перигеям эпицикла, а именно к апогеям прямые ЕН и ЕМ, а к перигеям — ЕК и ЕΞ, причем в точках К и Ξ мы будем, очевидно, иметь противостояния, а в точках Н и М — соединения³².

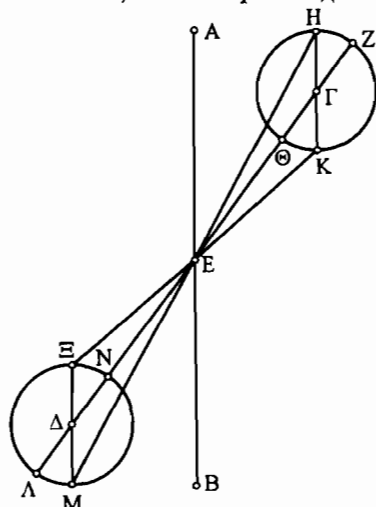


Рис. 13.1

Для Марса мы взяли отклонения по широте, которые получаются в противостояниях в апогее эксцента, т.е. в точке К эпицикла, а также в перигее эксцента, т.е. в точке Ξ эпицикла, так как соответствующая разница будет вполне ощутимой. Марс в противостояниях в апогее отклоняется к северу от средней линии зодиака на $4\frac{1}{3}$ градуса, а в перигее — к югу приблизительно на 7 градусов, так что угол АЕК получается равным $4\frac{1}{3}$ градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, а угол ВЕΞ равным таким же 7 градусам.

Установив это, угол АЕГ наклона эксцента и угол НГZ наклона эпицикла мы определяем следующим образом. На основании доказанного нами относительно аномалий Марса легко понять, что из углов, образующихся при точке, где находится наблюдатель, и стягиваемых равными дугами при перигеях эпицикла, те, которые получаются в апогее эксцента, имеют к получающимся в перигее эксцента отношение, равное приблизительно отношению 5 к 9³³; следовательно, при равенстве дуг ΘК и ΝΞ отношение угла ГЕК к углу ΔЕΞ будет, как у 5 к 9. Таким образом, поскольку углы АЕК и ВЕΞ даны и дано отношение угла ГЕК к углу ΔЕΞ, а угол АЕГ равен углу ВЕΔ, то, если мы найдем часть, которую разность величин [углов АЕК и ВЕΞ] составляет от разности [членов] отношения [5 и 9], и возьмем такую же часть от каждого из [членов] отношения, мы получим величину, соответствующую каждой части отношения. Это доказывается при помощи соответствующей арифметической

леммы³⁴. Теперь, так как величины [углов] будут $4\frac{1}{3}$ и 7, а их разность $2\frac{2}{3}$, отношение же равно 5 к 9, а разность его членов будет 4, и $2\frac{2}{3}$ составляют $\frac{2}{3}$ от 4, то, взяв соответствующую часть от 5 и 9, мы получим, что угол ГЕК равен $3\frac{1}{3}$ градусам, а $\Delta E\Xi$ равен 6 таким же градусам³⁵. Соответственно этому каждый из остающихся углов АЕГ и ВЕД наклона эксцентра будет равен 1 градусу. Вследствие этого дуга ΘK наклона эпицикла будет равна $2\frac{1}{4}$ градусам, так как на основании таблицы аномалии приблизительно такую величину имеют упомянутые углы ГЕК и $\Delta E\Xi$ ³⁶.

Что касается Сатурна и Юпитера, то их положения [по широте] в апогеях эксцентра на нечувствительную величину отличаются от получающихся в перигеях в диаметрально противоположных положениях. Мы вычислили предложенное другим способом из сравнения положений [по широте] в апогеях и перигеях эпициклов. Из отдельных наблюдений нам стало ясно, что в положениях при гелиакических восходах и заходах максимальное отклонение к северу и к югу составляет около 2 градусов для Сатурна и 1 градус для Юпитера, в противостояниях же Сатурн отклоняется на 3 градуса, а Юпитер на 2 градуса³⁷. Из величин их аномалий становится ясно также, что из образующихся при нашем глазе углов, стягиваемых равными дугами при апогеях и перигеях эпициклов, те, которые получаются в апогеях, относятся к получающимся в перигеях, как 18 к 23 для Сатурна, или же как 29 к 43 для Юпитера³⁸, так как дуги ZH и ΘK эпицикла равны. Таким образом, отношение угла ZEN и ZEK будет для Сатурна равно 18 к 23, а для Юпитера — 29 к 43. Но угол НЕК, представляющий разность по широте двух этих положений [в апогее и перигее эпицикла], равен для обеих этих планет 1 градусу. Следовательно, если мы разделим 1 градус в указанных отношениях, то получим, что угол ZEN для Сатурна равен 26 шестидесятым, а для Юпитера 24, а угол ZEK для Сатурна будет 34 шестидесятых, а для Юпитера 36. Таким образом, остающийся угол АЕГ наклона эксцентра получается у Сатурна равным $2\frac{2}{26}$ градусам, а у Юпитера $1\frac{1}{24}$ градусу; вместо этих величин мы будем пользоваться более удобными $2\frac{1}{2}$ и $1\frac{1}{2}$. Отсюда получается и дуга ΘK наклона эпициклов у Сатурна $4\frac{1}{2}$ градуса, а у Юпитера — $2\frac{1}{2}$. Именно такие величины получаются в таблицах аномалий каждой планеты для упомянутых числовых значений углов ZEN и ZEK ³⁹. Это нам и требовалось определить.

4. Построение таблиц для частных значений отклонений по широте

Из вышеприведенного мы получили в общем виде величины наибольших наклонов эксцентров и эпициклов. Чтобы можно было удобно находить в каждом случае отклонения по широте для различных расстояний [от апогея], мы составили пять таблиц для пяти планет, имеющих каждая такое же число строк, как и в таблицах аномалии, и по пять столбцов. Из этих столбцов два первых, как и выше, содержат числа [аргумента], третьи же — расстояния по широте от средней линии зодиака, соответствующие отдельным дугам [движения] по эпициклу для наибольших наклонов: у Венеры и Меркурия — в узловых точках эксцентров, а у остальных трех планет — в северных предельных точках эксцентров. Четвертые столбцы содержат аналогичные приращения для южных пределов эксцентров, у трех

из этих планет наибольшие отклонения самих эксцентров к северу или к югу были также учтены в расчетах⁴⁰. Вычисление упомянутых дуг [эпициклов] для Венеры и Меркурия было получено следующим образом при помощи одной теоремы.

544 Пусть в плоскости, стоящей под прямым углом к средней линии зодиака, АВГ [рис. 13.2] будет общим сечением ее с плоскостью зодиака, а ΔBE — ее сечением с плоскостью эпицикла. Пусть А будет центром зодиака, а В — эпицикла, прямая же АВ — расстоянием эпицикла при наибольших наклонах. Описав вокруг В эпицикл ΔZEN , проведем перпендикулярный к ΔE диаметр ZBN и предположим, что плоскость эпицикла будет перпендикулярна к плоскости чертежа, так что из проведенных в эпицикле прямых, перпендикулярных к ΔE , все будут параллельны плоскости зодиака и только одна ZH 545 лежит в самой этой плоскости⁴¹. Пусть по заданному отношению АВ к ВЕ и величине наклона, т.е. углу АВЕ, требуется определить положение планет по широте, когда они, например, отстоят от перигея Е эпицикла на 45 градусов, каких в эпицикле содержится 360. [Мы выбираем величину 45 градусов], поскольку мы хотим одновременно определить получающиеся при этих [максимальных] наклонах разницы в положениях по долготе; они должны достигать наибольшего значения для положений планеты между перигеем Е и точками Z, Н, так как в упомянутых точках [долготы] будут такими же, как и при отсутствии наклонов.

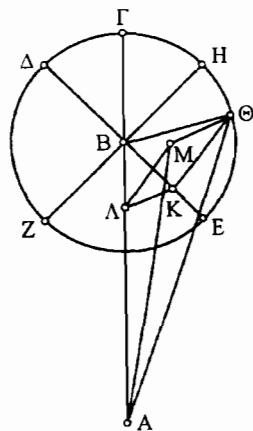


Рис. 13.2

Итак, отложим дугу $E\Theta$, равную указанным 45 градусам, и опустим перпендикуляры ΘK на прямую ВЕ, а также $K\Lambda$ и ΘM — на плоскость средней линии зодиака; проведем соединительные прямые ΘB , ΛM , ΛM и $A\Theta$.

Сразу же видно, что четырехугольник $\Lambda K\Theta M$ имеет параллельные стороны и прямые углы, так как $K\Theta$ параллельна плоскости средней линии зодиака, и что угол ΛAM представляет простаферез по долготе, а угол ΘAM — положение по широте, так как углы ΛAM и $AM\Theta$ получились прямыми вследствие того, что прямая AM лежит в плоскости средней линии зодиака. Следует показать, какими получатся искомые отклонения для каждого из упомянутых светил.

546 Сделаем это прежде всего для Венеры. Так как дуга $E\Theta$ равняется 45 градусам, каких в эпицикле содержится 360, то находящийся при центре эпицикла угол $EB\Theta$ будет равен 45 градусам, каких в четырех прямых углах содержится 360, или 90, каких 360 будет в двух прямых углах. Поэтому каждая из дуг на BK и $K\Theta$ будет равна 90 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника $B\Theta K$ будет 360. Следовательно, из стоящих под ними прямых каждая будет равна 84;52 частям, каких в гипотенузе $B\Theta$ содержится 120; и если радиус $B\Theta$ эпицикла равен 43;10, а среднее расстояние АВ равно 60 (ибо около этого расстояния главным образом и получается наибольший наклон эпицикла)⁴², то в каждой из прямых BK и $K\Theta$ таких частей будет 30;32. Далее, так как угол АВЕ наклона предполагается равным 2;30 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, или 5, каких 360 содержится в двух прямых углах, то

дуга на прямой АК равняется 5 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ВЛК содержится 360, а дуга ВЛ равна недостающим до полуокружности 175 градусам. Следовательно, из стягиваемых ими прямых КЛ равна 5;14 частям, каких в гипотенузе ВК будет 120, а ВЛ равна 119;53 таким же частям. Поэтому если гипотенуза ВК равна 30;32, а прямая АВ равна 60, то в КЛ будет 1;20, в ВЛ — 30;30, а в АЛ после вычитания — 29;30 таких частей. Но в ЛМ, равной прямой КΘ, таких частей будет 30;32, так что гипотенуза АМ [прямоугольного треугольника АЛМ] получается равной 42;27 таким же частям. Таким образом, если положить гипотенузу АМ равной 120, то в ЛМ таких частей будет 86;19, а угол ЛАМ, соответствующий простаферезу по долготе, в этом положении будет равняться 92;0 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или же 46;0, каких 360 будет в четырех прямых углах.

547

Подобным же образом, так как прямая АМ равна 42;27 частям, которых ΘМ, равная прямой КЛ, имеет 1;20, и сумма квадратов на них дает квадрат на АΘ, то длина АΘ будет равняться 42;29. Следовательно, если гипотенуза

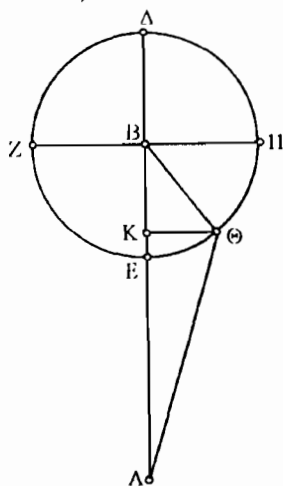


Рис. 13.3

АΘ равна 120, то в ΘМ будет 3;46 таких части, а угол ΘАМ отклонения по широте будет равен 3;36 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или же 1;48, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Это число мы и поместим в третьем столбце таблицы для Венеры в строке для 135 градусов.

Чтобы определить разницу у простафереза по долготе [с величиной, полученной раньше], возьмем подобный же чертеж [рис. 13.3], но только с ненаклонным эпициклом⁴³. Так как мы показали, что каждая из прямых ВК и КΘ равна 30;32 частям, каких в прямой АВ содержится 60, так что АК равна недостающим 29;28, и квадрат на этой прямой, а также на КΘ, будучи сложены, дают квадрат на АΘ, то длина АΘ будет равна 42;26 таким же частям. Следовательно, если гипотенуза АΘ равна 120, то в КΘ таких частей будет 86;21, а угол ΘАК простафереза по долготе будет равен приблизительно 92;3 градусам, каких в двух прямых углах содержится

548

360, или 46;2, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но мы показали, что при наличии наклона таких градусов будет 46. Следовательно, вследствие наклона эпицикла в простаферезе по долготе получилась разница в 2 шестидесятых одного градуса. Это мы и хотели показать⁴⁴.

Затем для определения отклонений Меркурия [по широте] возьмем чертеж, подобный стоящему перед предшествующим [рис. 13.4], предполагая, что дуга ΘЕ равна тем же самым 45 градусам, так что каждая из прямых ВК и КΘ опять получается равной 84;52 частям, каких в гипотенузе ВΘ [прямоугольного треугольника ВКΘ] содержится 120. Следовательно, если радиус ВΘ эпицикла равен 22;30 частям, а прямая АВ расстояния при наибольших наклонах равна 56;40 (все это уже было нами показано раньше)⁴⁵, то в ВК и КΘ таких частей будет по 15;55. Далее, так как угол АВЕ наклона эпицикла полагается равным 6;15 градусам, каких в четырех прямых углах будет 360, или 12;30, каких 360 содержится в

549

в КМ будет 0;46 таких частей, а угол КАМ равняется 0;44 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360; угол же ВАГ наклона эксцентрира предполагается равным 2;30 градусам, каких четыре прямых угла содержат 360, или 5, каких 360 будет в двух прямых углах. Значит, весь угол ВАК [равный сумме углов ВАГ и КАМ] будет равен 5;44 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360. Поэтому дуга на ВК равняется 5;44 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ВАК содержится 360, а дуга на АВ равняется недостающим до полукруга 174;16 градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых ВК будет равна 6;0 частям, каких в гипотенузе АК содержится 120, а АВ — 119;51 таким же частям. Поэтому если прямая АК равна 57;35, то в ВК таких части будет 2;53, а в АВ таких же 57;31, и ВЛ, равная КΘ, получит 4;36 таких же части. И так как квадрат на АВ вместе с квадратом на ВЛ дает квадрат на АЛ, то мы получим длину последней, равную 57;42 таким же частям. Подобно этому, так как ЛΘ, равная ВК, становится равной 2;53 таким же частям, а квадрат на АЛ вместе с квадратом на ЛΘ дает квадрат на АΘ, то длина последней получится равной 57;46 таким же частям. Поэтому если гипотенузу АΘ взять за 120, то в ΘЛ таких частей будет 5;59, а угол ΘАЛ отклонения по широте будет равняться 5;44 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 2;52, каких 360 будет в четырех прямых углах. Это число мы поместим в третьем столбце таблицы для Сатурна против 135 градусов.

При наибольшем наклоне [эпицикла] в перигейной полуокружности [деферента] расстояние АГ, соответствующее началу Овна, получается равным 57;40 частям⁵⁰, каких в КМ согласно доказанному⁵¹ было 0;22, а в ГМ — 4;35. Вследствие этого остаток АМ становится равным 53;5; тем же самым 53;5 частям будет равна гипотенуза АК, так как она лишь на нечувствительную величину больше прямой АМ. Следовательно, если гипотенуза АК равна 120, то в КМ будет 0;50 таких частей, а угол КАМ будет равен 0;48 градусов, каких в двух прямых углах содержится 360. Но угол ВАГ предполагался равным 5 таким же градусам; отсюда, весь угол ВАК будет равен 5;48 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Поэтому дуга на ВК равна 5;48 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ВАК будет 360, а дуга на АВ равна недостающим до полукруга 174;12 градусам. Следовательно, из находящихся под ними прямых ВК становится равной 6;4 частям, каких в гипотенузе АК содержится 120, а АВ равна 119;51 таким же частям; поэтому если прямая АК равна 53;5, то ВК будет равняться 2;41 таким же частям, а АВ таким же 53;1. И так как квадрат на АВ вместе с квадратом на ВЛ дает квадрат на АЛ, а ВЛ, как доказано, равна 4;36 таким же частям, то мы получим длину АЛ равной 53;13 таким частям. Таким образом, если гипотенузу АЛ взять за 120, то ВЛ будет равна 10;23 таким же частям, а угол ВАЛ простафереза по долготе будет равен 9;56 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 4;58 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах. Далее, если прямая АЛ равна 53;13, то ΘЛ, равная КВ, получит 2;41 таких же части; квадраты на них, будучи сложены, дадут квадрат на АΘ, и длину последней мы получим равной 53;17 таким же частям. Следовательно, если гипотенуза АΘ равна 120, то в ΘЛ таких частей будет 6;3, а угол ΘАЛ отклонения по широте будет равен 5;46

градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 2;53, каких 360 будет в четырех прямых углах. Это число мы поместим в четвертом столбце таблицы против 135 гадусов.

Чтобы произвести сравнение простаферезов по долготе при наклоне [эпицикла] в перигее, начертим опять фигуру без какого бы то ни было наклона [рис. 13.7]. Так как прямая АГ соответствующего расстояния равна

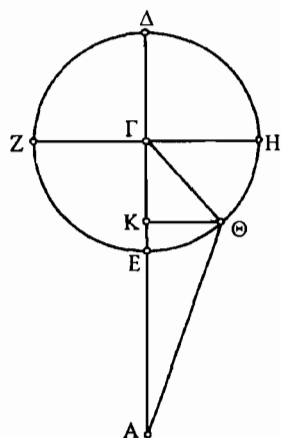


Рис. 13.7

57;40 и в каждой из КГ и КΘ таких частей предполагается 4;36, а остаток АК равен 53;4 таким же частям, то, поскольку квадрат на этой прямой [КΘ] вместе с квадратом на АК дает квадрат на АΘ, мы получим длину АΘ равной 53;16. Поэтому если гипотенуза АΘ равна 120, то в КΘ будет 10;22 таких частей, и угол ΘАК простафереза по долготе будет равен 9;54 градусам, каких в двух прямых углах 360, или 4;57 градусам, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но было доказано, что при наличии наклонов [эксцента и эпицикла] он равнялся 4;58 таким же градусам. Следовательно, наличие обоих наклонов увеличило простаферез по долготе на 1 шестидесятую градуса. Это и требовалось найти⁵².

558

Теперь возьмем сначала чертеж с наклоном [рис. 13.8], который удовлетворял бы соотношениям, определенным для Юпитера. Таким образом, если радиус ГΘ эпицикла равен 11;30, то каждая из ГΚ и КΘ будет содержать 8;8 таких же частей⁵³.

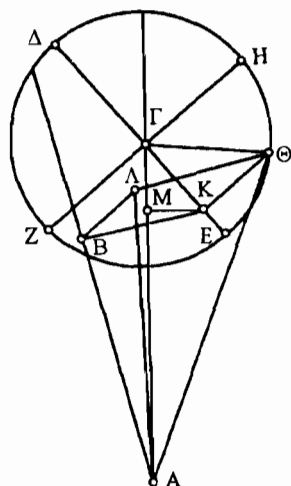


Рис. 13.8

Так как теперь угол АГЕ наклона эпицикла предполагается равным 2;30 градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, или 5 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах, то дуга на КМ будет содержать 5 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ГΚМ имеется 360, а дуга на ГМ равняется недостающим до полукруга 175 градусам. И из находящихся под ними прямых КМ равна 5;14 частям, каких в гипотенузе ГΚ будет 120, а ГМ равна 119;53 таким же частям. Поэтому если прямая ГΚ равна 8;8, а расстояние АГ до [центра эпицикла, когда он в] начале Клешиной 62;30⁵⁴, то КМ будет равняться 0;21 таких частей, а ГМ таким же 8;8, и остаток — прямая МА — получится равной 54;22. Вследствие этого и гипотенуза АК, лишь на неощутительную величину большая МА, будет равна тем же самым

559

54;22 частям. Следовательно, если гипотенузу АК принять за 120, то КМ будет равна 0;46 таких же частей, и угол КАМ окажется равным 0;44 градусам, каких в двух прямых углах 360. Но предполагается, что угол ВАГ наклона эксцента равен 1;30 градусу, каких 360 имеется в четырех прямых углах, или 3 градусам, каких 360 содержится в двух прямых углах.

Следовательно, весь угол ВАК будет равен 3;44 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. Поэтому дуга на КВ равна 3;44 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ВАК содержится 360, а дуга на АВ равна недостающим до полуокружности 176;16 градусам. И следовательно, из находящихся под ними прямых КВ будет равна 3;54 частям, каких в гипотенузе АК содержится 120, а АВ равна 119;56 таким же частям, и если прямая АК равна 54;22, то в КВ таких частей будет 1;46, а в АВ таких же 54;20. Но, согласно доказанному выше, в прямой ВЛ будет 8;8 таких частей; и так как квадраты на этих прямых после сложения дадут квадрат на АЛ, то мы получим и длину последней, равной 54;56 таким же частям. Аналогично, так как ЛΘ, равная КВ, равна 1;46 такой же части и квадраты на этих прямых, будучи сложены, дадут квадрат на АΘ, то мы получим, что последняя будет равна 54;58 таким же частям. Поэтому если гипотенуза АΘ равна 120, то в ЛΘ таких частей будет 3;52, и угол ΘАЛ отклонения по широте окажется равным 3;42 градусам, каких в двух прямых углах 360, или же 1;51 градусу, каких 360 будет в четырех прямых углах. Это число мы поставим в третьем столбце для Юпитера против 135 градусов.

Подобно этому, АГ — расстояние, соответствующее началу Овна, — составляет 57;30 частей⁵⁵, каких, согласно доказанному выше, в прямой КМ было 0;21, а в ГМ таких же 8;8; следовательно, после вычитания АМ (равная АК, которая превышает ее на незначительную величину) составит 49;22 таких же частей. Вследствие этого, если гипотенузу АК принять за 120, то в КМ окажется 0;51 таких частей, и угол КАМ будет равняться 0;49 градусов, каких в двух прямых углах имеется 360. Тогда весь угол ВАК [после сложения углов ВАМ и МАК] окажется равным таким же 3;49 градусам и дуга на ВК будет равна 3;49 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника АКВ содержится 360, а дуга на АВ будет равна недостающим до полукруга 176;11 градусам. И, следовательно, из прямых под ними ВК будет равна 3;59 частям, каких в гипотенузе АК содержится 120, а АВ равна 119;56 таким же частям. Поэтому если прямая АК равна 49;22 частям, то КВ будет иметь 1;39 такую часть, а АВ таких же 49;20. Вследствие этого, так как ВЛ равна 8;8 таким же частям, квадраты на этих прямых после сложения дадут квадрат на АЛ, и длину последней мы получим равной 50;0. Таким образом, если гипотенуза АЛ равна 120, то в ВЛ таких частей будет 19;31, а угол ВАЛ простафереза по долготе будет равен 18;44 градусам, каких в двух прямых углах 360, или 9;22, каких 360 будет в четырех прямых углах. Далее, так как прямая АЛ равна 50;0, то ΘЛ, равная КВ, окажется равной 1;39 такой части; квадраты на них после сложения дадут квадрат на АΘ, и длину последней мы получим равной 50;2 таким же частям. Следовательно, если гипотенузу АΘ взять за 120, то в ЛΘ таких частей будет 3;57, а угол ΘАЛ — расстояние по широте — будет равен 3;46 градусам, каких в двух прямых углах 360, или 1;53, каких 360 имеется в четырех прямых углах. Это число мы и поместим в четвертом столбце таблицы против тех же самых 135 градусов.

Чтобы сравнить величины простаферезов по долготе, возьмем чертеж без наклонов [рис. 13.9]. На указанном расстоянии, если каждая из прямых ΘК и ГК равна 8;8 частям, то во всей АГ будет 57;30 таких

частей, а в остатке АК таких же 49;22; квадрат на этой прямой вместе с квадратом на КΘ даст квадрат на АΘ, и длину последней мы получим равной в тех же самых частях 50;2. Таким образом, если гипотенуза

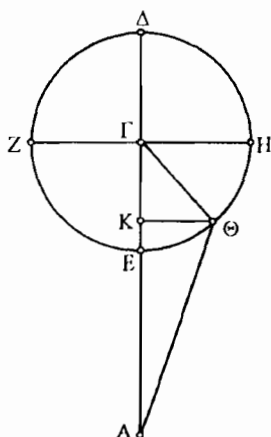


Рис. 13.9

АΘ равна 120, то в ΘΚ таких частей будет 19;30, и угол ΘАК простафереза по долготе будет равен 18;42 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 9;21, каких 360 будет в четырех прямых углах. Но с учетом наклонов было показано, что этот угол равнялся 9;22 таким же частям. Следовательно, при обоих наклонениях простаферез по долготе увеличился на однуединственную шестидесятью. Это и предполагалось доказать.

После этого, чтобы определить величину для Марса [в наибольшем расстройнии], возьмем сначала чертёж с наклонениями [рис. 13.10]. Пусть каждая из прямых ГΚ и КΘ получится равной 27;56 частям, каких в радиусе ГΘ эпицикла будет 39;30⁵⁶. Теперь, так как угол АГЕ наклона эпицикла предполагается равным 2;15 градусам, каких в четырех прямых углах имеется 360, или 4;30, каких 360 будет в двух прямых углах, то дуга на КМ будет равняться 4;30 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ГМК имеется 360, а дуга на ГМ равняется недостающим до полуокружности 175;30 градусам. Следовательно, из прямых под ними КМ будет равна 4;43 частям, каких в гипотенузе ГΚ будет 120, а ГМ равна 119;54 таким же частям. Поэтому если прямая ГΚ будет равна 27;56, а АГ, соответствующая наибольшему расстоянию, равна 66⁵⁷, то в КМ будет 1;6 такая часть, а в ГМ таких же 27;54 и в АМ после вычитания 38;6 частей. Вследствие этого гипотенуза АК [прямоугольного треугольника КАМ] будет равна 38;7 таким же частям. Следовательно, если гипотенузу АК принять за 120, то КМ будет иметь 3;28 таких части, а угол КАМ будет равен 3;19 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360. И предполагается, что угол ВАГ наклона эксцентра равняется 1 градусу, каких в четырех прямых углах 360, или 2, каких 360 будет в четырех прямых углах; значит,

563

564

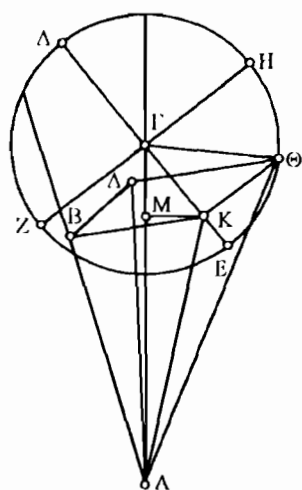


Рис. 13.10

весь угол ВАК получится равным 5;19 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, и дуга на КВ равна 5;19 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ВАК имеет 360, а дуга на АВ равна недостающим до полуокружности 174;41 градусам. Таким образом, из прямых под ними ВК будет равна 5;34 частям, каких в гипотенузе АК имеется 120, а АВ таким же 119;52 частям. Поэтому если прямая АК равна 38;7, то в КВ такая часть будет 1;46, а в АВ таких же 38;5. Но прямая ВА [равная КΘ и ГΚ] равна 27;56 таким же частям; и так как квадрат на АВ вместе с квадратом на ВΛ дает квадрат на АΛ, то длину

последней мы получим равной 47;14. Подобным же образом, так как $\Theta\Lambda$ равна 1;46 такой же части и квадрат на $\Lambda\Lambda$ вместе с квадратом на $\Lambda\Theta$ дает квадрат на $\Lambda\Theta$, то мы получим длину последней равной 47;16 частям. Поэтому если гипотенуза $\Lambda\Theta$ равна 120, то $\Theta\Lambda$ будет иметь 4;29 такие части, а угол $\Theta\Lambda\Lambda$ расстояния по широте будет равен 4;18 градусам, каких в двух прямых углах 360, или 2;9, каких 360 будет в четырех прямых углах. Это число мы поместим в третьем столбце таблицы для Марса против 135 градусов.

Таким же образом производим вычисления для наклонений при
 565 наименьшем расстоянии. Так как прямая $\Lambda\Gamma$ содержит 54 части⁵⁸, каких в KM , по доказанному, будет 1;6, а в ГМ таких же 27;54, так что для AM остается 26;6 таких же частей, то гипотенуза AK [прямоугольного треугольника KAM] получается равной 26;7 таким же частям; если взять гипотенузу AK за 120, то в KM таких частей будет 5;3 и угол KAM будет равен 4;49 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360. Вследствие этого весь угол BAK будет равен 6;49 таким же градусам и дуга на BK равна 6;49 градусам, каких в круге около прямоугольного треугольника ABK имеется 360, а дуга на AB равна недостающим до полуокружности 173;11 градусам. И, следовательно, из прямых под ними BK будет равна 7;8 частям, каких гипотенуза AK имеет 120, а AB равна 119;47 таким же частям. Поэтому если прямая AK равна 26;7, то в BK таких частей будет 1;33, а в AB таких же 26;4. Но прямая BA равна 27;56 таким частям; и так как квадрат на AB вместе с квадратом на BA дает квадрат на AA , то мы получим длину последней равной 38;12. Поэтому если гипотенузу AA взять за 120, то в BA таких частей будет 87;45, и угол $\text{BA}\Lambda$ простафереза по долготе равняется 94 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 47 градусам, 360 каких будет в четырех прямых углах. Подобно этому если прямая AA равна 38;12, то $\Lambda\Theta$ [равная BK] получится равной 1;33 части; квадраты на них после сложения дадут квадрат на $\Lambda\Theta$, и длину последней мы получим равной 38;14 таким же частям. Поэтому если гипотенуза $\Lambda\Theta$ равна
 566 120, то $\Lambda\Theta$ будет иметь 4;52 таких части, а угол $\Theta\Lambda\Lambda$ расстояния по широте будет равен 4;40 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 2;20, каких 360 будет в четырех прямых углах. Это число мы поместим в четвертом столбце таблицы против тех же самых 135 градусов.

Для сравнения величин простаферезов по долготу мы опять берем чертеж без наклонений [рис. 13.11], при наименьшем расстоянии (где разница необходимо должна составить наибольшую величину), получим отношение AG к каждой из ГК или $\text{K}\Theta$ равным 54 к 27;56; поэтому для AK останется 26;4 частей, а гипотенуза $\text{A}\Theta$ [прямоугольного треугольника $\text{KA}\Theta$] получится равной 38;12 таким же частям. Вследствие этого, положив гипотенузу $\text{A}\Theta$ равной 120, получим, что прямая ΘK будет равна 87;45 таким же частям, а угол ΘAK простафереза по долготу получится равным 94 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360,
 567 или 47, каких 360 будет в четырех прямых углах. Такую же величину мы

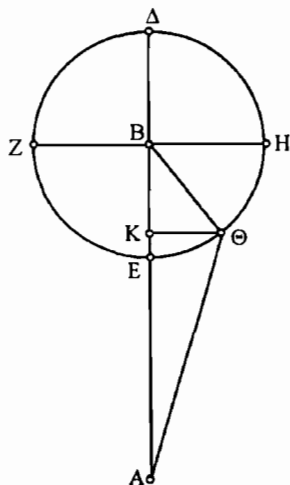


Рис. 13.11

получили и при вычислениях с наклонами. Следовательно, для Марса простаферез по долготе не получит никакого изменения от наклонов кругов [эпицикла и эксцента]. Это и следовало найти.

Четвертые столбцы двух таблиц для Венеры и Меркурия содержат величины положений по широте, получающиеся при наибольших облик-
вациях их эпициклов, которые имеют место вблизи апогеев и перигеев их эксцентров. Они были вычислены нами отдельно. При этом мы не обращали
внимания на разницу, которая получилась бы вследствие наклонов
эксцентров, иначе нам пришлось бы привести еще большее количество

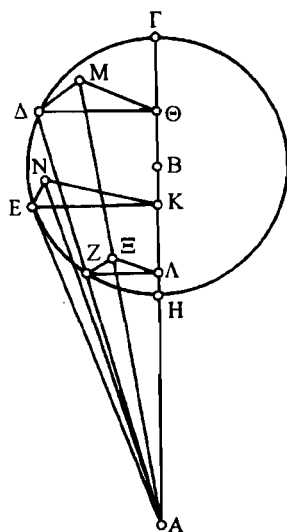


Рис. 13.12

таблиц с более трудным методом вычислений, так как отклонения по широте не будут одинаковыми и не всегда в тех же местах зодиака для вечерних и утренних явлений планет. Кроме того, так как наклон эксцента не остается постоянным, то разности уменьшений для наибольших инклинаций [эпицикла] должны отличаться от разностей уменьшений в наибольших обликвациях⁵⁹. Если же вы-
делить эту разницу, то все у нас определится более
удобным образом, как будет ясно из нижеследующего.

Пусть АВ [на рис. 13.12]⁶⁰ будет общим сечением плоскости средней линии зодиака с плоскостью эпицикла. Предположим, что точка А будет центром зодиака, а В — центром эпицикла; около него опишем эпицикл ГΔΕΖН, наклоненный к плоскости средней линии зодиака, так что проведенные в этих плоскостях прямые, перпендикулярные к общему сечению ГН, будут всегда составлять между собой одинаковые углы, вершины которых находятся на ГН. Проведем касательную АЕ к эпициклу и какую-нибудь секущую АΖΔ и из точек

Δ, Е, Ζ опустим перпендикуляры ΔΘ, ЕК, ΖΛ на ГН и ΔМ, ЕН и ΖΞ на плоскость средней линии зодиака. Проведем соединительные прямые ΘМ, КН, ΛΞ, а также АН и АЕМ; и АЕМ будет прямой, так как три эти точки [А, Е, М] находятся в [пересечении] двух плоскостей, а именно плоскости средней линии зодиака и плоскости, проведенной через АΖΔ перпендикулярно плоскости зодиака.

Очевидно, что при заданной обликвации простаферезы планет по долготе представляются углами ΘАМ и КАН, а простаферезы по широте — углами ΔАМ и ЕАН. Сначала нужно показать, что получающееся в точке касания положение ЕАН по широте будет наибольшим из всех, равно как и простаферез по долготе.

Действительно, так как угол ЕАК будет самым большим из всех, то КЕ будет иметь к ЕА большее отношение, чем каждая из прямых ΘΔ и ΛΖ к соответствующим прямым ΔА и ΖА. Но как относится ЕК к ЕН, так будут относиться и ΘΔ к ΔМ, и ΛΖ к ΖΞ, ибо все получающиеся таким образом треугольники [ЕКН, ΔΘМ, ΖΛΞ] будут, как мы сказали, равноугольными [на ГН] и углы при М, N, Ξ прямые. Следовательно, НЕ имеет к ЕА отношение большее, чем то, какое каждая из прямых МΔ и ΞΖ имеет к соответствующим прямым ΔА и ΖА. Далее, углы ΔМА, ЕНА и ΖΞА тоже будут прямыми; поэтому угол ЕАН будет больше

568

569

570

угла ΔAM и, конечно, больше всех других углов, получающихся таким же образом.

Отсюда ясно, что из получающихся вследствие обликвации разностей в простаферезах по долготе наибольшей будет та, которая имеет место в наибольших отклонениях по широте при E , так как они [т.е. разности уравниений по долготы, обусловленные наклоном эпицикла] определяются углами, стягиваемыми избытками прямых $\Theta\Delta$, KE и ΛZ над ΘM , KN и ΛE и у каждой из них отношение друг к другу [$\Theta\Delta : \Theta M$ и т.д.] и к разностям $[(\Theta\Delta - \Theta M)$ и т.д.] остается тем же самым. Отсюда следует, что разность EK и KN будет иметь к EA большее отношение, чем у остальных прямых к той же самой $\Delta\Gamma$ ⁶¹. Таким образом, ясно, что отношение наибольшего простафереза по долготы к наибольшему отклонению по широте будет тем же, что и во всех точках эпицикла у соответствующих простаферезов по долготы к отклонениям по широте, поскольку как KE будет [относиться] к EN , так и все подобные ΛZ и $\Theta\Delta$ прямые [будут относиться] к соответствующим прямым вроде ZE и ΔM ⁶². Это и требовалось показать.

После этих предварительных замечаний рассмотрим сначала, какой угол у каждой из двух планет соответствует обликвации между упомянутыми плоскостями. На основании того, что было установлено вначале⁶³, мы полагаем, что в промежутке между наибольшим и наименьшим расстояниями каждая из этих планет становится более северной или более южной для противоположных положений на эпицикле самое большее на 5 градусов: у планеты Венера в перигее и апогее эксцентра действительно наблюдаются отклонения по широте на неощутимую величину, большие или меньшие 5 градусов, а у Меркурия приблизительно на $1/2$ градуса [больше или меньше].

Пусть $AB\Gamma$ [рис. 13.13] будет опять общим сечением плоскостей зодиака и эпицикла. Начертим вокруг точки B эпицикл $\Gamma\Delta$, наклонный к плоскости зодиака, как мы сказали выше. Проведем из центра A зодиака касательную $A\Delta$ к эпициклу и из Δ опустим перпендикуляры ΔZ на прямую ΓBE и ΔH на плоскость средней линии зодиака; проведем соединительные прямые BA , ZH и $АН$ и предположим, что угол ΔAH включает половину установленного отклонения по широте для каждой из этих планет, а именно $2 1/2$ градуса, каких в четырех прямых углах содержится 360, и постараемся определить величину обликвации между плоскостями для каждой из планет, т.е. величину угла ΔZH .

Если для Венеры радиус эпицикла равен 43;10, то наибольшее расстояние будет иметь 61;15 такую часть, наименьшее — 58;45 и среднее между ними 60⁶⁴. Следовательно, AB будет иметь к BA отношение такое же, как 60 к 43;10. И так как квадрат на BA , будучи отнят от квадрата на AB , дает квадрат на $A\Delta$ также, то длину последней получим равной 41;40 такой же части. Аналогично, так как BA относится к $A\Delta$ так же, как BA к ΔZ , мы получим, что ΔZ равна 29;58 таким же частям. Далее, так как угол ΔAH предполагается равным 2;30 градусам, каких в четырех прямых

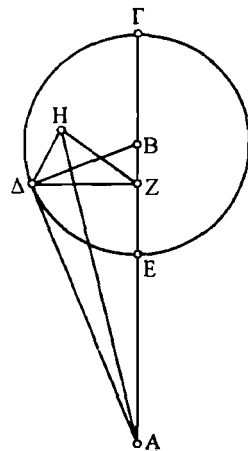


Рис. 13.13

углах имеется 360, или 5 градусам, каких 360 будет в двух прямых углах, то дуга на ΔH будет равняться 5 градусам, каких круг около прямоугольного треугольника ΔH имеет 360, и находящаяся под ней прямая ΔH равна 5;14 частям, каких в гипотенузе ΔD будет 120; поэтому если прямая ΔD равна 41;40, то в ΔH будет 1;50 такая часть. Но было показано, что ΔZ содержит 29;58 таких частей; значит, если гипотенузу ΔZ принять за 120, то ΔH равна 7;20, а угол ΔZH обликвации равен 7 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 3;30, каких 360 составят четыре прямых угла⁶⁵.

Но так как избыток угла ΔAZ над HAZ определяет получающуюся разность для простафереза по долготе, то отсюда можно вычислить и ее из установленных величин этих прямых. Так как мы показали, что, если прямая ΔH равна 1;50, гипотенуза ΔD — 41;40, а ΔZ — 29;58 таким

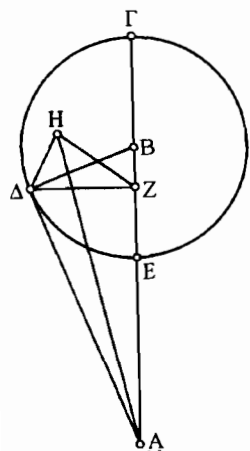


Рис. 13.14

частям и квадрат на ΔH , отнятый от квадратов на ΔD и ΔZ , дает соответственно квадраты на ΔH и ΔZ , то мы получим длину ΔH равной 41;37 такой же части, а ΔZ таким же 29;55. Поэтому если принять гипотенузу ΔH за 120, то ΔZ будет содержать 86;16 таких же частей, а угол ΔZH равен 91;56 градусу, каких в двух прямых углах будет 360, или 45;58, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Подобно этому если гипотенузу ΔD взять за 120, то ΔZ будет равна 86;18 таким частям, и угол ΔAZ мы получим равным 91;58 градусу, каких 360 будет в двух прямых углах, или 45;59, каких 360 содержится в четырех прямых углах. Следовательно, вследствие обликвации простафереза по долготе уменьшился на 1 шестидесятью.

Что касается Меркурия [рис. 13.14], то [у него] радиус эпицикла равняется 22;30 частям, каких в наибольшем расстоянии, согласно доказанному, имеется 69; а диаметрально противоположное расстояние равно 57, так что среднее получается равным 63 таким же

частям⁶⁶. Поэтому ΔB имеет к ΔD отношение такое же, как 63 к 22;30. И так как квадрат на ΔB после вычитания из квадрата на ΔB дает квадрат на ΔD , то длину последней получим равной 58;51. Точно так же, поскольку ΔB относится к ΔD так же, как ΔD к ΔZ , то ΔZ будет равна 21;1 такой же части. Далее, так как угол ΔAN предполагается равным 5 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, то дуга на ΔH содержит 5 градусов, каких в круге около прямоугольного треугольника ΔH имеется 360, а находящаяся под ней прямая ΔH равняется 5;14 частям, каких в гипотенузе ΔD — 120. Следовательно, если прямая ΔD равна 58;51, то в ΔH таких частей будет 2;34. Но доказано, что ΔZ содержит 21;1 такую часть; поэтому если положить гипотенузу ΔZ равной 120, то в ΔH таких частей будет 14;40; угол обликвации ΔZH будет равняться 14 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 7, каких 360 будет в четырех прямых углах⁶⁷.

Подобно [тому, как это делалось для Венеры] при сравнении углов простаферезов [по долготе] будем иметь: если прямая ΔH равна 2;34, то в гипотенузе ΔD , по доказанному, таких частей будет 58;51, а в ΔZ таких же 21;1; квадрат на ΔH , отнятый соответственно от квадратов на ΔA и

ΔZ , даст квадраты на $АН$ и $НЗ$; длину $АН$ мы получим равной 58;47, а $ЗН$ равной 20;53 таким же частям. Поэтому если гипотенуза $АН$ равна 120, то $НЗ$ будет содержать 42;38 такие части, а угол $ЗАН$ равен 41;38 градусу, каких в двух прямых углах имеется 360, или 20;49, каких 360 будет в четырех прямых углах. Сообразно с этим если принять гипотенузу $АД$ за 120, то ΔZ получится равной 42;50 таким же частям, и угол ΔAZ мы получим равным 41;50 градусу, каких в двух прямых углах содержится 360, или 20;55 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Следовательно, и здесь вследствие обликвации простаферез по долготе уменьшился на 6 шестидесятых. Это и нужно было установить⁶⁸.

Вслед за этим посмотрим, будут ли при таких обликвациях наибольшие отклонения по широте в наибольших и наименьших расстояниях согласованы с полученными из наблюдений. Предположим опять на том же самом чертеже [рис. 13.15], что в наибольшем расстоянии планеты Венера отношение $АВ$ к $ВД$ будет таким же, как у 61;15 к 43;10. Тогда, поскольку квадрат на $ВД$, будучи отнят от квадрата на $АВ$, даст квадрат на $АД$, эта прямая получится равной 43;27 таким же частям. Но как $АВ$ относится к $АД$, так и $ВД$ будет относиться к ΔZ ; следовательно, прямая ΔZ будет равна 30;37 таким же частям. Далее, так как угол обликвации ΔZH предполагается равным 7 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, и, следовательно, прямая ΔH будет равной 7;20 частям, каких в гипотенузе ΔZ содержится 120, то, значит, если прямая ΔZ равна 30;37, а $АД$ таким же 43;27, то ΔH будет содержать 1;52 такую же часть. Поэтому если гипотенуза $АД$ равна 120, то в ΔH таких частей будет 5;9, и угол $\Delta АН$ наибольшего отклонения по широте будет равен 4;54 градусам, каких в двух прямых углах будет 360, или 2;27, каких 360 будет в четырех прямых углах. В наименьшем расстоянии, когда радиус $ВД$ эпицикла равен 43;10 частям, каких в $АВ$, по предположению, было 58;45, квадрат на $\Delta В$, отнятый от квадрата на $АВ$, даст квадрат на $АД$, и мы получим длину последней равной 39;51 таким же частям. Равным образом как $АВ$ относится к $АД$, так и $ВД$ будет относиться к ΔZ , и ΔZ будет равна 29;17 таким же частям. Но отношение ΔZ к ΔH будет, по предположению, как у 120 к 7;20. Следовательно, если прямая ΔZ равна 29;17, а $АД$ — 39;51, то ΔH получится равной 1;47; поэтому если гипотенуза $АД$ равна 120, то в ΔH таких частей будет 5;22, и угол $\Delta АН$ наибольшего отклонения по широте будет равен 5;8 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 2;34 таким, каких 360 будет в четырех прямых углах. Таким образом, если мы предполагаем отклонение по широте при среднем значении отношения равным $2\frac{1}{2}$ градусам, то в апогее оно уменьшится на неощутимую величину, а в перигее увеличится на такую же. В наибольшем расстоянии произошло уменьшение только на 3 шестидесятых, а в наименьшем — увеличение на 4 шестидесятых. Такие величины никак не могут быть замечены в наблюдениях.

Теперь предположим, что Меркурий [находится] в наибольшем расстоянии [рис. 13.16], когда отношение $АВ$ к $ВД$ будет таким же, как у 69 к 22;30. Тогда так же, как и выше, получится, что $АД$ будет равна 65;14, а ΔZ — 21;16 такой же части⁶⁹. Предположим, что и здесь угол ΔZH обликвации

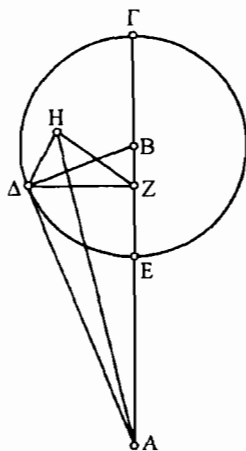


Рис. 13.15

равен 14 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, а прямая ΔH поэтому равна 14;40 частям⁷⁰, каких в гипотенузе ΔZ имеется 120. Следовательно, если прямая ΔZ равна 21;16, а ΔA таким же 65;14, то в ΔH таких частей будет 2;36. Поэтому если гипотенуза ΔA равна 120, то

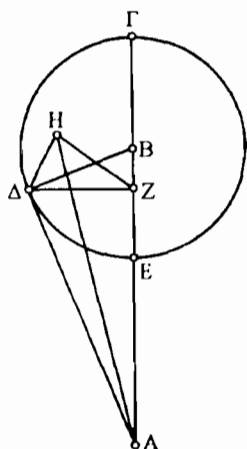


Рис. 13.16

ΔH будет иметь 4;47 такие части, и угол $\Delta A H$ наибольшего отклонения по широте равен 4;34 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360, или 2;17, каких 360 будет в четырех прямых углах. Для наименьшего же расстояния⁷¹ отношение AB к BA предполагается равным отношению 57 к 22;30. Вследствие этого ΔA будет тогда равна 52;22 таким же частям, а ΔZ таким же 20;40. Но так как вследствие той же обликвации отношение $Z\Delta$ к ΔH предполагается таким же, как у 120 к 14;40, и если прямая ΔZ равна 20;40, а ΔA таким же 52;22, то ΔH будет равна 2;32. Поэтому если гипотенуза ΔA равна 120, то в ΔH таких частей будет 5;48, и угол $\Delta A H$ будет равен 5;32 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360, или 2;46, каких 360 будет в четырех прямых углах. Следовательно, средняя величина наибольшего отклонения по широте, равная $2\frac{1}{2}$ для средних значений отношения, в апогее уменьшится самое большее на 13 шестидесятых, а в перигее увеличится самое большее на 16 шестиде-

579

сятых. Вместо этого в качестве поправки при вычислениях относительно средних расстояний мы будем пользоваться $\frac{1}{4}$ градуса как приемлемой для наблюдения величиной.

580

После того как все сказанное установлено, и учитывая, что отношение наибольших простаферезов по долготе к наибольшим отклонениям по широте останется таким же и в других точках эпицикла, как и отношение отдельных значений простаферезов по долготе к соответствующим отклонениям по широте⁷², мы легко можем при вычислении четвертого столбца таблиц для Венеры и Меркурия определить получающиеся от обликвации положения по широте. Однако, как мы сказали, эти положения основаны только на одной обликвации эпициклов на среднем расстоянии. Поправки же на инклинацию эксцентров, а также получающиеся для Меркурия разницы в апогее и перигее мы проще всего найдем при помощи следующего вычисления.

Так как при упомянутых средних значениях отношений наибольшие отклонения обих этих планет по широте в обе стороны от средней линии зодиака, получающиеся вследствие обликвации, оказались равными 2;30 градусам, а наибольший простаферез по долготе равен для Венеры 46 градусам, а для Меркурия приблизительно 22⁷³, и в таблицах аномалий для этих планет мы уже имеем простаферезы, соответствующие различным дугам эпициклов, то, найдя часть, которую они составляют от наибольшего простафереза по долготе, мы берем для каждой из этих планет такую же часть от 2;30 градусов и помещаем полученные значения в четвертых столбцах таблиц широты против соответствующих чисел⁷⁴.

581

Пятые столбцы [в каждой таблице] введены для уточнения положений по широте, соответствующих другим положениям [эпицикла] на эксцентре при помощи дополнительных шестидесятых долей. Действительно, как мы сказали, инклинации и обликвации эпициклов периодически увеличиваются и уменьшаются соответственно периодам движения по эксцентру при помощи

присоединенных упомянутых выше малых кругов⁷⁵, и так как величины инклинаций и обликваций не слишком отличаются от получающихся на наклонной орбите Луны, так что отдельные отклонения по широте приблизительно пропорциональны величинам этих наклонов, и поскольку мы уже получили при помощи геометрических построений соответствующие значения для Луны, то мы умножили каждое из них на 12, так как наибольшее увеличение [широты] для Луны равно 5 градусам, а мы теперь полагаем его равным 60. Полученные числа мы поместили в пятых столбцах, отнеся их к соответствующим числам градусов⁷⁶. Полученные таблицы будут такими.

582-586

5. Таблицы для вычисления широты

См. с. 420-421

587

6. Вычисление отклонений пяти планет по широте

Построив [таблицы] в вышеприведенном виде, будем производить вычисления широт пяти планет следующим образом.

Для трех планет — Сатурна, Юпитера и Марса, — получив уравненную долготу⁷⁷, вносим ее в числа соответствующей таблицы: для Марса в том виде, как она имеется, для Юпитера — вычтя 20 градусов, а для Сатурна — прибавив 50 градусов, и записываем соответствующие ей шестидесятые доли в пятом столбце для широты⁷⁸. Точно так же, внеся в те же самые числа величину уравненной аномалии⁷⁹, берем соответствующую ей разность широты в третьем столбце, если уравненная долгота будет в первых 15 строках, и в четвертом, если она стоит в следующих. Умножив ее на записанные шестидесятые доли, получим расстояние планеты по широте от средней линии зодиака, причем если мы взяли разность широты из третьего столбца, то это расстояние будет северным, если же мы взяли ее из четвертого столбца, то южным⁸⁰.

588

Для Венеры и Меркурия мы сначала ищем в числах [аргумента] соответствующей таблицы величину уравненной аномалии и записываем раздельно соответствующие ей значения широты из третьего и четвертого столбцов; числа из третьего столбца пишем как они есть, числа же из четвертого столбца для Меркурия мы пишем, уменьшив на $\frac{1}{10}$ часть, если уравненная долгота будет в первых 15 строках, или на столько же увеличив, если уравненная долгота будет в следующих строках⁸¹. После этого к уравненной долготе мы прибавляем во всех случаях для Венеры 90 градусов, для Меркурия 270, отбрасывая полную окружность, если такая имеется. Полученную величину мы опять вносим в те же самые числа и соответствующие ей в пятом столбце шестидесятые доли берем от чисел, стоящих в третьем столбце, и полученное записываем. Если значение долготы вместе с указанной прибавкой [90° или 270°] будет в первых 15 строках и при этом уравненная аномалия также в первых 15 строках, то полученная широта будет южной, если же [уравненная аномалия] в следующих [строках], то северной. Если же упомянутая величина долготы попадет в строки, стоящие ниже 15 первых, то широта будет северной, если значение упомянутой аномалии будет в 15 первых строках, и южной, если последнее будет стоять в следующих строках⁸².

Общие числа [расстояния] от апогея		Сатурн		Юпитер		Марс		Шести- десятые доли
		Инклинация		Инклинация		Инклинация		
		северный предел	южный предел	северный предел	южный предел	северный предел	южный предел	
1	2	3	4	3	4	3	4	5
6°	354°	2° 4'	2° 2'	1° 7'	1° 5'	0° 8'	0° 4'	59'36"
12	348	2 5	2 3	1 8	1 6	0 9	0 4	58 36
18	342	2 6	2 3	1 8	1 6	0 11	0 5	57 0
24	336	2 7	2 4	1 9	1 7	0 13	0 6	54 36
30	330	2 8	2 5	1 10	1 8	0 14	0 7	52 0
36	324	2 10	2 7	1 11	1 9	0 15	0 9	48 24
42	318	2 11	2 8	1 12	1 10	0 18	0 12	44 24
48	312	2 12	2 10	1 13	1 11	0 21	0 15	40 0
54	306	2 14	2 12	1 14	1 13	0 24	0 18	35 12
60	300	2 16	2 15	1 16	1 16	0 28	0 22	30 0
66	294	2 18	2 18	1 18	1 18	0 32	0 26	24 24
72	288	2 21	2 21	1 21	1 21	0 36	0 30	18 24
78	282	2 24	2 24	1 24	1 24	0 41	0 36	12 24
84	276	2 27	2 27	1 27	1 27	0 46	0 42	6 24
90	270	2 30	2 30	1 30	1 30	0 52	0 49	0 0
93	267	2 31	2 31	1 31	1 31	0 55	0 52	3 12
96	264	2 33	2 33	1 33	1 33	0 59	0 56	6 24
99	261	2 34	2 34	1 34	1 34	1 3	1 0	9 24
102	258	2 36	2 36	1 36	1 36	1 6	1 4	12 24
105	255	2 37	2 37	1 37	1 37	1 10	1 8	15 24
108	252	2 39	2 39	1 39	1 39	1 14	1 13	18 24
111	249	2 40	2 40	1 40	1 40	1 18	1 18	21 24
114	246	2 42	2 42	1 42	1 42	1 23	1 24	24 24
117	243	2 43	2 43	1 43	1 43	1 28	1 30	27 12
120	240	2 45	2 45	1 45	1 45	1 34	1 37	30 0
123	237	2 46	2 46	1 46	1 46	1 41	1 44	32 36
126	234	2 47	2 48	1 47	1 48	1 48	1 51	35 12
129	231	2 49	2 49	1 49	1 49	1 54	2 0	37 36
132	228	2 50	2 51	1 50	1 51	2 1	2 10	40 0
135	225	2 52	2 53	1 51	1 53	2 9	2 20	42 12
138	222	2 53	2 54	1 52	1 54	2 16	2 32	44 24
141	219	2 54	2 55	1 53	1 55	2 25	2 44	46 36
144	216	2 55	2 56	1 55	1 57	2 34	2 56	48 24
147	213	2 56	2 57	1 56	1 59	2 44	3 12	50 12
150	210	2 57	2 58	1 58	2 0	2 54	3 29	52 0
153	207	2 58	2 59	1 59	2 1	3 5	3 46	53 12
156	204	2 59	3 0	2 0	2 3	3 16	4 9	54 36
159	201	2 59	3 1	2 1	2 4	3 27	4 32	56 0
162	198	3 0	3 2	2 2	2 5	3 38	4 55	57 0
165	195	3 0	3 2	2 2	2 6	3 49	5 24	57 48
168	192	3 1	3 3	2 3	2 6	4 0	5 53	58 36
171	189	3 1	3 3	2 3	2 7	4 10	6 21	59 12
174	186	3 2	3 4	2 4	2 7	4 14	6 36	59 36
177	183	3 2	3 4	2 4	2 8	4 18	6 51	59 48
180	180	3 2	3 5	2 4	2 8	4 21	7 7	60 0

Общие числа [расстояния] от апогея		Венера		Меркурий		Шести- десятые доли
		инклинация	обликвания	инклинация	обликвания	
1	2	3	4	3	4	5
6°	354°	1° 2'	0° 8'	1° 45'	0° 11'	59' 36"
12	348	1 1	0 16	1 44	0 22	58 36
18	342	1 0	0 25	1 43	0 33	57 0
24	336	0 59	0 33	1 40	0 44	54 36
30	330	0 57	0 41	1 36	0 55	52 0
36	324	0 55	0 49	1 30	1 6	48 24
42	318	0 51	0 57	1 23	1 16	44 24
48	312	0 46	1 5	1 16	1 26	40 0
54	306	0 41	1 13	1 8	1 35	35 12
60	300	0 35	1 20	0 59	1 44	30 0
66	294	0 29	1 28	0 49	1 52	24 24
72	288	0 23	1 35	0 38	2 0	18 24
78	282	0 16	1 42	0 26	2 7	12 24
84	276	0 8	1 50	0 16	2 14	6 24
90	270	0 0	1 57	0 0	2 20	0 0
93	267	0 5	2 0	0 8	2 23	3 12
96	264	0 10	2 3	0 15	2 25	6 24
99	261	0 15	2 6	0 23	2 27	9 24
102	258	0 20	2 9	0 31	2 28	12 24
105	255	0 26	2 12	0 40	2 29	15 24
108	252	0 32	2 15	0 48	2 29	18 24
111	249	0 38	2 17	0 57	2 30	21 24
114	246	0 44	2 20	1 6	2 30	24 24
117	243	0 50	2 22	1 16	2 30	27 12
120	240	0 59	2 24	1 25	2 29	30 0
123	237	1 8	2 26	1 35	2 28	32 36
126	234	1 18	2 27	1 45	2 26	35 12
129	231	1 28	2 29	1 55	2 23	37 36
132	228	1 38	2 30	2 6	2 20	40 0
135	225	1 48	2 30	2 16	2 16	42 12
138	222	1 59	2 30	2 27	2 11	44 24
141	219	2 11	2 29	2 37	2 6	46 36
144	216	2 23	2 28	2 47	2 0	48 24
147	213	2 43	2 26	2 57	1 53	50 12
150	210	3 3	2 22	3 7	1 46	52 0
153	207	3 23	2 18	3 17	1 38	53 12
156	204	3 44	2 12	3 26	1 29	54 36
159	201	4 5	2 4	3 34	1 20	56 0
162	198	4 26	1 55	3 42	1 10	57 0
165	195	4 49	1 42	3 48	0 59	57 48
168	192	5 13	1 27	3 54	0 48	58 36
171	189	5 36	1 9	3 58	0 36	59 12
174	186	5 52	0 48	4 2	0 24	59 36
177	183	6 7	0 25	4 4	0 12	59 48
180	180	6 22	0 0	4 5	0 0	60 0

После этого, взяв уравненную долготу для Венеры как она есть, а для Меркурия после прибавления 180 градусов, вносим ее в те же самые числа; соответствующие им в пятом столбце шестидесятые доли берем от чисел, стоящих в четвертом столбце, и полученное записываем. Если упомянутое нами вносимое значение уравненной долготы попадает в первые 15 строк и величина уравненной аномалии меньше 180 градусов, то широта будет северной, если же больше 180, то южной. Если же упомянутое значение долготы попадет ниже этих 15 строк, то широта будет южной, если величина аномалии меньше 180 градусов, и северной, если она будет больше 180⁸³.

Наконец, взяв число шестидесятих долей, [полученных] при втором вхождении с долготой, берем такую же часть от 60; $\frac{1}{6}$ полученного мы для Венеры всегда прибавляем к северу, а для Меркурия всегда $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ прибавляем к югу⁸⁴. Таким образом, соединяя вместе эти три величины, мы определим видимую широту этих планет по отношению к средней линии зодиака⁸⁵.

7. О гелиакических восходах и заходах пяти планет

После подробного разбора отклонения пяти планет по широте нам остается дополнить [анализ их движений] необходимыми сведениями относительно восходов и заходов этих планет по отношению к Солнцу. Действительно, в соответствии с тем, что мы рассказывали относительно неподвижных звезд⁸⁶, расстояния от Солнца в гелиакических восходах и заходах, измеряемые по кругу, проходящему через середины зодиакальных созвездий, бывают неодинаковыми вследствие многих причин: первая из

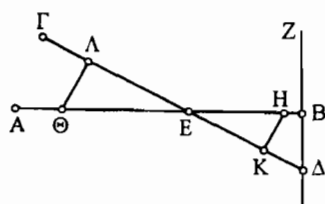


Рис. 13.17

них заключается в неравенстве их величин⁸⁷, вторая в неодинаковости наклонений зодиака к горизонту, третья же зависит от положений планет по широте.

Действительно, вообразим [рис. 13.17] снова сечения больших кругов, а именно горизонта AB и среднего круга зодиака ΓΔ; предположим, что точка E представляет их общее сечение, восточное или западное; направление от Γ к A будет к югу, а точка Δ представляет центр

Солнца. Через нее и полюс горизонта проведем дугу ΔBZ большого круга и предположим, что планета восходит или заходит на горизонте AEB; если она будет на самой средней линии зодиака, то это, конечно, будет происходить в точке E, если же она будет севернее средней линии, то в H, а если южнее, то в Θ. Из точек H и Θ к средней линии зодиака проведем перпендикуляры HK и ΘΛ, и пусть BΔ представляет всегда одинаковую [для данной планеты] дугу, равную расстоянию Солнца под землей, когда рассматриваемая планета впервые становится видимой или исчезает⁸⁸. Действительно, по описанному таким образом [перпендикулярно к горизонту] большому кругу [ΔZ] при одинаковых расстояниях Солнца под землей будут одинаковыми и степени освещения Солнцем. Но это расстояние [BΔ] необходимо должно получиться неравным для различных неодинаковых по величине светил, хотя бы все остальное было тем же самым, а значит, и дуги зодиака, стягивающие прямой угол, т.е. расстояния EΔ, должны быть тоже различными; ясно, что для больших светил они будут меньшими, а для меньших большими⁸⁹.

Точно так же, даже если дуга ВД будет одной и той же для данной планеты, то угол ВЕД наклона средней линии зодиака все же будет неодинаковым для различных знаков зодиака, [пересекающих горизонт] в различных климатах; следовательно, будет изменяться и величина дуги ЕД; именно она будет больше при уменьшении упомянутого угла [ВЕД] и меньше при его увеличении.

Точно так же, если первое условие сохранилось неизменным и наклон зодиака [к горизонту] оставался тем же самым, но планета была не на самой средней линии, а севернее ее, в Н, или южнее, в Θ, то она появлялась бы или исчезала не на определенной выше дуге ΔЕ расстояния [от Солнца], но если она севернее средней линии зодиака, то на меньшем расстоянии ΔК, если же южнее, то на большем ΔЕΛ.

Таким образом, при исследовании частных случаев необходимо прежде всего для каждой из пяти планет дать общую величину дуги ВД на основании 593 более точных наблюдений над их гелиакическими восходами. Такими могли бы быть наблюдения летом и в окрестностях Рака, ибо в эту пору воздух является чистым и прозрачным и наклон зодиака к горизонту симметричен [на востоке и западе]⁹⁰. Так вот, при помощи исследования таких наблюдений [первого] восхода мы нашли, что, восходя в начале Рака, Сатурн вообще становится видимым на расстоянии 14 градусов от истинного положения Солнца, Юпитер на расстоянии 12½/4 градусов, Марс на 14½, Венера вечерняя на расстоянии 5½/3 градусов, а Меркурий вечерний на расстоянии 11½ градусов⁹¹.

Установив это, вычертим предыдущую фигуру [еще раз] [рис. 13.18]. Для таких малых дуг не будет существенной разницы, если ради простоты мы подставим в наши вычисления соответствующие хорды, которые нечувствительно от них отличаются. Пусть точка Е будет

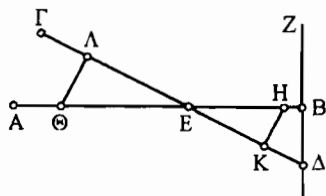


Рис. 13.18

общим сечением горизонта и средней линии зодиака, совпадающим в рассматриваемых восходах с началом Рака; эта точка будет восходить в утренних наблюдениях трех планет — Сатурна, Юпитера и Марса — и, конечно, заходить в вечерних наблюдениях Венеры и Меркурия. Пусть 594 взятый климат будет соответствовать Финикии, где наибольший день составляет 14¼ равноденственных часов, так как на этой параллели или вблизи нее было произведено больше всего наблюдений, и притом наиболее точных, а именно почти на самой параллели халдейские, а в ее близости производились наблюдения в Греции и в Египте⁹².

Теперь на основании изложенной ранее теории углов зодиака с горизонтом⁹³ находим, что при восходе начала Рака в упомянутом климате угол ВЕД равен 103 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360⁹⁴, и что вследствие этого отношение двух содержащих прямой угол линий [ВД и ВЕ] будет приблизительно таким, как у 94 к 75, если считать, что гипотенуза [ΔЕ] равна 120 таким частям. На основании теории [планетной] широты получается, что когда они восходят в начале Рака (если говорить лишь о трех [внешних] планетах), то это имеет место вблизи апогеев эпицикла, а именно на расстоянии от апогея, не превышающем 1/12 части [окружности эпицикла]; с неощутимой разностью Сатурн и Юпитер тогда будут находиться почти на самой средней линии 595 зодиака, а Марс севернее ее самое большее на 1/5 градуса⁹⁵. Поэтому

598

вблизи начала Рыб, получается равным самое большее 2 дням, а вблизи начала Девы 16 дням, а для планеты Меркурий вечерние восходы выпадают, когда им следовало бы наблюдаться в начале Скорпиона, а с утренними это бывает в начале Тельца. Все это мы могли бы объяснить следующим образом¹⁰⁰; и сначала для Венеры.

599

Возьмем чертеж для восходов и заходов, подобный предыдущему [рис. 13.20], и предположим сначала, что точка Е средней линии зодиака будет находиться в начале Рыб; в этой точке планета Венера, когда она в перигее эпицикла, находится приблизительно на $6\frac{1}{3}$ градусах севернее средней линии зодиака¹⁰¹. Этот чертеж может представлять вечерний заход¹⁰², когда угол ВЕД для взятого нами климата будет равным 154 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360¹⁰³. Если принять [в прямоугольных треугольниках ВЕД и КЕН] гипотенузу за 120, то большая из сторон [ВД или КН] около прямого угла будет содержать 117 таких частей, а меньшая [ВЕ или КЕ] приблизительно 27. Вследствие этого, если линия ДВ расстояния в общем случае равна 5, то ДЕ получится равной 5;8 таким частям. Но так как планета будет севернее средней линии зодиака на $6\frac{1}{3}$ градусов, которым равняется дуга КН, и отношение у 117 к 27 будет примерно таким же, как у $6\frac{1}{3}$ к $1\frac{1}{2}$, то КЕ будет равна $1\frac{1}{2}$ градусу, а остаток КД [ЕД — КЕ] — расстояние планеты при вечернем заходе от Солнца в направлении последовательности знаков — равен 3;38 градусам.

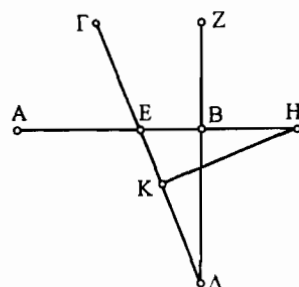


Рис. 13.20

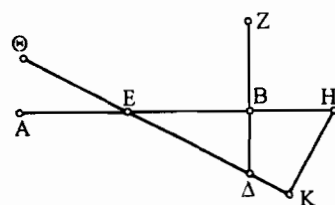


Рис. 13.21

600

Далее на подобном же чертеже [рис. 13.21] для утреннего восхода угол ВЕД будет равным 69 градусам, каких в двух прямых углах имеется 360¹⁰⁴. Вследствие этого, если принять [в прямоугольных треугольниках ЕВД и НКЕ] гипотенузу за 120, меньшая из прилежащих к прямому углу сторон [ВД или КН] будет равна 68 градусам, а большая [ВЕ или КЕ] — приблизительно 99; и мы нашли, что такое же отношение, как у 68 к 120, получится у 5 к 8;49, и как 68 относится к 99, так будет относиться и $6\frac{1}{3}$ к 9;13. Поэтому ДЕ получится равной 8;49 таким же частям, КЕ — разность [по долготе], обусловленная широтой, — будет равна 9;13 и остаток — линия ДК, очевидно, представляющая расстояние [планеты] от Солнца в направлении последовательности знаков, — будет равна 0;24 градусов. Но при вечернем заходе расстояние планеты также в направлении последовательности знаков было 3;38 градуса. Следовательно, за время от вечернего захода до утреннего восхода движение планеты было на 3;14 градуса меньше, чем движение Солнца (которое примерно равно ее собственному [среднему] движению по долготе)¹⁰⁵ вследствие [ее] попятного движения по эпициклу. Но, как легко установить по таблице аномалий, на это число [3;14] градусов планета перемещается против последовательности знаков, когда она вблизи перигея эпицикла проходит [по аномалии] $1\frac{1}{4}$ градус¹⁰⁶, а такое перемещение она совершает в среднем движении [по аномалии] примерно за 2 дня. Отсюда

ясно, что именно таким и должно было быть время для достижения упомянутого расстояния, что согласуется с явлениями.

Теперь предположим, что на таком же чертеже [рис. 13.22] точка Е совпадает с началом Девы, где планета Венера, находясь в перигее эпицикла,

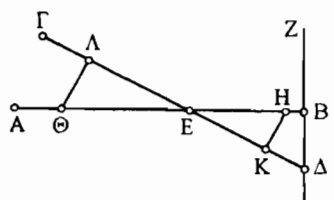


Рис. 13.22

будет южнее средней линии зодиака приблизительно на те же самые $6\frac{1}{3}$ градусов¹⁰⁷. Положим

сначала, что имеет место вечерний заход, когда угол ВЕД равняется 69 градусам, каких в двух прямых углах будет 360^{108} , и если принять гипотенузу [прямоугольного треугольника ВЕД] за 120, то меньшая из сторон [ВΔ], прилегающих к прямому углу, будет содержать 68 таких частей, а большая [ВЕ] приблизительно 99. Так

как величины отношений будут теми же, как при утреннем восходе Рыб, и отклонение по широте имеет одинаковую величину, то мы получим, что дуга ЕΔ равна тем же самым 8;49 градусам; представляющая разность [по долготе], обусловленную широтой, дуга ΛЕ будет 9;13 градусов, а вся дуга ΔΛ, представляющая расстояние планеты от Солнца в направлении знаков, равна 18;2 градусам. Как мы сказали, по таблице аномалий такому числу градусов попятного движения против перемещения среднего Солнца и планеты по долготе соответствуют приблизительно $7\frac{1}{2}$ градусов расстояния от перигея эпицикла¹⁰⁹.

Аналогичным образом при утреннем восходе в начале Девы, когда угол ВЕД составляет 154 градуса, каких в двух прямых углах имеется 360^{110} , и если гипотенуза [прямоугольного треугольника ВЕД] равняется 120 частям, то в большей стороне [ВΔ] из прилегающих к прямому углу таких частей будет 117, а в меньшей [ВЕ] — 27; опять получаются те же самые величины отношений, как при вечернем заходе Рыб. Мы получим, что дуга ΔЕ будет содержать 5;8 градусов, разность [по долготе] ЕΛ, обусловленная широтой, равна 1;30, и вся ΔΛ, представляющая расстояние планеты от Солнца в направлении к предшествующим знакам, будет равна 6;38 градусам, которым точно так же соответствуют примерно $2\frac{1}{2}$ градуса [по аномалии] от перигея эпицикла¹¹¹. Следовательно, планета Венера от вечернего захода до утреннего захода продвинется по эпициклу всего на 10 градусов, которые она пройдет за указанные выше 16 дней, что вполне соответствует наблюдениям.

Изложив все это, мы должны рассмотреть, что происходит при выпадении восходов и заходов Меркурия¹¹², и прежде всего, почему он, находясь в начале Скорпиона, даже при наибольшем расстоянии от Солнца в направлении последовательности знаков не может вечером появиться.

Возьмем чертеж для восходов и заходов [рис. 13.23] и предположим, что точка Е на средней линии зодиака соответствует началу Скорпиона, где при заходе угол ВЕД равен 69 градусам, каких в двух прямых углах содержится 360^{113} , и если положить гипотенузу равной 120, то меньшая из сторон [ВΔ], прилегающих к прямому углу [в треугольнике ВЕД], будет иметь 68 таких частей, а большая [ВЕ] — 99. Следовательно, если вообще расстояние ВΔ равно 10 градусам, то в ΔЕ таких градусов будет 17;39. Но когда планета находится в указанном положении [Θ], то она будет стоять приблизительно на 3 градуса южнее средней линии зодиака¹¹⁴. Поэтому

при указанных величинах отношений, если широта $\Lambda\Theta$ равна 3 градусам, то ΛE будет иметь их 4;22, а вся $\Delta E\Lambda$ окажется равной приблизительно 22 таким же градусам. На такое число градусов планета должна отстоять от истинного Солнца, чтобы она могла быть впервые замеченной. Но так как в начале Скорпиона она может удалиться от истинного Солнца самое большое на 20;58 градусов (это уже было показано выше относительно наибольших отклонений)¹¹⁵, то ясно, что подобные восходы necessarily должны выпасть.

Если далсе на том же чертеже для восходов и заходов [рис. 13.24] положим, что точка E представляет начало Тельца в утреннем восходе, когда планета в указанных положениях будет приблизительно на $3\frac{1}{6}$ градуса южнее средней

линии зодиака¹¹⁶ и отношения сторон, прилегающих к прямому углу [треугольников $BE\Delta$ и $\Lambda E\Theta$], будут те же самые, то мы получим, что ΔE будет равна 17;39 градусам, а ΛE содержит 4;37 градуса, каких в широте $\Theta\Lambda$ имеется 3;10, а вся $\Delta E\Lambda$ равна 22;16 таким же градусам.

Поэтому и здесь именно на такое число градусов должна отстоять планета от истинного положения Солнца, чтобы ее можно было впервые увидеть. Но так как она не удаляется больше, чем на указанное число 22;13 градусов¹¹⁷, то естественно, что такие появления должны тоже выпасть. Итак, мы доказали, что все изложенное выше согласуется и с явлениями, и с принятыми гипотезами.

9. Метод определения расстояний от Солнца для частных случаев гелиакических восходов и заходов

Отсюда ясно, что если дана длина дуги BD [рис. 13.25] для каждой планеты и указан знак зодиака, начало которого находится в точке E , а следовательно, и величина угла BED , то будут известными и дуга ΔE , и отклонение по широте планеты в указанном положении¹¹⁸, т.е. KN или $\Theta\Lambda$, а вследствие этого также KE и EL и, кроме того, видимое расстояние ΔK или ΔL . Чтобы не удлинять сочинения, мы для всех знаков зодиака, а также для каждой из пяти планет, но только для одного упомянутого

среднего климата, что вполне достаточно¹¹⁹, вычислили указанным образом видимые расстояния в гелиакических восходах и заходах от истинного положения Солнца, предполагая, что эти планеты находятся в начальных точках знаков. Эти величины для удобства пользования мы поместили в 5 таблицах [по одной для каждой из] пяти планет, из которых каждая содержит 12 строк. Из них первые три, а именно для Сатурна, Юпитера и Марса, мы расположили в 3 столбцах, из которых первые содержат начала знаков, вторые — расстояния для утренних восходов, а третьи — для вечерних заходов. Следующие две таблицы — для Венеры и

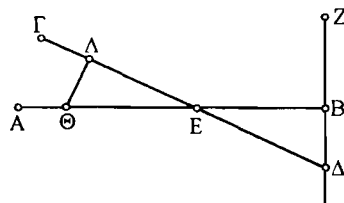


Рис. 13.23

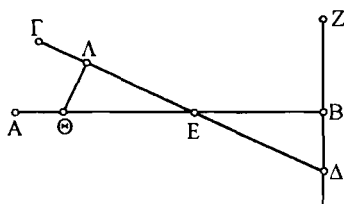


Рис. 13.24

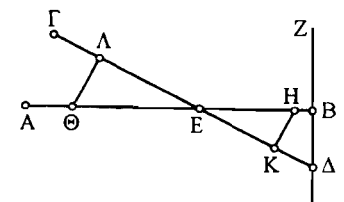


Рис. 13.25

Юпитера — мы расположили в 5 столбцах, из которых первые точно так же дают начала знаков, вторые — расстояния для вечерних восходов, третьи — для вечерних заходов и, наконец, четвертые — для утренних восходов и пятые — для утренних заходов¹²⁰. И таблицы эти таковы¹²¹.

10. Таблицы гелиаических восходов и заходов пяти планет

606-607

Начало знака Зодиака	Сатурн		Юпитер		Марс	
	утренний восход	вечерний заход	утренний восход	вечерний заход	утренний восход	вечерний заход
Овен	23° 30'	11° 28'	20° 10'	10° 19'	21° 12'	11° 40'
Телец	21 57	11 41	19 6	10 29	20 16	11 48
Близнецы	17 52	12 26	15 51	11 10	17 21	12 30
Рак	14 2	14 2	12 46	12 46	14 33	14 33
Лев	11 34	15 34	10 40	14 31	12 28	17 19
Дева	10 53	16 53	10 1	16 12	11 46	20 5
Весы	10 48	17 6	9 57	16 34	11 38	21 1
Скорпион	10 53	16 53	10 1	16 12	11 48	20 19
Стрелец	11 34	15 34	10 40	14 31	12 34	17 32
Козерог	14 2	14 2	12 46	12 46	14 45	14 45
Водолей	17 52	12 26	15 51	11 10	17 35	12 36
Рыбы	21 57	11 41	19 6	10 29	20 26	11 49

Начало знака Зодиака	Венера				Меркурий			
	вечерний восход	вечерний заход	утренний восход	утренний заход	вечерний восход	вечерний заход	утренний восход	утренний заход
Овен	5° 10'	4° 9'	3° 0'	10° 28'	9° 58'	9° 43'	23° 58'	23° 38'
Телец	5 8	4 16	6 16	9 40	10 4	10 15	22 15	22 15
Близнецы	5 12	5 7	9 15	7 36	10 18	11 47	18 0	16 44
Рак	5 36	8 23	9 50	5 59	12 22	15 34	14 4	12 30
Лев	6 16	13 3	8 2	5 5	13 43	19 59	11 25	10 21
Дева	7 22	18 2	6 38	4 54	18 1	23 13	10 21	9 59
Весы	7 53	17 43	5 41	4 54	22 49	23 16	9 51	10 0
Скорпион	8 20	13 47	5 28	4 55	20 1	22 1	9 44	10 19
Стрелец	7 49	8 1	4 39	5 16	18 11	17 25	9 25	11 19
Козерог	6 52	4 8	2 43	6 35	13 54	12 10	9 36	14 5
Водолей	5 51	3 16	0 30	8 33	11 10	9 50	12 27	17 50
Рыбы	5 22	3 38	0 24	10 16	10 11	9 43	19 15	21 46

11. Эпилог сочинения

608

После того как мы исполнили все это, о Сир, и разобрали, как я думаю, почти все, что должно быть рассмотрено в подобном сочинении, насколько прошедшее до сих пор время способствовало повышению точности наших открытий или уточнению [более древних], производимому не ради хвастовства, а только ради научной пользы, пусть настоящая наша работа получит здесь подходящий и соразмерный конец.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПТОЛЕМЕЙ И ЕГО АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ТРУД

Г.Е.Куртик, Г.П.Матвиевская

1. О месте Птолемея в истории науки

Клавдий Птолемей занимает одно из самых почетных мест в истории мировой науки. Его сочинения сыграли огромную роль в становлении астрономии, математики, оптики, географии, хронологии, музыки. Посвященная ему литература поистине огромна. И при этом его образ до наших дней остается неясным и противоречивым. Едва ли среди деятелей науки и культуры давно ушедших эпох можно назвать многих, о ком бы высказывались такие противоречивые суждения и велись столь жаростные споры среди специалистов, как о Птолемеи.

Объясняется это, с одной стороны, той важнейшей ролью, какую сыграли его труды в истории науки, а с другой — предельной скудостью биографических сведений о нем.

Птолемею принадлежит ряд выдающихся произведений по основным направлениям античного естествознания. Самое большое из них, и оставившее к тому же наибольший след в истории науки, — это публикуемый в настоящем издании астрономический труд, обычно называемый «Альмагестом».

«Альмагест» — это компендиум античной математической астрономии, в котором отражены почти все ее важнейшие направления. Со временем этот труд вытеснил более ранние работы античных авторов по астрономии и стал, таким образом, уникальным источником по многим важным вопросам ее истории. На протяжении столетий, вплоть до эпохи Коперника, «Альмагест» считался образцом строго научного подхода к решению астрономических задач. Без этого произведения невозможно представить себе историю средневековой индийской, персидской, арабской и европейской астрономии. Знаменитый труд Коперника «О вращениях», положивший начало современной астрономии, во многих отношениях был продолжением «Альмагеста».

Другие сочинения Птолемея, такие как «География», «Оптика», «Гармоники» и т.д., также оказали большое влияние на развитие соответствующих областей знания, иногда не меньшее, чем «Альмагест» на астрономию. Во всяком случае, каждое из них положило начало традиции изложения научной дисциплины, которая сохранялась на протяжении столетий. По широте научных интересов, сочетавшейся с глубиной анализа и строгостью изложения материала, мало кого можно поставить рядом с Птолемеи в истории мировой науки.

Однако наибольшее внимание Птолемей уделял астрономии, которой, кроме «Альмагеста», посвятил и другие сочинения. В «Планетных гипотезах» он разработал теорию движения планет как целостного механизма в рамках принятой им геоцентрической системы мира, в «Подручных таблицах» дал

сборник астрономических и астрологических таблиц с пояснениями, необходимый астроному-практику в его повседневной работе. Специальный трактат «Четверокнижие», в котором также большое значение придавалось астрономии, он посвятил астрологии. Несколько сочинений Птолемея утеряны и известны только по их названиям.

Такое многообразие научных интересов дает полное основание отнести Птолемея к числу наиболее выдающихся ученых, известных истории науки. Мировая слава, а главное — тот редчайший факт, что его труды на протяжении столетий воспринимались как нестареющие источники научного знания, свидетельствуют не только о широте кругозора автора, редкой обобщающей и систематизирующей силе его ума, но и о высоком мастерстве изложения материала. В этом отношении сочинения Птолемея и прежде всего «Альмагест» стали образцом для многих поколений ученых.

2. Биографические сведения

Достоверно о жизни Птолемея известно очень мало. То немногое, что сохранилось в античной и средневековой литературе по данному вопросу, представлено в работе Ф.Болля [*Boll*, 1894, S.53–66]¹. Наиболее надежные сведения, касающиеся жизни Птолемея, содержатся в его собственных трудах. В «Альмагесте» он приводит ряд своих наблюдений, которые датируются эпохой правления римских императоров Адриана (117–138) и Антонина Пия (138–161): самое раннее — 26 марта 127 г. н.э., а самое позднее — 2 февраля 141 г. н.э.² В восходящей к Птолемею «Канопской надписи», кроме того, упоминается 10-й год правления Антонина, т.е. 147/148 г. н.э.³ Пытаясь оценить пределы жизни Птолемея, необходимо также иметь в виду, что после «Альмагеста» им было написано еще несколько больших произведений, различных по тематике, из которых по меньшей мере два («География» и «Оптика») носят энциклопедический характер, что по самым скромным оценкам должно было занять не меньше двадцати лет. Следовательно, можно полагать, что Птолемей был еще жив при Марке Аврелии (161–180), как об этом сообщают более поздние источники⁴. Согласно Олимпиодору, александрийскому философу VI в. н.э., Птолемей работал как астроном в городе Канопе (ныне Абукир), расположенном в западной части дельты Нила, на протяжении 40 лет. Этому сообщению, однако, противоречит тот факт, что все наблюдения Птолемея, приведенные в «Альмагесте», выполнены в Александрии. Само по себе имя Птолемей свидетельствует о египетском происхождении его обладателя, который, вероятно, принадлежал, к числу греков, приверженцев эллинистической культуры в Египте, или же происходил из эллинизированных местных жителей. Латинское имя «Клавдий» заставляет предположить, что у него имелось римское гражданство. В античных и средневековых

¹ В этой связи см. также [*Fischer*, 1932; *NAMA*, p.834–836; *SA*, p.11–13; *Toomer*, 1975; *Waerden*, 1957]. Подробный анализ на русском языке биографических данных о жизни Птолемея представлен в [*Бронштэн*, 1988, С.11–16].

² См. кн. XI, гл. 5, с. 352 и кн. IX, гл. 7, с. 303 соответственно.

³ В ряде рукописей указывается 15-й год правления Антонина, что соответствует 152/153 г. н.э. [*Heiberg*, 1907, S.155].

⁴ См. [*Boll*, 1894, S.53].

источниках содержится также немало менее достоверных свидетельств о жизни Птолемея, которые нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть⁵.

О научном окружении Птолемея почти ничего неизвестно. «Альмагест» и ряд других его произведений (кроме «Географии» и «Гармоник») посвящен некоему Сиру (Σύρος). Это имя было достаточно распространено в эллинистическом Египте в рассматриваемый период. Никакими другими



Птолемей с жезлом Якоба

(ист.: Thevet. Les vrais portr. et vies d. hommes illustres...Paris, 1584)

сведениями об этом человеке мы не располагаем. Неизвестно даже, занимался ли он астрономией. Птолемей использует также планетные наблюдения некоего Теона (кн. IX, гл. 9; кн. X, гл. 1), выполненные в период 127–132 гг. н.э. Он сообщает, что эти наблюдения были «оставлены» ему «математиком Теоном» (кн. X, гл. 1, с. 316), что, по-видимому, предполагает личный контакт. Возможно, Теон был учителем Птолемея. Некоторые ученые отождествляют его с Теоном Смирнским (первая половина II в. н.э.), философом-платоником, уделявшим внимание астрономии [НАМА, р. 949–950].

⁵ Сообщают, например, что Птолемей родился в Гермиевой Птолемаиде, расположенной в Верхнем Египте, и что этим объясняется его имя «Птолемей» (Феодор Милетинский, XIV в. н.э.); согласно другой версии, он был родом из Пелузии, пограничного города к востоку от дельты Нила, но это утверждение, скорее всего, есть результат ошибочного прочтения имени «Клавдий» в арабских источниках [НАМА, р. 834]. В поздней античности и в средние века Птолемею приписывали также царское происхождение [НАМА, р. 834, п. 8; Toomer, 1985].

У Птолемея, несомненно, были сотрудники, помогавшие ему при проведении наблюдений и расчете таблиц. Объем вычислений, которые требовалось произвести для построения астрономических таблиц в «Альмагесте», поистине огромен. Во времена Птолемея Александрия еще оставалась крупным научным центром. В ней действовало несколько библиотек, из которых самая крупная располагалась в александрийском Мусейоне. Между сотрудниками библиотеки и Птолемеем существовали, по-видимому, личные контакты, как это нередко бывает и теперь при научной работе. Кто-то помогал Птолемею в подборе литературы по интересующим его вопросам, приносил рукописи или подводил к стеллажам и нишам, где хранились свитки.

До недавнего времени предполагалось, что «Альмагест» — самая ранняя из дошедших до нас астрономических работ Птолемея. Однако недавние исследования [Hamilton etc., 1989] показали, что «Канопская надпись» предшествовала «Альмагесту». Упоминания об «Альмагесте» содержатся в «Планетных гипотезах», «Подручных таблицах», «Четверокнижии» и «Географии», что делает несомненным более позднее их написание. Об этом же свидетельствует анализ содержания этих произведений. В «Подручных таблицах» многие таблицы упрощены и улучшены по сравнению с аналогичными таблицами в «Альмагесте». В «Планетных гипотезах» используется другая система параметров для описания движений планет и по-новому решен ряд вопросов, например, проблема планетных расстояний. В «Географии» нулевой меридиан перенесен на Канарские острова вместо Александрии, как это принято в «Альмагесте». «Оптика» создана также, по-видимому, позднее «Альмагеста»; в ней рассмотрена астрономическая рефракция, которая не играет заметной роли в «Альмагесте». Поскольку «География» и «Гармоники» не содержат посвящения Сиру, то с известной долей риска можно утверждать, что эти произведения написаны позднее других работ Птолемея [Toomer, 1975, p.187]. У нас нет других более точных ориентиров, которые позволили бы хронологически фиксировать дошедшие до нас работы Птолемея.

3. Античная астрономия до Птолемея

Чтобы оценить вклад Птолемея в развитие античной астрономии, необходимо ясно представлять основные этапы ее предшествующего развития. К сожалению, большинство работ греческих астрономов, относящихся к раннему периоду (V–III вв. до н.э.), не дошло до нас. Об их содержании мы можем судить только по цитатам в трудах более поздних авторов и прежде всего у самого Птолемея.

У истоков развития античной математической астрономии лежат четыре особенности греческой культурной традиции, ясно выраженные уже в ранний период: склонность к философскому осмыслению действительности, пространственное (геометрическое) мышление, приверженность наблюдениям и стремление согласовать умозрительный образ мира и наблюдаемые явления.

На ранних этапах античная астрономия была тесно связана с философской традицией, откуда она заимствовала принцип кругового и равномерного движения как основу для описания видимых неравномерных движений светил. Самым ранним примером применения этого принципа в астрономии стала теория гомоцентрических сфер Евдокса Книдского (ок. 408–355 гг. до н.э.), усовершенствованная Каллиппом (IV в. до н.э.) и принятая с определенными изменениями Аристотелем (Метафиз. XII, 8).

Эта теория качественно воспроизводила особенности движения Солнца, Луны и пяти планет: суточное вращение небесной сферы, движения светил вдоль эклиптики с запада на восток с различными скоростями, изменения широты и попятные движения планет. Движения светил в ней управлялись вращением небесных сфер, к которым они были прикреплены; сферы обращались вокруг единого центра (Центра Мира), совпадающего с центром неподвижной Земли, имели один и тот же радиус, нулевую толщину и считались состоящими из эфира. Видимые изменения блеска светил и связанные с этим изменения их расстояний относительно наблюдателя в рамках этой теории не могли получить удовлетворительного объяснения.

Принцип кругового и равномерного движения успешно применялся также в сферике — разделе античной математической астрономии, в котором решались задачи, связанные с суточным вращением небесной сферы и ее важнейших кругов, прежде всего экватора и эклиптики, восходами и заходами светил, знаков зодиака относительно горизонта на различных широтах. Эти задачи решались с использованием методов сферической геометрии. В предшествующее Птолемею время появился целый ряд трактатов по сферике, в том числе Автолика (ок. 310 г. до н.э.), Евклида (вторая половина IV в. до н.э.), Теодосия (вторая половина II в. до н.э.), Гипсикла (II в. до н.э.), Менелая (I в. н.э.) и др. [Матвиевская, 1990, с.27–33].

Выдающимся достижением античной астрономии стала теория гелиоцентрического движения планет, предложенная Аристархом Самосским (ок. 320–250 гг. до н.э.). Однако эта теория, насколько позволяют судить наши источники, не оказала какого-либо заметного влияния на развитие собственно математической астрономии, т.е. не привела к созданию астрономической системы, имеющей не только философское, но и практическое значение и позволяющей определять положения светил на небе с необходимой степенью точности⁶.

Важным шагом вперед стало изобретение эксцентров и эпициклов, позволивших качественно объяснить в одно и то же время на основе равномерных и круговых движений наблюдаемые неравномерности движения светил и изменения их расстояний относительно наблюдателя. Эквивалентность эпициклической и эксцентрической моделей для случая Солнца доказал Аполлоний Пергский (III–II вв. до н.э.). Он применил также эпициклическую модель для объяснения попятных движений планет. Новые математические средства позволили перейти от качественного к количественному описанию движений светил. Впервые, по-видимому, эту задачу успешно решил Гиппарх (II в. до н.э.). Он создал на основе эксцентрической и эпициклической моделей теории движения Солнца и Луны, которые позволяли определять их текущие координаты для любого момента времени. Однако ему не удалось разработать аналогичную теорию для планет из-за отсутствия наблюдений.

Гиппарху принадлежит также целый ряд других выдающихся достижений в астрономии: открытие прецессии, создание звездного каталога, измерение лунного параллакса, определение расстояний до Солнца и Луны, разработка

⁶ В литературе высказывается также противоположная точка зрения, а именно, что в предшествующее Птолемею время уже существовала разработанная гелиоцентрическая система, основанная на эпициклах, и что система Птолемея является только переработкой этой более ранней системы [Идельсон, 1975, с.175; Rawlins, 1987]. Однако, на наш взгляд, такого рода предположения не имеют под собой достаточного основания.

теории лунных затмений, конструирование астрономических инструментов, в частности армиллярной сферы, проведение большого числа наблюдений, не потерявших частично своего значения до настоящего времени, и многое другое. Роль Гиппарха в истории античной астрономии поистине огромна.

Проведение наблюдений составляло особое направление в античной астрономии задолго до Гиппарха [Goldstein, Bower, 1991]. В ранний период наблюдения носили в основном качественный характер. С развитием кинематико-геометрического моделирования наблюдения математизируются. Основная цель наблюдений — определение геометрических и скоростных параметров принятых кинематических моделей. Параллельно разрабатываются астрономические календари, позволяющие фиксировать даты наблюдений и определять интервалы между наблюдениями на основе линейной равномерной шкалы времени. При наблюдении фиксировали положения светил относительно выделенных точек кинематической модели в текущий момент или же определяли время прохождения светила через выделенную точку схемы. В числе подобных наблюдений: определение моментов равноденствий и солнцестояний, высоты Солнца и Луны при прохождении через меридиан, временных и геометрических параметров затмений, дат покрытия Луною звезд и планет, положений планет относительно Солнца, Луны и звезд, координат звезд и т.д. Наиболее ранние наблюдения такого рода относятся к V в. до н.э. (Метон и Евктемон в Афинах); Птолемею были известны также наблюдения Аристилла и Тимохариса, выполненные в Александрии в начале III в. до н.э., Гиппарха на Родосе во второй половине II в. до н.э., Менелая и Агриппы соответственно в Риме и Вифинии в конце I в. до н.э., Теона в Александрии в начале II в. н.э. В распоряжении греческих астрономов имелись также (уже, по-видимому, во II в. до н.э.) результаты наблюдений месопотамских астрономов, в том числе списки лунных затмений, планетных конфигураций и др. Греки были знакомы также с лунными и планетными периодами, принятыми в месопотамской астрономии Селевкидского периода (IV–I вв. до н.э.). Эти данные они использовали для проверки точности параметров собственных теорий. Проведение наблюдений сопровождалось развитием теории и конструированием астрономических инструментов.

Особое направление в античной астрономии составляли наблюдения звезд. Греческие астрономы выделили на небе около 50 созвездий. В точности неизвестно, когда именно была проделана эта работа, но к началу IV в. до н.э. она была, по-видимому, уже завершена; не вызывает сомнения, что месопотамская традиция сыграла при этом важную роль.

Описание созвездий составили особый жанр в античной литературе. Звездное небо изображали наглядно на небесных глобусах. Самые ранние образцы такого рода глобусов традиция связывает с именами Евдокса и Гиппарха. Однако античная астрономия пошла значительно дальше простого описания формы созвездий и расположения звезд в них. Выдающимся достижением стало создание Гиппархом первого звездного каталога, содержащего эклиптические координаты и оценки блеска каждой звезды, включенной в него. Число звезд в каталоге по некоторым данным не превышало 850; по другой версии, он включал около 1022 звезд и структурно был подобен каталогу Птолемея, отличаясь от него только долготами звезд⁷.

⁷ По данному вопросу см. [Нейгебауэр, 1968, с.181; Шевченко, 1988; Vogt, 1925], а также [Ньютон, 1985, гл.IX].

Развитие античной астрономии происходило в тесной связи с развитием математики. Решение астрономических задач во многом определялось теми математическими средствами, которыми располагали астрономы. Особую роль при этом сыграли труды Евдокса, Евклида, Аполлония, Менелая. Появление «Альмагеста» было бы невозможно без предшествующего развития методов логики — стандартной системы правил для проведения вычислений, без планиметрии и основ сферической геометрии (Евклид, Менелай), без плоской и сферической тригонометрии (Гиппарх, Менелай), без разработки методов кинематико-геометрического моделирования движений светил при помощи теории эксцентров и эпициклов (Аполлоний, Гиппарх), без развития методов задания функций одной, двух и трех переменных в табличном виде (месопотамская астрономия, Гиппарх?). Со своей стороны астрономия непосредственно влияла на развитие математики. Такие, например, разделы античной математики как тригонометрия хорд, сферическая геометрия, стереографическая проекция и т.д. получили развитие только потому, что им придавалось особое значение в астрономии.

Помимо геометрических методов моделирования движений светил в античной астрономии употреблялись также арифметические методы, имеющие месопотамское происхождение. До нас дошли греческие планетные таблицы, вычисленные на основе месопотамской арифметической теории. Данные этих таблиц античные астрономы использовали, по-видимому, для обоснования эпициклической и эксцентрической моделей. В предшествующее Птолемею время, приблизительно со II в. до н.э., получил распространение целый класс специальной астрологической литературы, в том числе лунные и планетные таблицы, которые вычислялись на основе методов как месопотамской, так и греческой астрономии⁸.

4. «Альмагест» Птолемея

Труд Птолемея был первоначально озаглавлен «Математическое сочинение в 13 книгах» (*Μαθηματικὴς Συντάξεως βιβλία 13*)⁹. В поздней античности на него ссылались как на «великое» (*μεγάλη*) или «величайшее» (*μεγίστη*) сочинение, в противоположность «Малому астрономическому собранию» (*ὁ μικρὸς ἀστρονομούμενος*) — сборнику небольших трактатов по сфере и другим разделам античной астрономии¹⁰. В IX в. при переводе «Математического сочинения» на арабский язык греческое слово *ἡ μεγίστη* было воспроизведено по-арабски как «ал-маджисти», откуда и происходит общепринятая в настоящее время латинизированная форма названия этого произведения «Альмагест».

«Альмагест» состоит из тринадцати книг. Подразделение на книги принадлежит несомненно самому Птолемею, деление же на главы и их названия были введены позднее. С определенностью можно утверждать, что во времена Паппа Александрийского в конце IV в. н.э. такого рода деление уже существовало, хотя и значительно отличалось от ныне принятого.

⁸ Более подробный обзор методов доптолемеевской астрономии см. в [Dicks, 1970; НАМА; Waerden, 1988(2); Ван-дер-Варден, 1991].

⁹ Или иначе: «Математическое собрание (построение) в 13 книгах».

¹⁰ Существование «Малой астрономии» как особого направления в античной астрономии признается всеми историками астрономии за исключением О.Нейгенбауэра. См. по данному вопросу [НАМА, р.768–769].

Дошедший до нас греческий текст содержит также некоторое число позднейших интерполяций, не принадлежащих Птолемею, а внесенных переписчиками по различным соображениям [РА, р.5–6].

«Альмагест» — это учебник главным образом теоретической астрономии. Он предназначен для уже подготовленного читателя, знакомого с геометрией Евклида, сферикой и логистикой. Основная теоретическая задача, решаемая в «Альмагесте», — это предвычисление видимых положений светил (Солнца, Луны, планет и звезд) на небесной сфере в произвольный момент времени с точностью, соответствующей возможностям визуальных наблюдений. Другой важный класс задач, решаемых в «Альмагесте», — это предвычисление дат и других параметров особых астрономических явлений, связанных с движением светил, — лунных и солнечных затмений, гелиакических восходов и заходов планет и звезд, определение параллакса и расстояний до Солнца и Луны и т.д. При решении этих задач Птолемей следует стандартной методике, которая включает несколько этапов.

1. На основе предварительных грубых наблюдений выясняются характерные особенности в движении светила и производится выбор кинематической модели, наилучшим образом соответствующей наблюдаемым явлениям. Процедура выбора одной модели из нескольких равно возможных должна удовлетворять «принципу простоты»; Птолемей пишет об этом: «Мы считаем уместным объяснять явления при помощи наиболее простых предположений, если только наблюдения не противоречат выдвинутой гипотезе» (кн. III, гл. 1, с. 79). Первоначально выбор производится между простой эксцентрической и простой эпициклической моделями. На данном этапе решаются вопросы о соответствии кругов модели определенным периодам движения светила, о направлении движения эпицикла, о местах ускорения и замедления движения, о положении апогея и перигея и т.д.

2. Опираясь на принятую модель и используя наблюдения, как свои собственные, так и своих предшественников, Птолемей определяет периоды движения светила с максимально возможной точностью, геометрические параметры модели (радиус эпицикла, эксцентриситет, долготу апогея и др.), моменты прохождения светила через выделенные точки кинематической схемы, чтобы привязать движение светила к хронологической шкале.

Проще всего указанная методика работает при описании движения Солнца, где достаточно простой эксцентрической модели. При исследовании движения Луны, однако, Птолемею пришлось трижды видоизменять кинематическую модель, чтобы найти такое сочетание кругов и линий, которое наилучшим образом соответствовало бы наблюдениям. Существенные усложнения пришлось внести также в кинематические модели для описания движений планет по долготе и широте.

Кинематическая модель, воспроизводящая движения светила, должна удовлетворять «принципу равномерности» круговых движений. «Мы полагаем, — пишет Птолемей, — что для математика основной задачей является в конечном счете показать, что небесные явления получаются при помощи равномерных круговых движений» (кн. III, гл. 1, с. 82). Этот принцип, однако, выполняется им не строго. Он отклоняется от него всякий раз (не оговаривая, впрочем, этого явным образом), когда этого требуют наблюдения, например, в лунной и планетной теориях. Нарушение принципа равномерности круговых движений в ряде моделей стало позднее в астрономии стран ислама и средневековой Европы основанием для критики системы Птолемея.

3. После определения геометрических, скоростных и временных параметров кинематической модели Птолемей переходит к построению таблиц, при помощи которых должны вычисляться координаты светила в произвольный момент времени. В основе таких таблиц лежит представление о линейной однородной шкале времени, за начало которой принято начало эры Набонассара (-746 г., февраль 26, истинный полдень). Любая величина, зафиксированная в таблице, получается в результате непростых вычислений. Птолемей при этом показывает виртуозное владение геометрией Евклида и правилами логики. В заключение приводятся правила пользования таблицами, а иногда также примеры вычислений.

Изложение в «Альмагесте» носит строго логический характер. В начале книги I рассмотрены общие вопросы, касающиеся структуры мира в целом, его самая общая математическая модель. Здесь доказываются сферичность неба и Земли, центральное положение и неподвижность Земли, незначительность размеров Земли по сравнению с размерами неба, выделяются два основных направления на небесной сфере — экватор и эклиптика, параллельно которым происходят соответственно суточное вращение небесной сферы и периодические движения светил. Во второй половине книги I излагаются тригонометрия хорд и сферическая геометрия — способы решения треугольников на сфере с использованием теоремы Менелая.

Книга II целиком посвящена вопросам сферической астрономии, не требующим для своего решения знания координат светил как функции времени; в ней рассмотрены задачи по определению времен восхода, захода и прохождения через меридиан произвольных дуг эклиптики на различных широтах, продолжительности дня, длины тени гномона, углов между эклиптической и основными кругами небесной сферы и т.д.

В книге III разработана теория движения Солнца, которая содержит определение продолжительности солнечного года, выбор и обоснование кинематической модели, определение ее параметров, построение таблиц для вычисления долготы Солнца. В заключительном разделе исследуется понятие уравнивания времени. Теория Солнца является основой для изучения движения Луны и звезд. Долготы Луны в моменты лунных затмений определяются по известной долготе Солнца. То же самое касается определения координат звезд.

Книги IV-V посвящены теории движения Луны по долготе и широте. Движение Луны исследуется приблизительно по той же схеме, что и движение Солнца, с той лишь разницей, что Птолемей, как мы уже отмечали, последовательно вводит здесь три кинематические модели. Выдающимся достижением стало открытие Птолемеем второго неравенства в движении Луны, так называемой эквекции, связанной с нахождением Луны в квадратурах. Во второй части книги V определяются расстояния до Солнца и Луны и строится теория солнечного и лунного параллакса, необходимая для предвычисления солнечных затмений. Параллактические таблицы (кн.V, гл.18) являются, пожалуй, наиболее сложными из всех, что содержатся в «Альмагесте».

Книга VI посвящена целиком теории лунных и солнечных затмений.

В книгах VII и VIII содержится звездный каталог и рассматривается целый ряд других вопросов, касающихся неподвижных звезд, в том числе теория прецессии, конструкция небесного глобуса, гелиакические восходы и заходы звезд и т.д.

В книгах IX-XIII излагается теория движения планет по долготе и широте. При этом движения планет анализируются независимо друг от

друга; также независимо рассматриваются перемещения по долготе и широте. При описании движений планет по долготе Птолемей использует три кинематические модели, различающиеся в деталях, соответственно для Меркурия, Венеры и верхних планет. В них реализовано важное усовершенствование, известное под названием экванта, или биссекции эксцентриситета, позволившее повысить точность определения долгот планет приблизительно в три раза по сравнению с простой эксцентрической моделью¹¹. В этих моделях, однако, формально нарушается принцип равномерности круговых вращений. Особой сложностью отличаются кинематические модели для описания движения планет по широте. Эти модели формально не совместимы с принятыми для тех же планет кинематическими моделями движения по долготе. Обсуждая эту проблему, Птолемей высказывает несколько важных методологических положений, характеризующих его подход к моделированию движений светил. В частности, он пишет: «И пусть никто... не считает эти гипотезы слишком искусственными; не следует применять человеческие понятия к божественному... Но к небесным явлениям нужно пытаться приспособить сколь возможно простые предположения... Их связь и взаимное влияние в различных движениях кажутся нам очень искусственными в устраиваемых нами моделях, и трудно сделать так, чтобы движения не мешали друг другу, но в небе никакое из этих движений не встретит препятствий от подобного соединения. Лучше будет и о самой простоте небесного судить не на основе того, что нам кажется таким...» (кн. XIII, гл. 2, с. 401). В книге XII анализируются попятные движения и величины максимальных элонгаций планет; в конце книги XIII рассмотрены гелиакические восходы и заходы планет, которые требуют для своего определения знания одновременно долготы и широты планет.

Теория движения планет, изложенная в «Альмагесте», принадлежит самому Птолемею. Во всяком случае, не существует каких-либо серьезных оснований, указывающих на то, что что-либо подобное существовало в предшествующее Птолемею время.

5. Другие работы Птолемея

Кроме «Альмагеста» Птолемею принадлежит также ряд других сочинений по астрономии, астрологии, географии, оптике, музыке и т.д., пользовавшихся большой известностью в античности и средневековье, в том числе:

- «Канопская надпись»,
- «Подручные таблицы»,
- «Планетные гипотезы»,
- «Фазы»,
- «Аналемма»,
- «Планисферий»,
- «Четверокнижие»,
- «География»,
- «Оптика»,
- «Гармоники» и др.

О времени и порядке написания этих работ см. раздел 2 настоящей статьи. Кратко рассмотрим их содержание.

¹¹ См. по данному вопросу [Идельсон, 1975, с. 141–149].

«Канопская надпись» представляет собой список параметров астрономической системы Птолемея, который был высечен на стелле, посвященной Спасителю Богу (возможно, Серапису), в городе Канопе в 10-й год правления Антонина (147/148 г. н.э.)¹². Сама стелла не сохранилась, но ее содержание известно из трех греческих рукописей. Большинство параметров, принятых в этом списке, совпадает с используемыми в «Альмагесте». Однако имеются расхождения, не связанные с ошибками переписчиков. Исследование текста «Канопской надписи» показало, что она восходит ко времени более раннему, чем время создания «Альмагеста».

«Подручные таблицы» (Πρόχειροι κανόνες), вторая по величине после «Альмагеста» астрономическая работа Птолемея, представляет собой сборник таблиц для расчета положений светил на сфере в произвольный момент и для предвычисления некоторых астрономических явлений, прежде всего затмений. Таблицам предшествует «Введение» Птолемея, в котором поясняются основные принципы их использования¹³. «Подручные таблицы» дошли до нас в переложении Теона Александрийского, однако известно, что Теон немногое изменил в них. Он написал к ним также два комментария — «Большой комментарий» в пяти книгах и «Малый комментарий», которые должны были заменить «Введение» Птолемея¹⁴. «Подручные таблицы» тесно связаны с «Альмагестом», но содержат также целый ряд нововведений, имеющих как теоретический, так и практический характер. Например, в них приняты другие методы для вычисления широт планет, изменен ряд параметров кинематических моделей. За начальную эпоху таблиц принята эра Филиппа (–323 г.). Таблицы содержат звездный каталог, включающий около 180 звезд в окрестности эклиптики, в котором долготы измеряются сидерически, причем Регул (α Leo) принят за начало отсчета сидерической долготы. Имеется также список около 400 «Важнейших городов» с указанием географических координат. В «Подручных таблицах» содержится также «Царский канон» — основа хронологических вычислений Птолемея (см. Приложение «Календарь и хронология в "Альмагесте"»). В большинстве таблиц значения функций приводятся с точностью до минут, правила их использования упрощены. Эти таблицы имели несомненно астрологическое предназначение. В дальнейшем «Подручные таблицы» пользовались большой популярностью в Византии, Персии и на средневековом мусульманском Востоке.

«Планетные гипотезы» (ὑποθέσεις τῶν πλανημένων) — небольшая, но имеющая важное значение в истории астрономии работа Птолемея, состоящая из двух книг. Только часть первой книги сохранилась на греческом языке; однако до нас дошел полный арабский перевод этого произведения, принадлежащий Сабиту ибн Корре (836–901), а также перевод

¹² Греческий текст см. [Heiberg, 1907, S.149–155]; перевод на французский см. [Halma, 1820, p.57–62]; описания и исследования см. [HAMA, p.901,913–917; Hamilton etc., 1987; Waerden, 1959, Col.1818–1823; 1988(2), S.298–299].

¹³ Единственное более или менее полное издание «Подручных таблиц» принадлежит Н.Альма [Halma, 1822–1825]; греческий текст «Введения» Птолемея см. [Heiberg, 1907, S.157–186]; исследования и описания см. [Aaboe, 1960; HAMA, p.969–1028; SA, p.397–400; Tihon, 1985(2); Waerden, 1953; 1958; 1959, Col. 1823–1827; 1988(2), S.299–300].

¹⁴ Греческий текст, перевод и комментарии см. [Tihon, 1978; 1985(1); 1991].

на еврейский язык XIV в.¹⁵ Книга посвящена описанию астрономической системы как целого. «Планетные гипотезы» отличаются от «Альмагеста» в трех отношениях: а) в них используется другая система параметров для описания движений светил; б) упрощены кинематические модели, в частности модель для описания движения планет по широте; в) изменен подход к самим моделям, которые считаются не геометрическими абстракциями, призванными «спасти явления», а частями единого механизма, реализуемого физически. Детали этого механизма построены из эфира, пятого элемента аристотелевской физики. Механизм, управляющий движениями светил, представляет собой соединение гомоцентрической модели мира с моделями, построенными на основе эксцентров и эпициклов. Движение каждого светила (Солнца, Луны, планет и звезд) происходит внутри особого сферического кольца определенной толщины. Эти кольца последовательно вложены друг в друга таким образом, чтобы не осталось места для пустоты. Центры всех колец совпадают с центром неподвижной Земли. Внутри сферического кольца светило движется согласно той кинематической модели, которая принята в «Альмагесте» (с небольшими изменениями).

В «Альмагесте» Птолемей определяет абсолютные расстояния (в единицах радиуса Земли) только до Солнца и Луны. Для планет этого нельзя сделать вследствие отсутствия у них заметного параллакса. В «Планетных гипотезах», однако, он находит абсолютные расстояния также и для планет, исходя из предположения, что максимальное расстояние одной планеты равняется минимальному расстоянию планеты, следующей за ней. Принятая последовательность расположения светил: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн, неподвижные звезды. В «Альмагесте» определяются максимальное расстояние до Луны и минимальное расстояние до Солнца от центра сфер. Их разность близко соответствует суммарной толщине сфер Меркурия и Венеры, полученной независимо. Это совпадение в глазах Птолемея и его последователей подтверждало правильность расположения Меркурия и Венеры в промежутке между Луной и Солнцем и свидетельствовало о достоверности системы в целом. В заключение трактата приводятся результаты определения Гиппархом видимых диаметров планет, на основании которых вычисляются их объемы. «Планетные гипотезы» пользовались большой известностью в поздней античности и в средние века. Разработанный в них планетный механизм нередко изображали графически. Эти изображения (арабские и латинские) служили наглядным выражением астрономической системы, которую обычно определяли как «система Птолемея».

«Фазы неподвижных звезд» (Φάσεις ἀπλανῶν ἀστέρων) — небольшая работа Птолемея в двух книгах, посвященная погодным предсказаниям на основе наблюдений дат синодических явлений звезд. До нас дошла только книга II, содержащая календарь, в котором на каждый день года приводится

¹⁵ Греческий текст см. [Heiberg, 1907, S.70–106]; параллельный немецкий перевод, включающий и те части, которые сохранились на арабском, см. [там же, S.71–145]; греческий текст и параллельный перевод на французски см. [Halma, 1820, p.41–56]; арабский текст с переводом на английский части, недостающей в немецком переводе, см. [Goldstein, 1967]; исследования и комментарии см. [НАМА, p.900–926; Hartner, 1964; Murschel, 1995; SA, p.391–397; Waerden, 1988(2), p.297–298]; описание и анализ механической модели мира Птолемея на русском языке см. [Рожанская, Куртик, с.132–134].

погодное предсказание в предположении, что именно в этот день произошло одно из четырех возможных синодических явлений (гелиакический восход или заход, акронический восход, космический заход). Например:

Тот 1 14½ часов: [звезда] в хвосте Льва (β Leo) восходит;
согласно Гиппарху, северные ветры заканчиваются;
согласно Евдоксу, дождь, гроза, северные ветры за-
канчиваются.

Птолемей использует всего 30 звезд первой и второй величины и приводит предсказания для пяти географических климатов, для которых максимальная продолжительность дня изменяется от 13½^h до 15½^h через ½^h. Даты приводятся в александрийском календаре. Указаны также даты равноденствий и солнцестояний (I, 28; IV, 26; VII, 26; XI, 1), что позволяет приблизительно датировать время написания работы как 137–138 гг. н.э. Предсказания погоды на основе наблюдений восходов звезд отражают, очевидно, донаучную стадию в развитии античной астрономии. Однако Птолемей вносит и в эту не вполне астрономическую область элемент научности¹⁶.

«Аналемма» (Περὶ ἀναλήμματος) — трактат, в котором описан метод нахождения геометрическим построением в плоскости дуг и углов, фиксирующих положение точки на сфере относительно избранных больших кругов. Сохранились фрагменты греческого текста и полный латинский перевод этого произведения, выполненный Виллемом из Мербеке (XIII в. н.э.)¹⁷. В нем Птолемей решает следующую задачу: определить сферические координаты Солнца (его высоту и азимут), если известны географическая широта места φ , долгота Солнца λ и время дня h . Чтобы фиксировать положение Солнца на сфере, он использует систему из трех ортогональных осей, образующих октант. Относительно этих осей отсчитываются углы на сфере, которые затем определяются в плоскости построением. Применяемый метод близок используемому в настоящее время в начертательной геометрии. Основная область его применения в античной астрономии — конструирование солнечных часов. Изложение содержания «Аналеммы» содержится в трудах Витрувия (Об архитектуре IX,8) и Герона Александрийского (Диоптра 35), живших на полстолетия раньше Птолемея. Но хотя основная идея метода была известна задолго до Птолемея, однако его решение отличается законченностью и красотой, которых мы не находим ни у кого из его предшественников.

«Планисферий» (вероятное греческое название: Ἀπλωσις ἐπιφανείας σφαίρας) — небольшая работа Птолемея, посвященная использованию теории стереографической проекции при решении астрономических задач. Сохранилась только на арабском; испано-арабская версия этого произведения, принадлежавшая Масламе ал-Маджрити (X–XI вв. н.э.), была переведена

¹⁶ Греческий текст сохранившейся части см. [Heiberg, 1907, S.3–67]; греческий текст и перевод на французский см. [Halma, 1819]; исследования и комментарии см. [Grasshoff, 1993, p.121–132; НАМА, p.926–931; Vogt, 1920].

¹⁷ Фрагменты греческого текста и латинский перевод см. [Heiberg, S.189–223]; исследования см. [Luskey, 1927; НАМА, p.839–840; Нейгебауэр, 1968, с.205–208; Матвеевская, 1990, с.22–25].

на латинский язык Германом из Каринтии в 1143 г.¹⁸ Идея стереографической проекции заключается в следующем: точки шара проецируются из какой-либо точки его поверхности на касательную к нему плоскость, при этом окружности, проведенные на поверхности шара, переходят в окружности на плоскости и углы сохраняют свою величину. Основные свойства стереографической проекции были известны уже, по-видимому, за два столетия до Птолемея. В «Планисферии» Птолемей решает две задачи: (1) построить в плоскости методом стереографической проекции отображения основных кругов небесной сферы и (2) определить времена восхода дуг эклиптики в прямой и наклонной сферах (т.е. при $\varphi = 0$ и $\varphi \neq 0$ соответственно) чисто геометрически. Это сочинение также примыкает по своему содержанию к задачам, решаемым в настоящее время в начертательной геометрии. Развитые в нем методы послужили основой при создании астролябии — инструмента, сыгравшего немаловажную роль в истории античной и средневековой астрономии.

«Четверокнижие» (Τετράβιβλος или Ἀποτελεσματικά, т.е. «Астрологические влияния») — основное астрологическое произведение Птолемея, известное также под латинизированным названием «Квадрипартитум». Оно состоит из четырех книг¹⁹.

Во времена Птолемея вера в астрологию была повсеместно распространена. Птолемей не был исключением в этом отношении. Он рассматривает астрологию как необходимое дополнение к астрономии. Астрология предсказывает земные события, учитывая влияния небесных светил; астрономия же предоставляет информацию о положениях светил, необходимую для составления предсказаний. Птолемей, однако, не был фаталистом; влияния небесных светил он считает лишь одним из факторов, определяющих события на Земле. В работах по истории астрологии выделяют обычно четыре вида астрологии, распространенных в эллинистический период, — мировая (или общая), гнетлиалогия, катархен и интеррогативная. В сочинении Птолемея рассмотрены только первые два вида. В книге I даны общие определения основных астрологических понятий. Книга II целиком посвящена мировой астрологии, т.е. методам предсказания событий, касающихся больших земных регионов, стран, народов, городов, больших социальных групп и т.д. Здесь рассмотрены вопросы так называемой «астрологической географии» и погодные предсказания. Книги III и IV посвящены методам предсказания индивидуальных человеческих судеб. Работу Птолемея характеризует высокий математический уровень, что выгодно отличает ее от других астрологических произведений того же периода. Вероятно, поэтому «Четверокнижие» пользовалось огромным авторитетом среди астрологов, несмотря на то что в нем отсутствовала катархен-астрология, т.е. методы определения благоприятности или неблагоприятности избранного момента для какого-

¹⁸ Арабский текст до сих пор не опубликован, хотя известно несколько рукописей этого произведения, более ранних, чем эпоха ал-Маджрити.; латинский перевод см. [Heiberg, 1907, S.227–259]; перевод на немецкий см. [Drecker, 1927]; исследования и комментарии см. [НАМА, р.857–879; Waerden, 1988 (2), S.301–302; Матвеевская, 1990, с.26–27; Нейгебауэр, 1968, с.208–209].

¹⁹ Греческий текст см. [Boll, Boer, 1957]; греческий текст и параллельный перевод на английский см. [Robbins, 1948]; полный перевод на русский язык с английского см. [Птолемей, 1992]; перевод на русский язык с древнегреческого первых двух книг см. [Птолемей, 1994, 1996]; очерк истории античной астрологии см. [Куртук, 1994]; исследования и комментарии см. [Boll, 1894, S.111–218; Bouche-Leclercq, 1899].

либо дела. В средние века и эпоху Возрождения известность Птолемея иногда определялась именно этим произведением, а не его астрономическими работами.

Огромной популярностью пользовалась «География», или «Географическое руководство» (Γεωγραφικὴ ὑφήγησις) Птолемея в восьми книгах. По своему объему это произведение ненамного уступает «Альмагесту». Оно содержит описание известной во времена Птолемея части мира. Однако работа Птолемея существенно отличается от аналогичных сочинений его предшественников. Собственно описания занимают в нем немного места, основное внимание уделяется проблемам математической географии и картографированию. Птолемей сообщает, что весь фактический материал он заимствовал из географического сочинения Марина Тирского (датируемого приблизительно 110 г. н.э.), представлявшего собой, по-видимому, топографическое описание регионов с указанием направлений и расстояний между пунктами. Основная задача картографирования — это отображение сферической поверхности Земли на плоскую поверхность карты с минимальными искажениями.

В книге I Птолемей критически анализирует метод проецирования, используемый Марином Тирским, так называемую цилиндрическую проекцию, и отвергает его. Он предлагает два других метода — равнопромежуточную коническую и псевдоконическую проекции²⁰. Размеры мира по долготе он принимает равными 180°, отсчитывая долготу от нулевого меридиана, проходящего через Острова Блаженных (Канарские острова), с запада на восток, по широте — от 63° к северу до 16;25° к югу от экватора (что соответствует параллелям через Фуле и через точку, расположенную симметрично Мероэ относительно экватора).

В книгах II–VII приводится список городов с указанием географических долготы и широты и краткие описания. При его составлении, по-видимому, использовались списки мест, имеющих одну и ту же продолжительность дня, или мест, находящихся на определенном расстоянии от нулевого меридиана, входившие, возможно, в состав работы Марина Тирского. Аналогичного вида списки содержатся в книге VIII, где дано также разбиение карты мира на 26 региональных карт. В состав работы Птолемея входили также сами карты, которые, однако, не дошли до нас. Картографический материал, который обычно связывают с «Географией» Птолемея, имеет на самом деле более позднее происхождение. «География» Птолемея сыграла выдающуюся роль в истории математической географии, ничуть не меньшую, чем «Альмагест» в истории астрономии²¹.

«Оптика» Птолемея в пяти книгах дошла до нас только в латинском переводе XII в. с арабского, причем утеряны начало и конец этого произведения²². Она написана в русле древней традиции, представленной трудами Евклида, Архимеда, Герона и др., но, как и всегда, подход Птолемея

²⁰ Описание и анализ методов картографического проецирования Птолемея см. [Нейгебауэр, 1968, с.208–212; НАМА, р.880–885; Toomer, 1975, р.198–200].

²¹ Греческий текст см. [Nobbe, 1843–1845]; собрание древних карт см. [Fischer, 1932]; перевод на английский язык см. [Stevenson, 1932]; перевод отдельных глав на русский язык см. [Боднарский, 1953; Латышев, 1948]; более подробную библиографию, касающуюся «Географии» Птолемея, см. [НАМА; Toomer, 1975, р.205], см. также [Бронштэн, 1988, с.136–153]; о географической традиции в странах ислама, восходящей к Птолемею, см. [Крачковский, 1957].

²² Критическое издание текста см. [Lejeune, 1956]; описания и анализ см. [НАМА, р.892–896; Бронштэн, 1988, с.153–161]. Более полную библиографию см. [Toomer, 1975, р.205].

отличается оригинальностью. В книгах I (которая не сохранилась) и II рассматривается общая теория зрения. В ее основе три постулата: а) процесс зрения определяется лучами, которые исходят из глаза человека и как бы ощупывают предмет; б) цвет есть качество, присущее самим предметам; в) цвет и свет в равной степени необходимы, чтобы сделать предмет видимым. Птолемей утверждает также, что процесс зрения происходит по прямой линии. В книгах III и IV рассматривается теория отражения от зеркал — геометрическая оптика, или катоптрика, если использовать греческий термин. Изложение ведется с математической строгостью. Теоретические положения доказываются экспериментально. Здесь же обсуждается проблема бинокулярного зрения, рассматриваются зеркала различной формы, в том числе сферическое и цилиндрическое. Книга V посвящена рефракции; в ней исследуется преломление при прохождении света через среды воздух–вода, вода–стекло, воздух–стекло при помощи специально сконструированного для этой цели прибора. Результаты, полученные Птолемеем, достаточно хорошо соответствуют закону преломления Снеллиуса $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$, где α — угол падения, β — угол преломления, n_1 , n_2 —

коэффициенты преломления соответственно в первой и второй средах. В конце сохранившейся части книги V обсуждается астрономическая рефракция.

«Гармоники» ('Αρμονικά) — небольшая работа Птолемея в трех книгах, посвященная музыкальной теории. В ней рассматриваются математические интервалы между нотами, согласно различным греческим школам. Птолемей сравнивает учение пифагорейцев, которые, по его мнению, придавали особое значение математическим аспектам теории в ущерб опыту, и учение Аристоксена (IV в. н.э.), который действовал противоположным образом. Сам Птолемей стремится создать теорию, совмещающую достоинства обоих направлений, т.е. строго математическую и одновременно учитывающую данные опыта. В книге III, дошедшей до нас не полностью, рассматриваются приложения музыкальной теории в астрономии и астрологии, в том числе, по-видимому, музыкальная гармония планетных сфер. Согласно Порфирию (III в. н.э.), содержание «Гармоник» Птолемей заимствовал большей частью из работ александрийского грамматика второй половины I в. н.э. Дидима²³.

С именем Птолемея связывают также целый ряд менее известных произведений. В их числе трактат по философии «О способностях суждения и принятия решения» (Περὶ κρίτηριον καὶ ἡγεμονικόν)²⁴, в котором излагаются идеи в основном перипатетической и стоической философии, небольшое астрологическое сочинение «Плод» (Καρπός), известное в латинском переводе под названием «Centiloquium» или «Fructus», которое включало сто астрологических положений²⁵, трактат по механике в трех книгах, из которого сохранилось два фрагмента — «Тяжести» и «Элементы», а также

²³ Греческий текст см. [Düring, 1930]; немецкий перевод с комментариями см. [Düring, 1934]; астрономические аспекты музыкальной теории Птолемея см. [НАМА, р.931–934]. Краткий очерк музыкальной теории греков см. [Жмудь, 1994, с.213–238].

²⁴ Греческий текст см. [Lammert, 1952]; более подробное описание см. [Waerden, 1959, Col. 1954–1858]. Подробный анализ философских воззрений Птолемея см. [Boll, 1894, S.66–111].

²⁵ Греческий текст см. [Boer, 1952]; однако, по мнению О.Нейгебауэра и других исследователей, не существует серьезных оснований для приписывания этого произведения Птолемею [НАМА, р.897; Haskins, 1924, р.68 и сл.].

два чисто математических произведения, в одном из которых доказывается постулат о параллельных, а в другом, что не существует более трех измерений в пространстве. Папп Александрийский в комментариях к книге V «Альмагеста» приписывает Птолемею создание особого инструмента, называемого «метеороскоп», подобного армиллярной сфере [Rome, 1927].

Таким образом, мы видим, что не существует, пожалуй, ни одной области в античном математическом естествознании, где бы Птолемей не внёс весьма существенный вклад.

6. Судьба «Альмагеста» в эпоху после Птолемея

Труд Птолемея оказал огромное влияние на развитие астрономии. О том, что его значение было сразу оценено по достоинству, свидетельствует появление уже в IV в. н.э. комментариев — сочинений, посвященных разъяснению содержания «Альмагеста», но часто имевших самостоятельное значение.

Первый известный комментарий был написан около 320 г. одним из виднейших представителей Александрийской научной школы — Паппом. Большая часть этого сочинения не дошла до нас — сохранились только комментарии к книгам V и VI «Альмагеста» [Rome, 1931].

Второй комментарий, составленный во 2-й половине IV в. н.э. Теоном Александрийским, дошел до нас в более полном виде (книги I–IV) [Rome, 1936; 1943(1)]. Комментировала «Альмагест» и дочь Теона прославленная Гипатия (ок. 370–415 гг. н.э.).

В V в. неоплатоник Прокл Диадох (412–485), возглавивший Академию в Афинах, написал сочинение об астрономических гипотезах, представлявшее собой введение в астрономию Гиппарха и Птолемея²⁶.

Закрытие в 529 г. Афинской академии и переселение греческих ученых в страны Востока послужили быстрому распространению здесь античной науки. Учение Птолемея было освоено и существенно сказалось на астрономических теориях, формировавшихся в Сирии, Иране и Индии.

В Персии при дворе Шапура I (241–171) «Альмагест» стал известен, по-видимому, уже около 250 г. н.э. и тогда же был переведен на пехлеви [Pingree, 1963, p.242; 1973, p.35]. Существовал также персидский вариант «Подручных таблиц» Птолемея. Оба эти произведения оказали большое влияние на содержание основного персидского астрономического произведения доисламского периода, так называемый «Шах-и-зидж» [Kennedy, 1956].

На сирийский язык «Альмагест» был переведен, по-видимому, в начале VI в. н.э. Сергием из Решайна (ум. в 536 г.), известным физиком и философом, учеником Филопона. В VII в. в употреблении находилась также сирийская версия «Подручных таблиц» Птолемея [Pingree, 1973, p.34].

С начала IX в. «Альмагест» получил также распространение в странах ислама — в арабских переводах и комментариях. Он значится среди первых произведений греческих ученых, переведенных на арабский язык [Steinschneider, 1960]. Переводчики использовали не только греческий оригинал, но также сирийскую и пехлевию версию.

²⁶ Греческий текст и перевод на немецкий см. [Manitius, 1909]; перевод на французский см. [Halma, 1820, p.65–152].

Наиболее популярным среди астрономов стран ислама стало название «Великая книга», звучавшее по-арабски как «Китаб ал-маджисти». Иногда, впрочем, это сочинение называлось «Книгой математических наук» («Китаб ат-та'алим»), что точнее соответствовало его первоначальному греческому названию «Математическое сочинение».

Существовало несколько арабских переводов и множество обработок «Альмагеста», выполненных в разное время. Их примерный перечень, в 1892 г. насчитывавший 23 названия [Steinschneider, 1892], постепенно уточняется. В настоящее время основные вопросы, связанные с историей арабских переводов «Альмагеста», в общих чертах выяснены. Согласно П.Куницшу, «Альмагест» в странах ислама в IX–XII вв. был известен по крайней мере в пяти различных версиях:

- 1) сирийский перевод, один из наиболее ранних (не сохранился);
- 2) перевод для ал-Ма'муна начала IX в., по-видимому, с сирийского; его автором был ал-Хасан ибн Курайш (не сохранился);
- 3) еще один перевод для ал-Ма'муна, сделанный в 827/828 г. ал-Хаджаджем ибн Юсуфом ибн Матаром и Сарджуном ибн Хилия ар-Руми, по-видимому, также с сирийского;
- 4) и 5) перевод Исхака ибн Хунайна ал-Ибади (830–910), знаменитого переводчика греческой научной литературы, сделанный в 879–890 гг. непосредственно с греческого; дошел до нас в обработке крупнейшего математика и астронома Сабита ибн Корры ал-Харрани (836–901), но в XII в. был еще известен как самостоятельное произведение. Согласно П.Куницшу, более поздние арабские переводы точнее передавали содержание греческого текста²⁷.

В настоящее время основательно изучены многие арабские сочинения, которые по существу представляют собой комментарии к «Альмагесту» или его обработки, выполненные астрономами стран ислама с учетом результатов их собственных наблюдений и теоретических изысканий [Матвеевская, Розенфельд, 1983]. Среди авторов — выдающиеся ученые философы и астрономы средневекового Востока. Астрономы стран ислама внесли изменения большей или меньшей степени важности практически во все разделы астрономической системы Птолемея. Прежде всего они уточнили ее основные параметры: угол наклона эклиптики к экватору, эксцентриситет и долготу апогея орбиты Солнца, средние скорости движения Солнца, Луны и планет. Таблицы хорд они заменили синусами и ввели также целый набор новых тригонометрических функций. Они разработали более точные методы для определения важнейших астрономических величин, например параллакса, уравнения времени и т.д. Были усовершенствованы старые и разработаны новые астрономические инструменты, на которых регулярно

²⁷ Версия Хаджаджа ибн Матара известна в двух арабских рукописях, из которых первая (Leiden, cod. or. 680, полная), датируется XI в. н.э., вторая (London, British Library, Add.7474), сохранившаяся частично, восходит к XIII в. [Kunitzsch, 1974, S.38; 1986, S.3]. Версия Исхака-Сабита дошла до нас в большем числе экземпляров различной полноты и сохранности, из которых отметим следующие: 1) Tunis, Bibl. Nat. 07116 (XI в., полная); 2) Teheran, Sipahsalat 594 (XI в., отсутствуют начало кн.I, таблицы и каталог звезд); 3) London, British Library, Add.7475 (начало XIII в., кн.VII–XIII); 4) Paris, Bibl. Nat.2482 (начало XIII в., кн.I–VI). Полный список известных в настоящее время арабских рукописей «Альмагеста» см. [Kunitzsch, 1974, S.38–45; 1986, S.4]. Сравнительный анализ содержания различных версий переводов «Альмагеста» на арабский язык см. [Kunitzsch, 1974, S.59–82].

проводились наблюдения, значительно превосходящие по точности наблюдения Птолемея и его предшественников.

Значительную часть арабоязычной астрономической литературы составляли зиджи. Это были сборники таблиц — календарных, математических, астрономических и астрологических, которые астрономы и астрологи использовали в своей повседневной работе. В состав зиджей входили таблицы, которые позволяли хронологически фиксировать наблюдения, находить географические координаты места, определять моменты восхода и захода светил, вычислять положения светил на небесной сфере для любого момента времени, предвычислять лунные и солнечные затмения, определять параметры, имеющие астрологическое значение. В зиджах приводились правила пользования таблицами; иногда помещались также более или менее развернутые теоретические доказательства этих правил²⁸.

Зиджи VIII–XII вв. создавались под влиянием, с одной стороны, индийских астрономических произведений, а с другой — «Альмагеста» и «Подручных таблиц» Птолемея. Немаловажную роль при этом играла также астрономическая традиция домусульманского Ирана. Птолемеевскую астрономию в указанный период представляли «Проверенный зидж» Йахьи ибн Аби Мансура (IX в. н.э.), два зиджа Хабаша ал-Хасиба (IX в. н.э.), «Сабейский зидж» Мухаммада ал-Баттани (ок. 850–929), «Всеобъемлющий зидж» Кушьяра ибн Лаббана (ок. 970–1030), «Канон Мас'уда» Абу Райхана ал-Бируни (973–1048), «Санджарский зидж» ал-Хазини (первой половины XII в.) и другие произведения. Особо нужно отметить «Книгу об элементах науки о звездах» Ахмада ал-Фаргани (IX в.), содержащую изложение астрономической системы Птолемея.

В XI в. «Альмагест» был переведен ал-Бируни с арабского языка на санскрит.

В период поздней античности и в средние века греческие рукописи «Альмагеста» продолжали сохранять и переписывать в регионах, находившихся под властью Византийской империи. Самые ранние дошедшие до нас греческие рукописи «Альмагеста» датируются IX в.н.э. [Hei I, p.III,IV; PA, p.3]. Хотя астрономия в Византии не пользовалась такой же популярностью, как в странах ислама, однако любовь к античной науке не угасала. Византия поэтому стала одним из двух источников, откуда сведения об «Альмагесте» проникли в Европу.

Птолемеевская астрономия первоначально стала известна в Европе благодаря переводам зиджей ал-Фаргани и ал-Баттани на латинский язык. Отдельные цитаты из «Альмагеста» в произведениях латинских авторов встречаются уже в первой половине XII в. Однако в полном объеме это произведение стало доступным ученым средневековой Европы лишь во второй половине XII в.

В 1175 г. выдающийся переводчик Герардо Кремонский, работавший в Толедо в Испании, завершил латинский перевод «Альмагеста», используя при этом арабские версии Хаджаджа, Исхака ибн Хунайна и Сабита ибн Корры [Kunitzsch, 1974, S.83–112; Haskins, 1924, p.103–107]. Этот перевод приобрел большую популярность. Он известен в многочисленных рукописях и уже в 1515 г. был издан типографским способом в Венеции [Ptolemaeus, 1515]. Параллельно или чуть позднее (ок. 1175–1250) появилось сокращенное

²⁸ Обзор содержания наиболее известных зиджей астрономов стран ислама см. [Kennedy, 1956].

изложение «Альмагеста» («*Almagestum parvum*»), пользовавшееся также большой популярностью.

Два (или даже три) других средневековых латинских перевода «Альмагеста», выполненных непосредственно с греческого текста, остались менее известными [Haskins, 1924, p.157–165]. Первый из них (имя переводчика неизвестно), озаглавленный «*Almagesti geometria*» и сохранившийся в нескольких рукописях, основан на греческой рукописи X в.,



Птолемей. Скульптура Йорга Сирлина Старшего
в Ульмском кафедральном соборе (ок. 1469–74)
(ист.: [SA, p.2])

которая была привезена в 1158 г. из Константинополя на Сицилию. Второй перевод, также анонимный и еще менее популярный в средние века, известен в единственной рукописи.

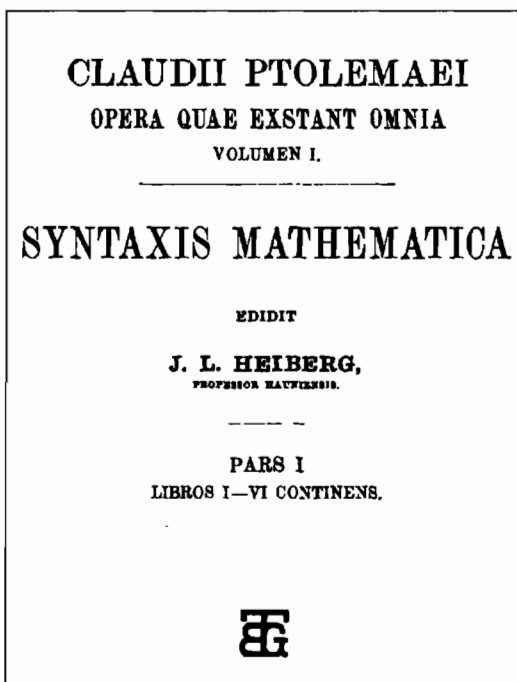
Новый латинский перевод «Альмагеста» с греческого оригинала был осуществлен только в XV в., когда с начала эпохи Возрождения в Европе проявился обостренный интерес к античному философскому и естественно-научному наследию. По инициативе одного из пропагандистов этого наследия папы Николая V его секретарь Георгий Трапезундский (1395–1484) перевел «Альмагест» в 1451 г. Перевод, весьма несовершенный и изобиловавший ошибками, был тем не менее в 1528 г. издан печатным способом в Венеции [*Ptolemaeus*, 1528] и переиздавался в Базеле в 1541 и 1551 гг.

Недостатки перевода Георгия Трапезундского, известного по рукописи, вызвали резкую критику астрономов, нуждавшихся в полноценном тексте капитального труда Птолемея. Подготовка нового издания «Альмагеста» связана с именами двух крупнейших немецких математиков и астрономов XV в. — Георга Пурбаха (1423–1461) и его ученика Иоганна Мюллера, известного под именем Региомонтан (1436–1476). Пурбах намеревался издать латинский текст «Альмагеста», исправленный по греческому оригиналу, но не успел закончить работу. Не смог довести ее до конца и Региомонтан, хотя потратил много усилий на изучение греческих рукописей. Зато он издал сочинение Пурбаха «Новая теория планет» (1473), в котором разъяснялись основные моменты планетной теории Птолемея, и сам составил краткое изложение «Альмагеста», опубликованное в 1496 г. [*Regiomontanus*, 1496]. Эти издания, вышедшие до появления печатного издания перевода Георгия Трапезундского, сыграли важнейшую роль в популяризации учения Птолемея. По ним с этим учением познакомился и Николай Коперник [*Веселовский, Белый, С.83–84*].

Греческий текст «Альмагеста» впервые был издан печатным образом в Базеле в 1538 г. [*Ptolemaeus*, 1538].

Отметим также виттенбергское издание книги I «Альмагеста» в изложении Э.Рейнгольда (1549), которое послужило основой для ее перевода на русский язык в 80-х годах XVII в. неизвестным переводчиком. Рукопись этого перевода недавно обнаружена В.А.Бронштэном в библиотеке Московского университета [*Бронштэн, 1996; 1997*].

Новое издание греческого текста вместе с французским переводом осуществил в 1813–1816 гг. Н.Альма [*Halma*, 1813, 1816]. В 1898–1903 гг. вышло в свет издание греческого текста И.Гейберга, удовлетворяющее современным научным требованиям [*Hei I, II*]²⁹. Оно послужило основой для всех последующих переводов «Альмагеста» на европейские языки: немецкого, который опубликовал в 1912–1913 гг. К.Манициус [*HA I, II*; 2-е изд., 1963], и двух английских. Первое из них принадлежит Р.Тальяферро [*Taliaferro*, 1952] и отличается невысоким качеством, второе — Дж.Тумеру [*PA*]. Комментированное издание «Альмагеста» на английском языке Дж.Тумера считается в настоящее



Титульный лист издания греческого текста «Альмагеста» под ред. И.Гейберга

²⁹ Греческий текст в издании И.Гейберга основывается на семи греческих рукописях, из которых наиболее важны следующие четыре: А) Paris, Bibl. Nat., gr.2389 (полная, IX в.); В) Vaticanus, gr.1594 (полная, IX в.); С) Venedig, Marc., gr.313 (полная, X в.); D) Vaticanus gr.180 (полная, X в.). Буквенные обозначения рукописей введены И.Гейбергом [*Hei I, p.III–V*].

время наиболее авторитетным среди историков астрономии. При его создании, помимо греческого текста, использовался также целый ряд арабских рукописей в версиях Хаджаджа и Исаака-Сабита [РА, р.3–4].

На издании И.Гейберга основывается и перевод И.Н.Веселовского, публикуемый в настоящем издании. И.Н.Веселовский во введении к своим комментариям к тексту книги Н.Коперника «О вращениях небесных сфер» писал: «Для составления комментариев к «*De Revolutionibus*» пришлось перевести с греческого текст «*Megale Syntaxis*» Птолемея; в моем распоряжении находилось издание аббата Альма (Halma) с примечаниями Деламбура (Paris, 1813–1816)» [Коперник, 1964, с.469]. Отсюда как будто следует, что перевод И.Н.Веселовского основывался на устаревшем издании Н.Альма. Однако в архиве Института истории естествознания и техники РАН, где хранится рукопись перевода, обнаружен также экземпляр издания греческого текста И.Гейберга, принадлежавший И.Н.Веселовскому. Непосредственное сличение текста перевода с изданиями Н.Альма и И.Гейберга показывает, что свой предварительный перевод И.Н.Веселовский переработал в дальнейшем в соответствии с текстом И.Гейберга. На это указывают, например, принятая нумерация глав в книгах, обозначения на рисунках, форма, в которой даны таблицы, и множество других деталей. В своем переводе, кроме того, И.Н.Веселовский учел большую часть исправлений, которые внес в греческий текст К.Манициус.

Особо следует также отметить вышедшее в 1915 г. критическое английское издание звездного каталога Птолемея, предпринятое Х.Петерсом и Э.Ноблом [Р.-К.].

7. О литературе, посвященной «Альмагесту» Птолемея

С «Альмагестом» связано большое количество научной литературы, как астрономической, так и историко-астрономической по своему характеру. В ней отразились прежде всего стремление осмыслить и разъяснить теорию Птолемея, а также попытки усовершенствовать ее, которые неоднократно предпринимались в древности и в средние века и завершились созданием учения Коперника.

С течением времени не уменьшается — а пожалуй, даже увеличивается — проявившийся с древности интерес к истории возникновения «Альмагеста», к личности самого Птолемея. Дать сколько-нибудь удовлетворительный обзор литературы, посвященной «Альмагесту», в краткой статье невозможно. Это большая самостоятельная работа, выходящая за рамки настоящего исследования. Здесь же приходится ограничиться указанием небольшого числа работ, преимущественно современных, которые помогут читателю ориентироваться в литературе о Птолемеи и его труде.

Прежде всего следует упомянуть о наиболее многочисленной группе исследований (статей и книг), посвященных анализу содержания «Альмагеста» и определению его роли в развитии астрономической науки. Эти проблемы рассматриваются в сочинениях по истории астрономии, начиная с самых старых, например, в вышедшей в 1817 г. двухтомной «Истории астрономии в древности» Ж.Деламбура [Delambre, 1817], «Исследованиях по истории древней астрономии» П.Таннери [Tannery, 1893], «Истории планетных систем от Фалеса до Кеплера» Дж.Дрейера [Dreyer, 1906; 2-е изд., 1953], в капитальном труде П.Дюэма «Системы мира» [Duhem, 1913–1959], в виртуозно написанной книге О.Нейгебауэра «Точные науки в древности» [Нейгебауэр, 1968]. Содержание «Альмагеста» исследуется

также в работах по истории математики и механики. Среди трудов русских ученых особо нужно отметить работы И.Н.Идельсона, посвященные планетной теории Птолемея [Идельсон, 1975], И.Н.Веселовского и Ю.А.Белого [Веселовский, 1974; Веселовский, Белый, 1974], В.А.Бронштэна [Бронштэн, 1988; 1996] и М.Ю.Шевченко [Шевченко, 1988; 1997].

Результаты многочисленных исследований, выполненных к началу 70-х годов, касающихся «Альмагеста» и истории античной астрономии вообще, суммированы в двух фундаментальных трудах: «Истории античной математической астрономии» О.Нейгебауэра [НАМА] и «Обзоре "Альмагеста"» О.Педерсена [SA]. Тот, кто пожелает серьезно заняться «Альмагестом», не сможет обойтись без этих двух выдающихся произведений. Большое число ценных комментариев, касающихся разных сторон содержания «Альмагеста» — истории текста, вычислительных процедур, греческой и арабской рукописной традиции, происхождения параметров, таблиц и т.д., можно найти в немецком [НА I, II] и английском [РА] изданиях перевода «Альмагеста».

Исследования «Альмагеста» продолжают и в настоящее время с не меньшей интенсивностью, чем в предшествующий период, по нескольким основным направлениям. Наибольшее внимание уделяется вопросам происхождения параметров астрономической системы Птолемея, принятых им кинематических моделей и вычислительных процедур, истории звездного каталога³⁰. Много внимания уделяется также изучению роли предшественников Птолемея в создании геоцентрической системы, а также судьбе учения Птолемея на средневековом мусульманском Востоке, в Византии и Европе.

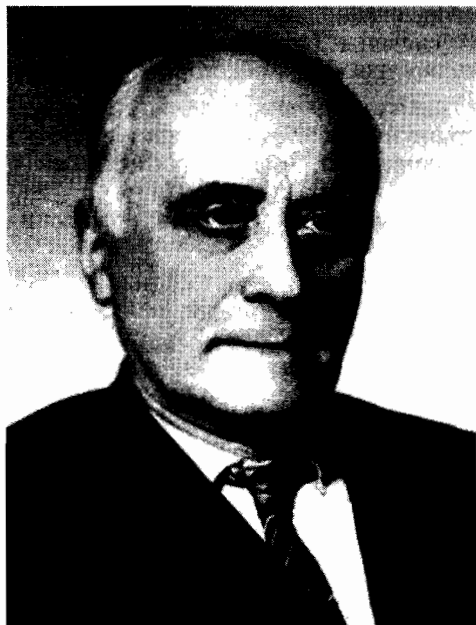
Более подробные ссылки на литературу приведены по ходу изложения в комментариях к переводу текста труда Птолемея.

³⁰ Большую известность в этой связи приобрели работы Р.Ньютона [Ньютон, 1985 и др.], который обвиняет Птолемея в подделке данных астрономических наблюдений и в сокрытии существовавшей до него астрономической (гелиоцентрической?) системы. Большинство историков астрономии отвергает глобальные выводы Р.Ньютона, признавая при этом, что некоторые его результаты, касающиеся наблюдений, нельзя не признать справедливыми.

ПЕРЕВОДЧИК «АЛЬМАГЕСТА» И.Н.ВЕСЕЛОВСКИЙ

С.В.Житомирский

Предлагаемый перевод «Альмагеста» выполнен механиком, математиком и историком науки профессором Иваном Николаевичем Веселовским (1892–1977). В предисловии к книге «Пробуждающаяся наука» также математика и историка Б.Л.Ван-дер-Вардена, которую И.Н.Веселовский перевел в 1958 г., он написал: «Авторов, пишущих об истории науки, можно разделить на четыре группы. К первой относятся люди, хорошо



Иван Николаевич Веселовский (1892—1977)

знающие свою науку, но не обладающие достаточными сведениями по истории, ко второй, наоборот, те, которые хорошо знают историю, но не являются специалистами в науке (к этому классу принадлежат почти все историки, которым приходится касаться области науки в своих сочинениях по общей истории). К сожалению, довольно многочисленна группа авторов, не знающих как следует ни истории, ни науки, но совсем мало таких, которые хорошо знают и свою науку, и вполне понимают значение исторических условий ее развития». К этой последней группе историков науки И.Н.Веселовский причислял Ван-дер-Вардена, но, несомненно, к ней принадлежал и он сам.

И.Н.Веселовский родился 26(14) ноября 1892 г. в Москве в профессорской семье. Его отец Николай Николаевич Веселовский (1859–1921), ученый-геодезист, был директором Константиновского Межевого институ-

та (в настоящее время — Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии, МИИГАиК), мать — Ольга Николаевна Веселовская (в девичестве Гуляева). И.Н.Веселовский блестяще закончил классическую гимназию в Москве (первым учеником, следующего за ним по уровню учителя сочли только шестым), а в 1916 г. — математическое отделение физико-математического факультета Московского университета.

После окончания университета И.Н.Веселовский был оставлен для подготовки к профессорскому званию (что почти эквивалентно современной аспирантуре). Вероятно, именно Жуковский привил ему интерес к

гуманитарным аспектам математики и механики, в частности к истории науки. Иван Николаевич вспоминал, что по совету Жуковского в программу его аспирантской подготовки вошел целый ряд сугубо гуманитарных курсов. Несколько лет он проработал инженером-исследователем в ЦАГИ под руководством Н.Е.Жуковского, затем в Госплане. В 1921 г. он стал сотрудником Аэродинамической лаборатории Московского высшего технического училища (впоследствии им. Н.Э.Баумана). С 1925 г. и до выхода на пенсию Иван Николаевич читал курсы и вел в этом институте практические занятия по теоретической механике сначала в качестве рядового преподавателя, а позже профессора. В 1932 г. вышел учебник И.Н.Веселовского «Векторная алгебра и ее применение к аналитической геометрии и механике». Он — автор целого ряда учебных пособий и курсов по математике и теоретической механике. Скончался И.Н.Веселовский 24 июня 1977 г. в Москве.

В историю науки И.Н.Веселовский, как и многие другие историки, пришел из живой действующей науки. История стала для него увлечением, которое со временем превратилось в главное дело жизни. Незаурядные филологические способности и интерес к истории культуры определили основное направление его исследований в этой области.

Как полусхутя рассказывал Иван Николаевич в одном из выступлений, все началось с увлечения Данте, которое побудило молодого сотрудника ЦАГИ изучить итальянский язык. Но тут выяснилось, что эпоху Возрождения нельзя понять без знания классического наследия, и ему пришлось серьезно заняться изучением трудов античных авторов. Позже ему, как математику и механику, знающему древнегреческий, предложили отредактировать переводы на русский язык некоторых сочинений Герона Александрийского. Один из них был сделан с немецкого и содержал массу несообразностей. Редактору, чтобы в них разобраться, пришлось ознакомиться с древнегреческой математикой. (Рукописи этих неопубликованных работ И.Н.Веселовского находятся в архиве ИИЕТ РАН.) Сходная ситуация возникла и при редактировании «Начал» Евклида. Формально И.Н.Веселовский должен был только принять участие в комментировании перевода Д.Д.Мордухай-Болтовского, но практически он в значительной мере исправил и его перевод.

Иван Николаевич знал много языков, читал на новогреческом, Ван-дер-Вардена перевел с голландского (хотя его книга уже вышла в немецком и английском переводах); занявшись Коперником, изучил польский. Скрупулезность, основательность и стремление добраться до сути, были важными чертами его характера.

Основным направлением историко-научной работы И.Н.Веселовского были перевод и комментирование классиков античной и средневековой науки. Им непосредственно или при его участии подготовлены издания переводов Евклида (1948–1950 гг.), Аристарха Самосского (1961), Архимеда (1962), Коперника (1964), Диофанта (1974); в рукописях хранятся переводы механических сочинений Герона Александрийского и Иордана Неморария. Большинство этих работ И.Н.Веселовский выполнял по собственной инициативе, не имея гарантий на их публикацию. Так, он перевел единственное сохранившееся сочинение Аристарха «О величинах и расстояниях Солнца и Луны» и предложил его в сборник «Историко-астрономические исследования». Редколлегия сборника попросила И.Н.Веселовского расширить тему. В результате появилось интересное исследование «Аристарх

Самосский — Коперник античного мира», в которое полностью вошли текст Аристарха и комментарии к нему И.Н.Веселовского.

Но случилось и по-другому. Два его весьма важных перевода остались неопубликованными. Один из них — перевод труда итальянского астронома и историка науки Д.Скиапарелли (1833–1910) «Гомоцентрические сферы Евдокса и Калиппа», в котором итальянский ученый привел сохранившиеся данные и дал реконструкцию этой первой в истории науки кинематико-геометрической модели Вселенной. Второй — предлагаемый читателю перевод «Альмагеста».

Причина, по которой издательства отказывались от публикации «Альмагеста», достаточно характерна для эпохи «развитого социализма». В свое время И.В.Сталин произнес сакраментальную фразу «обветшала система Птолемея», и тем самым Птолемей был вычеркнут из числа авторов, допустимых к публикации. Стереотип сталинского времени продолжал действовать в 60-е годы. Получив отказ в публикации перевода, И.Н.Веселовский прекратил работу над ним, и таким образом, перевод остался без комментариев. Об этом можно только сожалеть, поскольку И.Н.Веселовский был оригинально мыслящим ученым, который замечал то, мимо чего проходили другие исследователи. Это был особый дар, в основе которого лежали глубокая филологическая подготовка, математический образ мышления, широчайшая эрудиция во многих областях науки и культуры.

Так, перевод книги Скиапарелли послужил толчком для оригинального решения вопроса «о гиппопед» — кривой, служившей, по Евдоксу, траекторией видимых движений планет, — наиболее темного места в модели гомоцентрических сфер. Это решение И.Н.Веселовский изложил в докладе «Неевклидова геометрия в древности», прочитанном на XIII Международном конгрессе по истории науки, проходившем в Москве в августе 1971 г. Представляет интерес его периодизация сочинений Архимеда, опубликованная во вступительной статье к их изданию. И.Н.Веселовский установил, что самое раннее из дошедших до нас математических сочинений Архимед написал, будучи зрелым человеком, в возрасте около сорока лет. Это открытие совершенно по-новому осветило образ великого ученого.

И.Н.Веселовский был не только переводчиком и комментатором сочинений античных авторов, но и оригинальным исследователем проблем истории науки. Ему принадлежит ряд фундаментальных работ по истории математики, механики и астрономии. Он написал работы — «Египетская наука и Греция» (1948 г.), «Вавилонская математика» (1955 г.; по материалам докторской диссертации, защищенной в 1952 г.), «Звездная астрономия Древнего Востока» (1963), «Египетские деканы» (1969), «Кеплер и Галилей» (1972 г.), «Коперник и Насир ад-Дин ат Туси» (1973 г.), «Астрономия орфиков» (опубликована посмертно в 1982 г.) и др. Он автор научно-популярных книг об Архимеде, Гюйгенсе и Копернике (в соавторстве с Ю.А.Белым), по своему уровню превосходящих многие сугубо научные исследования, обобщающей работы «Очерки по истории теоретической механики».

Отрадно, что издание выполненного И.Н.Веселовским перевода «Альмагеста» — величайшего астрономического трактата древности, хотя и с большим опозданием, все же состоялось.

КАЛЕНДАРЬ И ХРОНОЛОГИЯ В «АЛЬМАГЕСТЕ»

Г.Е. Куртик

Развитие математической астрономии стало возможным лишь после того, как утвердилось представление об абсолютной математической шкале времени, позволявшей фиксировать положение любого астрономического события относительно некоторой начальной точки и определять промежутки времени между наблюдениями. Такая шкала предполагает выбор единицы измерения. Естественной астрономической единицей являются сутки. Шкала будет задана в том случае, если разработан метод, позволяющий определять количество суток, прошедших между двумя моментами времени t_1 и t_2 . Все календарные системы, используемые в астрономии, так или иначе решают эту проблему. Наиболее простым является метод сплошного счета суток, принятый в так называемой юлианской системе, предложенной Скалигером в XVI в., где каждые сутки получают свой абсолютный номер JD.

Календарная система, использованная в «Альмагесте» для определения хронологической шкалы, была несомненно сложнее. Она основывалась на так называемом египетском календаре и эре Набонассара. Египетский год, имевший постоянную продолжительность, состоял из 365 суток, подразделявшихся на 12 месяцев по 30 суток в каждом плюс 5 дополнительных суток (эпагомен), прибавлявшихся в конце. Такой год употреблялся в Древнем Египте как основа гражданского календаря на протяжении всего Династического периода (конец IV—I тыс. до н.э.) и был заимствован позднее эллинистическими астрономами в качестве удобной хронологической единицы для построения математической шкалы времени¹. Его отличительная особенность — математический характер, несвязанность с какими-либо астрономическими наблюдениями. Начало года в египетском календаре смещалось относительно характеристических точек солнечного года на одни сутки за четыре года.

Птолемей и другие эллинистические астрономы использовали греческие эквиваленты для египетских названий месяцев²: тот, фаофи, атир, хойак, тиб, мехир, фамснот, фармути, пахон, паини, эпифи, месоре. Нумерация дней на протяжении месяца была сплошной.

Начальная эпоха (введенная, вероятно, еще Гиппархом), относительно которой велся счет годов в календаре Птолемея, соответствует истинному полудню в Александрии 1-го числа месяца тот 1-го года Набонассара, что соответствует дате -746, февр. 26, 12^h, согласно астрономическому счету годов в юлианском календаре. Выбор эпохи объясняется Птолемеем в кн. III,

¹ О схематическом гражданском календаре в Древнем Египте см. [Parker, 1950, p.7-8; Бикерман, 1975, с.35-38; Куртик, 1990, с.216-220].

² В греческом тексте «Альмагеста», опубликованном Гейбертом [Hei I, II], названия месяцев пишутся с прописной буквы; эта особенность получила отражение в переводе И.Н.Веселовского.

гл.7, с.98,99; он утверждает, что начиная только лишь с этой даты до него дошли древние наблюдения³.

В аналогичной ситуации находился, вероятно, уже Гиппарх [НАМА, р.320]; все наблюдения, цитируемые Птолемеем из древних списков, прошли, по-видимому, предварительную обработку Гиппарха.

В своей модификации древнеегипетского календаря Птолемей использует полуденную эпоху для определения момента смены даты. Основания для ее введения обсуждаются в кн.ІІІ, гл.9, с.101,102. Они носят чисто астрономический характер. Согласно Птолемею, отсчет суток относительно горизонта по восходу или заходу Солнца (и связанные с этим восходная и заходная эпохи суток) неудобен вследствие сезонных и широтных колебаний моментов восходов и заходов, тогда как прохождения Солнца через меридиан имеют незначительные отклонения от средних значений (обусловленные солнечной аномалией) и не зависят от изменения географической широты. Но в записях наблюдений, которыми пользовались Птолемей и его предшественники, даты нередко фиксировались в гражданском календаре, где была принята либо заходная система (как в лунных календарях, где основное событие — первая видимость серпа Луны вечером), либо восходная система (как в древнеегипетском гражданском календаре). Перед астрономами, таким образом, стояла задача приведения наблюдений к единой эпохе суток.

Обе системы (восходная и заходная) использовались в эллинистическом Египте и Греции параллельно. При этом дневные наблюдения приходились на одну и ту же дату, а ночные датировались по-разному: как «день n » в восходной системе и «день $n + 1$ » в заходной. Чтобы избежать неопределенности, приводили обе даты. Такой практике следовал, по-видимому, уже Гиппарх⁴. Птолемей приводит много двойных дат типа «месяц N , день $n/n + 1$ », причем только для ночных наблюдений. Первое число в них обозначает номер дня в египетском месяце, если считать дни от восхода Солнца. Второе число означает, что в заходной системе ночь, о которой идет речь, относится к суткам с номером $n + 1$. Птолемей, как житель Египта, в своей повседневной практике, несомненно, пользовался древнеегипетским календарем, в котором дата изменялась при восходе Солнца. Поэтому в «Альмагесте» для дневных (и некоторых ночных) наблюдений даты всегда приводятся в восходной системе.

³ Сообщение Птолемея подтверждается клинописными источниками. Самый ранний — вавилонский астрономический дневник, содержащий записи наблюдений, датируется —651 г. [Sachs, Hunger, 1988, р.42–46], но хронологически фиксированные наблюдения производились, вероятно, уже в середине VIII в. до н.э. [LBAT, Р.ХХХІ]. Дополнительное подтверждение этому — три вавилонских лунных затмения, которые приводит Птолемей (кн.ІV, гл.6), датируемые 27 и 28 годами эры Набонассара (–720 март 19; –719, март 8; –719, сент. 1). Можно думать, что с середины VIII в. до н.э. наблюдения в Месопотамии хронологически фиксировались, так что астроном более позднего времени всегда мог сказать, какое число суток прошло от интересующего его древнего наблюдения до его эпохи. Обсуждение данной проблемы см. [Toomer, 1988, Р.359–360; Куртик, 1989, с.41–42]. Эра Набонассара играла, по-видимому, важную роль в истории не только античной астрономии, но и самой Месопотамии [Halla, 1988].

⁴ В эллинистический период двойные датировки употреблялись и в не связанных с астрономией областях [НАМА, р.1068].

У Птолемея необходимо также различать *датировки* наблюдений и *пересчитанные* даты, связанные с необходимостью производить вычисления по таблицам. Наблюдения датируются, как правило, с использованием либо восходной системы, либо двойных дат. Полуденная же эпоха используется только для приведения зафиксированных в источниках дат к единой хронологической шкале с фиксированным началом (относительно которого в таблицах указаны положения Солнца, Луны и планет). Полуденная эпоха — это фундаментальная эпоха всех птолемеевых эфемерид⁵.

Год наблюдений Птолемей определяет двумя способами — чаще всего как соответствующий год эры Набонассара, но иногда также как год правления какого-либо царя. Последний способ предполагает наличие списка царей, где были бы указаны годы их правления. Такой список, известный под названием «Царского канона», включен Птолемеем в его «Подручные таблицы». В нем для каждого царя указано целое число лет правления в египетских годах и число лет, соответствующих концу правления царя от начала эры Набонассара.

Первый год правления каждого царя, насколько можно судить по независимым источникам, начинался 1-го числа месяца тот того года, в котором действительно началось правление, то есть год, не полностью прожитый царем, в этом списке считался первым годом правления следующего царя [Halma, 1822, p.139–143]⁶.

Мы приводим здесь современную реконструкцию «Царского канона», выполненную Дж.Тумером [РА, p.11]. Ее назначение — облегчить преобразование указанных Птолемеем годов правления в годы эры Набонассара, и нахождение соответствующих дат по юлианскому календарю. В таблице даны имена царей в том виде, как их приводит Птолемей, и их русские эквиваленты⁷. Годы, прошедшие от начала эры Набонассара, соответствуют концу правления данного царя. Таблица не претендует на историческое правдоподобие и служит только для удобства читателя в работе с текстом «Альмагеста» и другими работами Птолемея.

⁵ К сожалению, единственная известная нам работа по истории календаря в «Альмагесте» на русском языке [Шпилевский, 1988] содержит ряд принципиально ошибочных положений. Так, А.В.Шпилевский утверждает, что Птолемей использовал для датировки наблюдений такую модификацию древнеегипетского календаря, в которой дата изменялась в полдень. На этом основании он «исправляет» приведенную Птолемеем дату осеннего равноденствия (кн.III, гл.1, с.80,91) с 9-го на 8-е атира, не замечая при этом, что если принять его гипотезу, то в «Альмагесте» необходимо будет изменить и несколько других дат наблюдений Птолемея и Гиппарха, а именно те, что попадают в промежуток от восхода Солнца до полудня (например, дату наблюдения Солнца, приведенную в кн.V, гл.3, с.139 с 25-го на 24-е фаменота, и ряд других). Необходимость исправлений отпадает, если допустить, что указанные даты приведены в восходной системе. А.В.Шпилевский также ошибочно полагает, что Гиппарх в египетском календаре использовал полуночную систему суток. Ошибочность этого утверждения становится ясной, если проанализировать 11-летний интервал между проведенными Гиппархом наблюдениями весенних равноденствий 27 мекхир 32 года III периода Калиппа (–145, март 24) и 29 мекхир 43 года этого же периода (–134, март 23). В настоящем примечании мы использовали материалы, любезно предоставленные в наше распоряжение Ю.А.Завенягиным.

⁶ Современное издание см. [Usener, 1898, S.438–455]. Сохранилось несколько вариантов «Царского канона» более позднего времени и один более ранний, но сильно отличающийся от включенного в «Подручные таблицы» [НАМА, p.1025–1026; РА, p.10, p.12]. Подобные списки в дальнейшем регулярно продлевались вплоть до византийской эпохи.

⁷ И то и другое мы приводим по [Бикерман, 1975, с.106–107], имена римских императоров даются в обычном латинском написании.

«Канон царей» Птолемея

Но- мер	Правитель	Принятая форма имени	Годы прав- ления	Годы от эры Набо- нассара	Дата начала правления в юлианском календаре
1	2	3	4	5	6
Цари [Ассирии и Вавилона]					
1	Nabonassárooy	Набонассар (Набу-нацир)	14	14	-746 февр. 26
2	Nadíooy	Набу-надин-зери	2	16	-732 февр. 23
3	Khinzêros kai Pôrooy	Укин-зер и Пулу (Тиглатпа-ласар III)	5	21	-730 февр. 22
4	Iloylaiooy	Улулай (Салманасар V)	5	26	-725 февр. 21
5	Mardokempádooy	Мардук-апла-иддин II	12	38	-720 февр. 20
6	Arkeanoŷ	Аркеан (Саргон II)	5	43	-708 февр. 17
7	abasŷleyta	междоцарствие	2	45	-703 февр. 15
8	Billbooy	Бел-ибни	3	48	-701 февр. 15
9	Aparavadiooy	Ашшур-надин-шуми	6	54	-698 февр. 14
10	Rhêgebêlooy	Нергал-ушезиб	1	55	-692 февр. 13
11	Mesesimordákooy	Мушезиб-Мардук	4	59	-691 февр. 12
12	abasŷleyta	междоцарствие	8	67	-687 февр. 11
13	Asaradinoy	Асархаддон (Ашшур-ахиддина)	13	80	-679 февр. 9
14	Saosdooykhinoy	Шамаш-шум-укин	20	100	-666 февр. 6
15	Kinêladánooy	Кандалану	22	122	-646 февр. 1
16	Nabopalassárooy	Набопаласар	21	143	-624 янв. 27
17	Nabokolassárooy	Навуходоносор II	43	186	-603 янв. 21
18	Iloaroydámoy	Амель-Мардук (Авимелех)	2	188	-560 янв. 11
19	Nêrigasolassárooy	Нериглиссар	4	192	-558 янв. 10
20	Nabonadiiooy	Набонид	17	209	-554 янв. 9
Цари персов					
21	Kýrooy	Кир	9	218	-537 янв. 5
22	Kambysooy	Камбиз	8	226	-528 янв. 3
23	Dareiooy prôtooy	Дарий I	36	262	-520 янв. 1
24	Xêrxooy	Ксеркс	21	283	-485 дек. 23
25	Artaxêrxooy prôtooy	Артаксеркс I	41	324	-464 дек. 17
26	Dareiooy deytérooy	Дарий II	19	343	-423 дек. 7
27	Artaxêrxooy deytérooy	Артаксеркс II	46	389	-404 дек. 2
28	Ōkhooy	Ох (Артаксеркс III)	21	410	-358 нояб. 21
29	Arōgoŷ	Арс	2	412	-337 нояб. 16
30	Dareiooy trítooy	Дарий III	4	416	-335 нояб. 15
31	Alexándrooy Makedónos	Александр Македонский	8	424	-331 нояб. 14

Но- мер	Правитель	Принятая форма имени	Годы прав- ления	Годы от эры Набо- нассара	Дата начала правления в юлианском календаре
1	2	3	4	5	6
Македонские цари					
32	Philippoy toû met' Alexandron iôn kústiēn	Филипп Арридей	7	431	-323 нояб. 12
33	Alexándroy hetéroy	Александр II	12	443	-316 нояб. 10
34	Ptolemaioy Lágoy	Птолемей I Лаг	20	463	-304 нояб. 7
35	Philadélphoy	Птолемей II Филадельф	38	501	-284 нояб. 2
36	Evergétoy	Птолемей III Эвергет I	25	526	-246 окт. 24
37	Philopátoros	Птолемей IV Филопатор	17	543	-221 окт. 18
38	Epiphánoys	Птолемей V Эпифан	24	567	-204 окт. 13
39	Philométoros	Птолемей VI Филометор	35	602	-180 окт. 7
40	Evergétoy deuteroy	Птолемей VIII Эвергет II	29	631	-145 сент. 29
41	Sôitéros	Птолемей IX Сотер II	36	667	-116 сент. 21
42	Dionýsoy néoy	Птолемей XII Авлет	29	696	- 80 сент. 12
43	Kleopátras	Клеопатра VII	22	718	- 51 сент. 5
Цари римлян					
44	Augustus	Август	43	761	- 29 авг. 31
45	Tiberius	Тиберий	22	783	14 авг. 20
46	Gaius	Калигула	4	787	36 авг. 14
47	Claudius	Клавдий	14	801	40 авг. 13
48	Nero	Нерон	14	815	54 авг. 10
49	Vespasianus	Веспасиан	10	825	68 авг. 6
50	Titus	Тит	3	828	78 авг. 4
51	Domitianus	Домитиан	15	843	81 авг. 3
52	Nerva	Нерва	1	844	96 июль 30
53	Trajanus	Траян	19	863	97 июль 30
54	Hadrianus	Адриан	21	884	116 июль 25
55	Antoninus	Антонин Пий	23	907	137 июль 20

Рассмотрим два примера вычислений.

1. Найти год по эре Набонассара, соответствующий пятому году правления царя Набопаласара (кн.V, гл.14, с.161). К годам от эры Набонассара до начала правления Набопаласара, приведенном в столбце 5 в предыдущей строке, прибавим 5; получаем 127, в полном согласии с текстом.

2. Определить дату затмения Луны, наблюдавшегося, согласно Птолемею (кн.IV, гл.6, с.119), во второй год правления Мардокемпада (Мардук-апла-иддин II) с 15-го на 16-е число месяца фаменот за $3\frac{1}{2}$ равноденственных часа до полуночи. При определении дат по юлианскому календарю необходимо помнить, что годы, номера которых делятся на 4, високосные, остальные — простые. Согласно таблице, начало 1-го года правления Мардокемпада приходится на -720, февр. 20, полдень в Александрии. Год високосный и, значит, началом 2-го года правления будет -719, февр. 19,

полдень. От начала юлианского года до начала египетского прошло, таким образом, $49^d 12^h$. Месяц фаменот — седьмой в египетском календаре, кроме того нужно учесть, что в двойных датировках ночных наблюдений первое число обозначает номер дня в египетском месяце при отсчете дней от полудня. Поэтому от начала египетского года до указанного момента середины лунного затмения прошло $30^d \times 6 + 14^d + 8; 30^h = 194^d 8; 30^h$, а от начала текущего юлианского года $49^d 12^h + 194^d 8; 30^h = 243^d 20; 30^h$, что соответствует 1 сентября⁸. Таким образом, дата наблюдения по юлианскому календарю: -719, сент. 1.

Альтернативный (более простой и надежный) способ определения даты по юлианскому календарю предполагает нахождение юлианской даты JD по известной дате от эры Набонассара⁹ с последующим переходом к юлианскому календарю.

Кроме египетского календаря, важную роль в «Альмагесте» играет также ряд других календарных систем. Нередко в нем приводятся двойные или даже тройные датировки наблюдений. Как правило, Птолемей сначала приводит дату, зафиксированную в источнике, и лишь затем эквивалентную ей дату по египетскому календарю. Кратко рассмотрим календари, упоминаемые в «Альмагесте».

Ряд наблюдений датируется с использованием элементов афинского гражданского лунно-солнечного календаря. В Афинах год начинался с первым новолунием после летнего солнцестояния и связывался с именем должностного лица архонта-эпонима, приступавшего к исполнению своих обязанностей в начале года¹⁰. Начало месяца совпадало с неоменией — первой видимостью серпа Луны после захода Солнца. Соответственно сутки начинались также с заходом Солнца. Чтобы удержать начало года вблизи летнего солнцестояния, вставлялся дополнительный тринадцатый месяц. Поэтому год мог содержать 12 или 13 лунных месяцев. Однако никакого правила, регулирующего эти вставки — интеркаляции, не существовало. Афиняне использовали следующие названия месяцев: гекатомбион, метагитнион, боздромион, пианепсион, мемактерион, посидеон, гамелион, антестерион, элифеболион, мухинион, таргелион, скирофорион; некоторые из этих названий приводит Птолемей¹¹.

Около 30 наблюдений датируется с помощью так называемых циклов Калиппа. Лунно-солнечный календарный цикл предполагает определенное соотношение между числом солнечных годов и соответствующим числом лунных месяцев. Кроме того он требует, чтобы вставки дополнительных месяцев и чередование полных и пустых (соответственно по 30^d и 29^d) месяцев производились строго по определенным правилам. Последнее требование, однако, не является обязательным. В Месопотамии, например, продолжительность месяца на протяжении 19-летнего цикла определялась не теоретически, а непосредственно наблюдением; это значение затем

⁸ Если известно число дней, прошедших от начала юлианского года до интересующей нас даты, то соответствующие месяц и число легко установить при помощи таблицы для счета дней в юлианском году, приводимой во многих изданиях по истории календаря. См., например, [Климишин, 1985, с.317].

⁹ Соответствующие таблицы можно найти в работе [Schram, 1908, S.182–189].

¹⁰ Список афинских архонтов см. [Бикерман, 1975, с.204–205; Samuel, 1972, p.195–237].

¹¹ Подробнее об афинском календаре см. [Бикерман, 1975, с.29–33; Samuel, 1972, p.57–64].

фиксировалось в дневниках наблюдений [Ван-дер-Варден, 1991, с.160; НАМА, р.622]. С помощью календарных циклов греческие астрономы стремились установить простую схему для чередования лунных месяцев, эквивалентную египетскому календарю, чтобы задать линейную шкалу времени.

Циклы Калиппа продолжают традицию, начатую Метонем, открывшим (вероятно, не без помощи вавилонской астрономии) и введшим в употребление в Афинах 19-летний лунно-солнечный цикл, в основе которого было соотношение: $19^y = 235^m = 6940^d$ (отсюда $1^y = 365\frac{1}{4}^d + \frac{1}{76}^d$). Общее число вставок в этом цикле равнялось 7 (так как $235^m = 19 \times 12^m + 7^m$), число полных месяцев 125, а пустых 110 (так что $125 \times 30^d + 110 \times 29^d = 6940^d$), и за начало первого цикла (как утверждают греческие источники) была принята дата солнцестояния -431, июнь 27 (наблюдавшегося в Афинах при архонте Апсевде Метонем и Евктемонем); в афинском календаре этой дате соответствовало 13 скирофориона. Дата 13 скирофориона свидетельствует о том, что начало цикла не совпадало с началом лунного месяца. Отсюда возникает проблема определения начальной точки в цикле Метона, подробно обсуждавшаяся в литературе. Она решается, если предположить, что дату солнцестояния Метон наблюдал на самом деле не в связи с 19-летним циклом, а для фиксации определенной точки солнечного года при построении своей парепегмы [НАМА, р.622]. По этому вопросу см. также [Samuel, 1972, р.44-45; Ньютон, 1985, с.102-104].

В своем календаре Метон использовал афинские названия месяцев. Ничего неизвестно о принятом им порядке интеркаляций и правиле чередования полных и пустых месяцев на протяжении цикла.

По мнению Дж.Тумера [РА, р.12, п.18; р.211, п.62], в «Альмагесте» (кн.IV, гл.11) три лунных затмения датируются в календаре Метона. Подробнее о календаре Метона и его деятельности как астронома см. [Toomer, 1974(1); Bowen, Goldstein, 1988].

Калипп при создании своего цикла исходил из принятого Метонем соотношения между числом солнечных годов и числом лунных месяцев ($19^y = 235^m$) и более точной величины солнечного года ($1^y = 365\frac{1}{4}^d$). Чтобы цикл включал целое число дней, он учетверил величины в соотношении Метона: $4 \times 19^y = 76^y = 940^m = 27759^d = 4 \times 6940^d - 1^d$. Продолжительность цикла составила, таким образом, 76 лет. Из 940 месяцев, входящих в него, 28 были интеркаляционными, по 7 на каждые 19 лет. За начало «Года 1» первого цикла была принята дата -329, июнь 28, отмечавшая новолуние (1 скирофориона, согласно афинскому календарю), непосредственно следующее после солнцестояния в указанном году. Эта дата определяется на основе дат наблюдений, приводимых в «Альмагесте». Согласно последней оценке, начало первого цикла Калиппа имело в юлианском календаре дату -329, июнь 29; см. [Goldstein, Bowen, 1989, р.281,292, п.46]. В «Альмагесте» наблюдения датируются I, II и III циклами Калиппа, начинавшимися соответственно в -329, -253 и -177 годах. Каждый год в цикле имел свой особый номер от 1 до 76. Началом месяца считалась, по-видимому, неомения, как у Метона (этот вопрос остается спорным), а эпохой суток — заход Солнца. Калипп в своем календаре использовал афинские названия месяцев. Точно так же поступали эллинистические астрономы, например, Тимохарис, однако Гиппарх соединил циклы Калиппа с египетским календарем. Циклы Калиппа он использовал только для счета годов. Сочетание годов Калиппа, фиксированных относительно солнцесто-

яний, и египетских годов, смещающихся относительно характеристических точек года, могло приводить к ошибкам в определении номера года. Такого рода ошибка на самом деле встречается в «Альмагесте» (кн.IV, гл.11) [РА, р.13, 215, п.72; р.244, п.13; Шпилевский, 1988, с.150] (см. также коммент. 77 кн.IV)¹².

Восемь наблюдений датируются по календарю Дионисия. Согласно реконструкции А.Бёка, первый год эры Дионисия начинался в день летнего солнцестояния, юлианская дата –284, июнь 26. В календаре использовалась восходная система. Годы с номерами $4n$, $4n + 1$ и $4n + 2$ содержали по 365^d , а годы $4n + 3$ — по 366^d . Средняя продолжительность года равнялась, таким образом, $365\frac{1}{4}^d$. Год подразделялся на 12 месяцев, имевших названия знаков зодиака. Из этих месяцев первые 11 были по 30^d каждый, а последний (Близнецы) 35^d или 36^d ¹³.

Три планетных наблюдения (кн.IX, гл.7) датируются в календаре Халдеев, соответствующем Селевкидскому календарю, используемому вавилонскими астрономами. Этот календарь основывался на 19-летнем лунно-солнечном цикле с семью вставками дополнительных месяцев, производившимися в 1-й, 4-й, 7-й, 9-й, 12-й, 15-й и 18-й годы цикла. Начальная эпоха, применявшаяся вавилонскими астрономами, соответствовала 1 нисана года, в который началось правление Селевка I, что равносильно в юлианском календаре дате –310, апрель 3. Но в «Альмагесте» применяется не вавилонский, а сирийский вариант селевкидского календаря, начинавшегося в месяце тишри (–311, октябрь 1). Вместо вавилонских Птолемей использует македонские названия месяцев, список которых см. [Бикерман, 1975, С.16]. Начало месяца определялось прямым наблюдением неомении, а начало суток — заходом Солнца¹⁴.

Одно наблюдение (кн.VII, гл.3) датируется в вифинском календаре — разновидности юлианского календаря, в котором начало года соответствовало дню рождения императора Августа, 23 сентября, и использовалась местная система названий месяцев¹⁵.

¹² Согласно [Waerden, 1984(1)] начало месяца в цикле Калиппа совпадало со средним или истинным новолунием, согласно [Goldstein, Bowen, 1989] — с днем, предшествующим неомении. Вопрос об эпохе суток также трактуется по-разному. Так, Ван-дер-Варден, основываясь на описании Гемина [Manitius, 1898, S.120–123], полагает, что в циклах Калиппа речь идет не о наблюдаемых астрономических сутках (от захода до захода), а о средних сутках, равных $1/30$ части среднего синодического месяца. Подобные единицы в это же время применялись в месопотамской астрономии, а позднее в средневековой индийской астрономии [Waerden, 1984(1)]. Эта точка зрения оспаривается О.Нейгебаузером и Дж.Тумером. [НАМА, р.617; РА, р.12–13].

¹³ Подробнее о календаре Дионисия см. [НАМА, р.1066–1067; Waerden, 1984(2)], а также коммент. 50 кн.IX и коммент. 84 кн.X. А.В.Шпилевским предложена другая реконструкция календаря Дионисия. Он считает, что продолжительность месяцев в этом календаре была не постоянной, а соответствовала принятым в так называемой парепегме Калиппа [Waerden, 1984(1), 118], что в нем использовалась заходная эпоха суток, а в египетских двойных датах — полуночная эпоха. Основываясь на этих предположениях, он приходит к выводу, что интеркаляции дней в этом календаре производились не каждые 4 года, как это следует из реконструкции А.Бёка, а неравномерно [Шпилевский, 1988, с.145–146]. Последний вывод представляется совершенно невероятным и сама реконструкция ошибочной.

¹⁴ Подробнее см. [Бикерман, 1975, с.66; НАМА, р.165,1064–1066; РА, р.13; Samuel, 1972, р.139–145,245–246], см. также коммент. 58–59 кн.IX.

¹⁵ См. [Бикерман, 1975, с.45; Samuel, 1972, р.174–175].

КОММЕНТАРИИ

Г.Е.Куртик, М.М.Рожанская, Г.П.Матвиевская

Содержание «Альмагеста» служит предметом историко-научного исследования на протяжении уже около двух столетий. За это время учеными разного профиля (филологами, историками науки, астрономами) получено много важных результатов, затрагивающих буквально каждую строку в этом произведении. В комментариях мы стремились отразить их в наиболее полном виде, уделяя особое внимание современным исследованиям. Комментарии носят в основном историко-астрономический характер.

По своему содержанию их можно классифицировать следующим образом:

- 1) астрономические теории, концепции и методы, развитые Птолемеем, их предыстория и дальнейшая судьба;
- 2) астрономические параметры движений светил, методы их определения, оценка их точности;
- 3) сложные геометрические построения, доказательства и методы вычислений;
- 4) проверка вычислений Птолемея, ошибки вычислений;
- 5) структура астрономических и математических таблиц и методы их использования;
- 6) примеры вычислений важнейших астрономических величин и параметров согласно методике Птолемея;
- 7) астрономические наблюдения, анализ их точности и достоверности;
- 8) астрономические инструменты, методика наблюдений;
- 9) используемая астрономическая терминология.

В рукописи перевода «Альмагеста», хранящейся в архиве Института истории естествознания и техники РАН, содержится несколько кратких примечаний, принадлежащих автору перевода И.Н.Веселовскому. Мы включили их в это издание, снабдив соответствующими пометками. Более подробные примечания И.Н.Веселовского к тексту «Альмагеста» не обнаружены.

При работе над комментариями мы опирались главным образом на исследования О.Нейгебаура [НАМА] и О.Педерсена [SA], наиболее авторитетные среди историков астрономии. Принятая в настоящем издании система обозначений астрономических величин соответствует НАМА. Часть комментариев заимствована из издания перевода «Альмагеста» Дж.Тумера со ссылкой [РА]. В комментариях приводятся также результаты многочисленных исследований других историков астрономии, посвященных различным аспектам астрономии Птолемея. Библиография отражает современный уровень подобных исследований. Нумерация рисунков в комментариях отличается от нумерации рисунков в тексте перевода. Например, рис.6-Е означает, что речь идет о рисунке Е в комментариях к книге VI. При ссылках на комментарии указывается номер книги и номер комментария. Если указан только номер комментария, то это означает, что он относится к той же книге. При ссылке на текст «Альмагеста» обычно указывается номер книги (римская цифра), номер главы в книге (арабская цифра), страница настоящего издания, или, если речь идет о греческом тексте, — номер тома, страница и строка в издании И.Гейберга.

КНИГА ПЕРВАЯ

1. Во введении, которое Птолемей предпосылает книге I «Альмагеста», излагаются философские и методологические принципы, лежащие в основе его астрономической системы. Птолемей определяет место математической астрономии в системе наук. В своих философских рассуждениях и построениях он опирается на философию Аристотеля. Следуя ей, Птолемей приводит и «классификацию наук», в основе которой — философия, подразделяемая на теоретическую и практическую. Теоретическая философия в свою очередь подразделяется на теологию, физику и математику. Именно математика, согласно Птолемею, «дает прочное и надежное знание». Поэтому применение математических методов (арифметического и геометрического) составляет надежную опору остальных двух разделов теоретической философии. Это философское введение подробно рассмотрено Ф.Боллем [Boll, 1894, S.68 и сл.] и О.Педерсеном [SA, p.26–32].

2. Посвящение «Сиру» (Σῖρος) встречается в нескольких сочинениях Птолемея (с.431). До сих пор, однако, не удалось установить, о ком конкретно идет речь. Сир — имя, достаточно распространенное в Египте эпохи позднего эллинизма и Римской империи [Toomer, 1975, p.187; Boll, 1894, p.67].

3. Это не вполне ясное место Дж.Тумер переводит иначе: «Даже если практическая философия, прежде чем она становится практической, оказывается теоретической» (Even if practical philosophy, before it is practical, turns out to be theoretical). По мнению Дж.Тумера, Птолемей здесь хочет сказать, что начало практической деятельности должны предшествовать какие-то теоретические представления, даже если они носят интуитивный характер [PA, p.35, п.6].

4. Аристотель. Метафизика, VI, 1, 1026a 18–33.

5. «Эфирный» (αἰθερώδης). Понятие эфира как отдельного «элемента» ввел Аристотель. До него философы отождествляли эфир то с воздухом (Эмпедокл), то с огнем (Анаксагор). Аристотель видит в нем универсальный «элемент» высшего, «надлунного» мира, тончайший и однородный, т.е. состоящий из мельчайших однородных частиц (буквально «подобочастный») и в силу этого обладающий принципиально иными свойствами, чем четыре элемента «подлунного» мира: земля, вода, воздух и огонь. Согласно Аристотелю, эфир — особый вид материи: вечный, не возникающий и не исчезающий, в отличие от четырех элементов «подлунного» мира, подверженных возникновению и гибели, поскольку они могут переходить друг в друга, а также претерпевать изменения в своем движении. Эфир же — категория непреходящая. Частицы эфира заполняют все высшие, «надлунные» сферы. К эфирным телам Аристотель относит и все небесные светила как «вечные и нетленные». Именно эти качества эфира определяют и круговые движения светил — вечные и неизменные [Аристотель. О небе, I, 2–4; II, 7].

6. Наклонным кругом (λῦξος κύκλος), т.е. кругом, наклонным к небесному экватору, Птолемей называет эклиптику.

7. Здесь Птолемей кратко формулирует основные положения своей геоцентрической системы: Земля (низший мир) сферична и расположена в центре Вселенной. Небо (высший мир) также сферично и окружает Землю, которую в сравнении со сферой неподвижных звезд можно принять за точку. Движение небесной сферы круговое и равномерное. Далее подробно рассматривается каждое из этих положений.

У Аристотеля отсутствует теория пространства в современном понимании слова. Ее заменяет понятие «места» — границы объемлющей тело материальной среды. Протяженность в пространстве трактуется как непрерывная последовательность «мест» — объемов, последовательно занимаемых телом в процессе движения. Любое движение есть изменение «места». Когда Птолемей говорит о движении, изменяющем место (в переводе Дж.Тумера — «от места к месту»), он, по всей вероятности, имеет в виду аристотелевскую концепцию движения как последовательности занимаемых телом «мест». Для Земли — неподвижного центра Вселенной — такое «изменение», согласно Птолемею, невозможно.

8. Согласно Теону Александрийскому, такого рода представления высказывались последователями философии Эпикура [Rome, 1936, p.338]; см. в этой связи также [Фрагменты, Ксенофан, 41a], а также [PA, p.38, п.22].

9. Здесь Птолемей, по-видимому, имеет в виду точку зрения, защищавшуюся Ксенофаном из Колофона (ок. 570–475 до н.э.) и Эпикуром (342–271 до н.э.), которую позже Теон Александрийский приписывал Гераклиту [Фрагменты, Ксенофан, 32, 33, 38, 41; Rome, 1936, p.340; PA, p.39, п.23].

10. Птолемей упоминает здесь о хорошо известном в астрономии явлении: Солнце и Луна кажутся больше вблизи горизонта. Объяснение Птолемея, приведенное в «Альмагесте», неверно. В действительности увеличения размеров светил не происходит; это явление имеет чисто психологическую основу. В более позднем своем труде, «Оптике» (III, 60), он приводит правильное объяснение [Lejeune, 1956, p.116; PA, p.39, п.24].

11. Птолемей рассматривает круг как многоугольник с бесконечным числом вершин, а сферу — как аналогичный многогранник с бесконечным числом граней. Упоминаемые выше положения о том, что площадь круга больше площади любого многоугольника того же периметра, и аналогичное утверждение для шара и многогранника доказаны Зенодором (II в. до н.э.) в его сочинении «Об изопериметрических фигурах» [История математики, 1970, с.139]. Трактат Зенодора известен в изложении Теона Александрийского и Паппа Александрийского. См. по данному вопросу [Heath, 1921, II, p.207–213; Rome, 1936, p.355–379; Toomer, 1972].

12. Буквально «состоящий из частиц, подобных друг другу». См. коммент. 5.

13. Говоря о «Земле, взятой в целом», Птолемей имеет в виду, что высотой гор и возвышенностей, глубиной впадин и т.д. можно пренебречь в сравнении с ее радиусом.

14. Основной довод Птолемея при доказательстве сферичности Земли — одновременность восходов и заходов одних и тех же светил для наблюдателей в точках с разными географическими долготами. То же самое касается наблюдения моментов лунных затмений. О солнечных затмениях речь не идет, так как их труднее наблюдать вследствие наличия параллакса. Птолемей почему-то не упоминает здесь об основном и наиболее наглядном доводе Аристотеля в пользу сферичности Земли — во время лунного затмения тень Земли на поверхности Луны имеет форму кругового сегмента [Аристотель. О небе, II, 14, 297b 24–31].

15. Очевидно среди «некоторых», упоминаемых Птолемеем, имеется в виду Анаксимандр. Согласно Анаксимандру, Земля имеет форму цилиндра, высота которого равна одной трети его поперечника. Этот цилиндр неподвижно висит в пространстве, ни на что не опираясь, так как находится на одинаковом расстоянии от всех точек «периферии» [Рожанский, 1979, с.139; Фрагменты, Анаксимандр, 11, 25; Tannery, 1893, p.95–96].

16. О «прямой» и «наклонной» сферах см. коммент. 15 к кн. II.

17. Равноденственный круг — небесный экватор. См. коммент. 29.

18. Круг «через середину зодиака» (ὁ διὰ μέσων τῶν ζῳδίων) — еще одно, причем часто используемое в «Альмагесте», название для эклиптики. Далее речь идет о знаках зодиака, которые Птолемей называет просто «12-я (часть)» (δωδεκατημόριον), вместо общепринятого греческого ζῳδιον, буквально «животное, изображение (животного)», желая таким образом, по-видимому, подчеркнуть различие между эклиптикой как кругом на небесной сфере и зодиаком как полосой созвездий [PA, p.20—21].

19. Гномон — вертикальный шест, установленный на горизонтальной поверхности и предназначенный для определения высоты и азимута Солнца. Наблюдения с помощью гномона основаны на измерении в разное время дня величины и направления его тени, отбрасываемой на шкалу у его основания. Тень гномона движется по плоскости его основания и описывает кривые, представляющие собой конические сечения — линии пересечения этой плоскости и наклонного кругового конуса (эллипс, в частном случае круг, гипербола и парабола). Вершина этого конуса есть вершина гномона, а основание — круг видимого суточного движения Солнца на небесной сфере.

20. В доказательстве того, что Земля должна находиться в центре Вселенной, Птолемей исходит из обратного, показывая, что любое ее положение вне этого центра противоречит наблюдениям.

Птолемей рассматривает несколько возможностей. 1) Земля располагается не в центре Вселенной, а смещена относительно оси север—юг, оставаясь при этом в плоскости небесного экватора. В этом случае на земном экваторе день и ночь не будут равны по продолжительности, а на других широтах равноденствия либо совсем не будут наблюдаться, либо не будут приходиться на середины интервалов между солнцестояниями, но это противоречит данным наблюдений. 2) Земля располагается на оси север—юг, но не в центре Вселенной, а ближе к одному из полюсов. 3) Земля располагается вне центра Вселенной и вне оси север—юг, на произвольном расстоянии от полюсов. Оба эти предположения также противоречат данным наблюдений.

Наконец, последний довод Птолемея: лунные затмения. Они имеют место, когда Земля, Луна и Солнце находятся на одной прямой, соединяющей диаметрально противоположные точки эклиптики. Но если Земля смещена относительно центра Вселенной, затмения будут иметь место, когда это последнее условие нарушается, что противоречит наблюдениям.

21. Сфера неподвижных звезд — последняя, внешняя по отношению к окружающим неподвижную Землю сферам Луны, Солнца и пяти планет, на которой согласно модели Птолемея располагались звезды. Птолемей употребляет здесь выражение «так называемые», поскольку сфера неподвижных звезд, помимо суточного, совершает еще прецессионное движение параллельно эклиптике.

22. Об армиллярной сфере см. кн.V, гл.1 и соответствующие комментарии.

23. Вследствие малости радиуса Земли по сравнению с радиусом сферы неподвижных звезд суточный параллакс звезды, т.е. угол, под которым с орбиты неподвижных звезд виден радиус Земли, практически равен нулю. А это означает, что наблюдения неподвижных звезд, выполненные с поверхности Земли, дадут тот же результат, как если бы они проводились из ее геометрического центра. О суточном параллаксе в явном виде Птолемей в «Альмагесте» не упоминает. Однако понятие лунного параллакса играет у него весьма существенную роль при определении расстояний до Луны и Солнца, а также в теории солнечных затмений.

24. Словом «стремление» И.Н.Веселовский переводит греческий термин *πρόσβευσις*, (от глагола «стремиться, тянуться»). В аристотелевской физике этот термин не применялся, хотя само понятие «стремления» — одна из основ динамики Аристотеля. Он широко оперирует им и в «Метафизике», и в трактате «О небе». Под «стремлением» понималась некая «способность», тенденция к совершению действия. В соответствии с характером ее проявления Аристотель оперирует двумя понятиями. «Стремление» может быть присуще самому телу; это — «естественное стремление» (*ροπή*). Но оно может быть и внешней причиной, толкающей тело, побуждающей его к некоторому действию. Это — насильственное «стремление» (*δύναμις*). «Естественное стремление» проявляется, например, в свободном падении тела — его движении к центру Земли, «насильственное стремление» — при движении тела по горизонтальной плоскости или под углом к горизонту. Судя по смыслу текста Птолемея, его термин *πρόσβευσις* соответствует аристотелевскому *ροπή* (см. также [РА, р.43, п.38]). Термин *πρόσβευσις* употребляется в «Альмагесте» и в других значениях (см. кн.V, гл.5, коммент. 20; кн.VI, гл.11, коммент. 124).

25. В соответствии с понятием «стремления» Аристотель различает два вида движения: «естественное» и «насильственное». Источник «естественного движения» — «естественное стремление» как неотъемлемое свойство самого тела. «Насильственное движение» происходит благодаря вмешательству некоей внешней причины движения — «насильственного стремления», связанного обычно с величиной мускульной «силы», приложенной к телу, которая и поддерживает движение. Если же тело отрывается от источника движения, «насильственное стремление» передается ему последовательно через промежуточную среду. «Естественное движение» происходит без всякого вмешательства извне. В небесах, где все вечно, неизменно, совершенно и неограниченно, неограниченно и совершенно и «естественное движение», равномерное и круговое. В земных условиях, где все преходяще и имеет начало и конец, «естественное движение» должно быть прямолинейным. В «естественном» движении тело стремится к своему «естественному» месту. Для тяжелых тел это центр Земли,

для легких — самая легкая стихия — огонь, т.е. окружающая Землю огненная сфера [Аристотель. О небе, II, 13–14; III, 2; IV, 3].

26. В своем доказательстве отсутствия поступательного движения у Земли Птолемей исходит из рассмотренной выше концепции «естественного движения» и «естественного места». Основа его доказательства — направление «естественного движения» — падения любого тяжелого тела. Оно происходит по направлению к центру Земли, образуя прямой угол с касательной плоскостью, проведенной в точке падения. А так как каждое тяжелое тело или частица может иметь только одно «естественное движение», и оно направлено к центру Мира, т.е. к центру Земли, если придерживаться геоцентрической гипотезы, следовательно Земля в целом не может иметь «стремления» к какому-либо движению в сторону. Касаясь понятия «верха» и «низа», Птолемей следует Платону и Аристотелю. Согласно Платону, все тяжелые тела (земля, вода и те субстанции, в которых эти элементы преобладают) устремляются по своей природе к центру космоса. Поэтому его следует считать «низом» в собственном смысле слова. Напротив, легкие тела (огонь, воздух и то, что из них состоит) стремятся двигаться из центра космоса к его периферии. Поэтому «верхом» следует считать периферию космоса [Рожанский, 1979, с.259–261].

Птолемей приводит еще один аргумент в пользу неподвижности Земли, основанный на физических соображениях, связанных с представлением о давлении, которое Земля испытывает со стороны падающих на нее тел. Это давление в любой точке поверхности Земли равно и противоположно по направлению давлению в противоположной точке. Все это не дает Земле возможности двигаться. В этом рассуждении Птолемей, как мы видим, отходит от аристотелевской концепции «естественного места» и «естественного движения», а также представления об эфире как материи, заполняющей все пространство «надлунного мира». Ведь эфир может совершать только вращательное движение и не оказывает никакого давления на другие тела, в том числе и на Землю. Согласно Симпликию, Птолемей более подробно излагает эту точку зрения в не дошедшем до нас трактате о весах [SA, p.44, п.7].

27. По-видимому, Птолемей имеет в виду ученика Платона — Гераклида Понтийского (388–315 до н.э.), предположившего, что Земля имеет вращение вокруг своей оси, а также автора первой гелиоцентрической гипотезы Аристарха Самосского (ок. 310–230 до н.э.).

28. Под двумя видами первых движений Птолемей имеет в виду следующие: 1) суточное движение небесной сферы с востока на запад, обусловленное движением Земли параллельно небесному экватору; 2) движение Солнца, Луны и планет вдоль эклиптики с запада на восток с различными скоростями.

29. Равноденственный круг (*ισμερινὸς κύκλος*), буквально «круг равного дня» — небесный экватор. Название это объясняется тем, что когда Солнце при своем движении по эклиптике (наклонному кругу) оказывается на небесном экваторе, то имеет место равенство дня и ночи.

30. «Середина неба» Птолемей называет небесный меридиан. Другое его название — полуночный круг (*μεσημβρινὸς κύκλος*) (см. с.15). Кульминацию светила, т.е. его прохождение через меридиан, греческие астрономы называли «прохождением через середину неба» (*μεσοῦράνησις* или *μεσοῦρανεῖν*).

31. Блуждающими светилами (*πλανήτα ἄστρα*) в греческой астрономии называли планеты — светила, перемещающиеся по небесной сфере относительно неподвижных звезд.

32. Речь идет об эклиптике — наклонном к небесному экватору большом круге небесной сферы, вдоль которого совершается видимое движение Солнца. Возле нее пролегают также видимые пути Луны и планет. См. коммент. 18.

33. Это точки зимнего и летнего солнцестояний.

34. Этот круг носит название колюра солнцестояний.

35. Под «прямыми линиями в круге» (*εὐθεῖα*) Птолемей подразумевает хорды.

36. В гл.10 излагаются основы античной тригонометрии, создание которой древние приписывали «отцу греческой астрономии» Гиппарху (ок. 180–125 до н.э.). Он ввел в рассмотрение тригонометрический круг и, по-видимому, впервые вычислил таблицу

хорд, ставшую основным элементом греческой плоской тригонометрии [Braunmühl, I, S.10]. В круге радиуса r для хорды, стягивающей дугу центрального угла α , справедливо соотношение

$$\text{Crd } \alpha = 2r \sin (\alpha/2).$$

Таким образом, таблица хорд равносильна таблице синусов половинного угла. С помощью этой таблицы Гиппарх получил решение прямоугольных треугольников и применил тригонометрические методы при разработке своей теории движения Солнца и Луны.

В современной историко-научной литературе приняты обозначения $\text{crd } \alpha$, если радиус круга равен 1, и $\text{Crd } \alpha$, если радиус $R = 60$. Птолемей использовал всегда значения $\text{Crd } \alpha$, но в примечаниях мы будем использовать также нередко более привычную нам систему обозначений.

Сочинение Гиппарха, в котором он излагает основы тригонометрии хорд, до нас не дошло. О нем упоминает, не приводя, впрочем, его названия, Теон Александрийский (IV в.), который сообщает, что оно состояло из двенадцати книг [Braunmühl, I, S.10; Rome, 1936, p.451].

Делаются попытки реконструировать таблицу хорд Гиппарха. Одна из них принадлежит Дж.Тумеру, который показал, что некоторые сообщения Птолемея о методах, которые применял Гиппарх при расчете радиуса эпицикла и эксцентриситета лунной орбиты (Альм. IV, 11), можно понять лишь в том случае, если предположить, что Гиппарх использовал таблицу хорд, подобную таблицам синусов средневековых индийских астрономов. Значения хорд в ней были вычислены с интервалом в $7\frac{1}{2}^\circ$ значений аргумента (в индийских таблицах синусов соответственно $33\frac{1}{4}^\circ$), а радиус круга считался равным $3438'$. См. [Toomer, 1973, p.6], возражения против его реконструкции [Waerden, 1988(1), p.27; 1988(2), p.178–183], а также коммент. 66 к кн.IV.

37. В таблице приводятся значения хорд от $\frac{1}{2}^\circ$ до 180° через каждые $\frac{1}{2}^\circ$. Для их вычисления Птолемей делит окружность на 360 равных частей (μοῖρα), измеряя, таким образом, углы в градусах. Диаметр круга d делится на 120 частей (part, сокращенно p); и в этих частях выражаются хорды в таблице. Такой круг с радиусом в 60 частей (60^p) является единичным в шестидесятиричной системе счисления, которой пользуется Птолемей. Каждая часть делится на 60 линейных минут, каждая минута — на 60 секунд, каждая секунда — на 60 терций и т.д. Это дает возможность при вычислении пользоваться шестидесятиричными дробями.

В «Альмагесте» Птолемей использует десятично-шестидесятиричную систему записи чисел. Целые части чисел он всегда приводит в десятичной записи, а дробные, как правило, в виде шестидесятиричной дроби. В настоящем издании в тексте перевода и в комментариях при записи чисел используется система обозначений, принятая среди историков астрономии; в ней целая часть числа отделяется от дробной точкой с запятой, а каждый последующий разряд шестидесятиричной дроби от предыдущего — запятой. Например, запись $365;14,48$ означает число

$$365 + \frac{14}{60} + \frac{48}{60^2}.$$

А запись $0;59,8,17,13,12,31$ — число

$$\frac{59}{60} + \frac{8}{60^2} + \frac{17}{60^3} + \frac{13}{60^4} + \frac{12}{60^5} + \frac{31}{60^6}.$$

Птолемей также широко использует простые дроби. Можно выделить при этом несколько основных простых дробей ($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{12}$ и др.), которые он использует для выражения дробей более сложного вида. Например, в его записи $\frac{3}{4} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$, $\frac{1}{12} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{12}$, $\frac{5}{6} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ и т.д. Такого рода «сложные» простые дроби фиксируются в тексте перевода как $\frac{1}{2}\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}\frac{1}{3}\frac{1}{12}$, $\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ соответственно.

38. Рисунки Птолемея приводятся в том виде, в котором они даны в издании И.Гейберга, без модернизации. В тексте Птолемея рисунки не пронумерованы. Нумерация, которой пользуемся мы, введена Дж.Тумером в [РА]: первое число в ней обозначает номер книги, второе — номер рисунка в книге. Номера рисунков внесены в квадратных скобках в текст перевода там, где это необходимо.

39. Две сформулированные теоремы позволяют выразить стороны правильных пяти- и десятиугольника, стягивающих соответственно дуги в 72° и 36° , через радиус круга, в который они вписаны. Эти теоремы в «Началах» Евклида отсутствуют. При доказательстве Птолемей опирается на предложения 9 и 10 книги XIII «Начал». В первом из них Евклид исходит из представления о делении отрезка в крайнем и среднем отношении. Некоторая точка делит отрезок прямой в крайнем и среднем отношении, если длина всего отрезка относится к большей его части, как эта большая часть к меньшей. Пусть на рис. 1.1 линия $Z\Gamma$ разделена в точке Δ в крайнем и среднем отношении. Тогда предложение 9 сводится к тому, что если сложить длины сторон десятиугольника и шестиугольника, вписанных в один и тот же круг (на рис. 1.1 отрезки $Z\Delta$ и $\Delta\Gamma$), то вся линия $Z\Gamma$ в точке Δ разделится в крайнем и среднем отношении. Предложение 10 состоит в том, что квадрат стороны правильного вписанного в круг пятиугольника равен произведению сторон правильных вписанных в круг шестиугольника и десятиугольника, т.е. на рис.1.1 $\Gamma Z \cdot Z\Delta = \Delta\Gamma^2$ [Евклид, XIII, 9, 10].

40. Из геометрических соображений ясно, что $\text{Crd } 90^\circ = r\sqrt{2}$, а $\text{Crd } 120^\circ = r\sqrt{3}$. Отсюда при $r = 60^P$ следует $\text{Crd } 90^\circ = 84;51,10^P$, $\text{Crd } 120^\circ = 103;55,23^P$.

41. Хорды углов 36° , 60° , 72° , 90° и 120° Птолемей называет «основными». С их помощью он определяет хорды дополнительных углов, пользуясь очевидным соотношением $\text{Crd}^2 \alpha + \text{Crd}^2 (180^\circ - \alpha) = d^2$, равносильным современному $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$. Так, по известной хорде 36° он получает $\text{Crd } 144^\circ = 114;7,87^P$.

42. Эта лемма впоследствии получила название теоремы Птолемея. В лемме утверждается, что если в круг вписан произвольный четырехугольник $ABCD$ (рис. 1-А), то площадь прямоугольника, образованного его диагоналями AC и BD ,

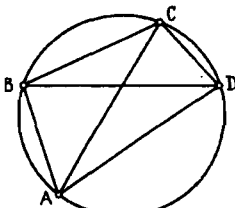


Рис. 1-А

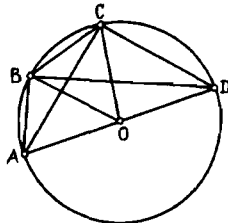


Рис. 1-В

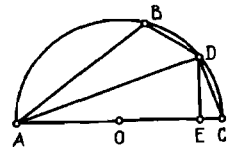


Рис. 1-С

равна сумме площадей прямоугольников, образованных противоположными сторонами данного четырехугольника, т.е. $AC \cdot BD = AB \cdot CD + AD \cdot BC$.

43. В подобных треугольниках $AB\Delta$ и $B\Gamma E$ имеет место пропорция $B\Gamma : \Gamma E = BA : \Delta A$ [Евклид, VI, 4].

44. Птолемей утверждает, что если во вписанном в круг четырехугольнике $ABCD$ (рис. 1-В) сторона AD есть диаметр круга, а хорды AB и AC известны, то, как показано, будут известны хорды дополнительных дуг BD и CD , а тогда можно определить и хорду BC . Действительно, на основании предыдущей леммы

$BC = \frac{AC \cdot BD - AB \cdot CD}{AD}$. При этом BC есть хорда разности дуг BD и CD .

Если положить $\hat{AOC} = 2\alpha$, $\hat{AOB} = 2\beta$, $r = 1$, то ясно, что получено выражение, равносильное формуле $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$. Отсюда, исходя из значений двух известных хорд 72° и 60° , можно найти, например, значение хорды

12°. Птолемей отмечает, что таким образом, т.е. при помощи значений разностей заданных основных хорд, можно определить немалое число значений других хорд.

45. Птолемей приводит метод определения хорды дуги, равной половине заданной дуги. Если AC — диаметр (рис. 1-С), BC — данная дуга, CD — ее половина, то, проведя хорды AB , AD , BD , DC и опустив из D перпендикуляр DE , он показывает, что искомая хорда есть $DC^2 = \frac{AC(AC - AB)}{2}$. Это соотношение дает возможность по известным основным хордам определить многие другие.

46. Доказано, что если известны хорды двух дуг, то известна и хорда дуги, равная их сумме. Соотношение Птолемея равносильно современной формуле для синуса суммы дуг или углов $\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta$.

47. Таким образом, получив значения основных хорд (для дуг в 36, 60, 72, 90 и 120°), а также правила вычисления хорды суммы и разности двух дуг и хорды половинного угла или дуги, Птолемей смог получить большинство значений своей таблицы. Однако вычисление хорды $1/2^\circ$, значение которой необходимо для вычисления таблицы хорд через $1/2^\circ$, требовало дополнительных рассуждений. Дело в том, что искомый результат мог быть получен путем деления на три части угла в $1/2^\circ$. Однако задача трисекции угла, относящаяся к трем знаменитым задачам древности и приводящая к решению кубического уравнения, представляла собой непреодолимую трудность и не могла быть решена методами евклидовой геометрии (с помощью циркуля и линейки). Попытки ее решения привели к разработке целого ряда приближенных методов, как алгебраических, так и геометрических: метод «вставки» и др. См., например, [Рыбников, 1974, с.32–34].

К приближенному методу прибегает и Птолемей. Утверждая, что с помощью геометрии невозможно точно вычислить значение хорды дуги в $1/2^\circ$, он предлагает иной путь. Сначала Птолемей приближенно вычисляет значение хорды 1° . Он находит ее как промежуточное значение между уже известными значениями хорд $1/2^\circ$ и $3/4^\circ$, т.е. между $1;34,15^P$ и $0;47,8^P$. Затем по полученному значению хорды 1° с помощью соотношения для хорды дуги половинного угла он находит приближенное значение хорды $1/2^\circ$.

48. «Композиция» или «присоединение отношений» означает переход от отношения a/b к отношению $(a + b)/b$ [Евклид, V, 14].

Птолемей пользуется этим понятием при переходе от отношения $\frac{ZE}{EA}$ в неравенстве $\frac{ZE}{EA} < \frac{\hat{Z}\hat{E}}{\hat{E}\hat{A}}$ к отношению $\frac{ZE + EA}{EA}$ в неравенстве $\frac{ZE + EA}{EA} < \frac{\hat{Z}\hat{E} + \hat{E}\hat{A}}{\hat{E}\hat{A}}$ (см. рис. 1.6).

49. «Выделение отношения» — переход от отношения a/b при $a > b$ к отношению $(a - b)/b$ [Евклид, V, 15].

Птолемей пользуется «выделением отношения» при переходе от отношения $\frac{GA}{AE}$ в неравенстве $\frac{GA}{AE} < \frac{\hat{G}\hat{A}}{\hat{E}\hat{A}}$ к отношению $\frac{GA - AE}{EA}$ в неравенстве $\frac{GA - AE}{EA} < \frac{\hat{G}\hat{A} - \hat{E}\hat{A}}{\hat{E}\hat{A}}$.

50. Здесь Птолемей опирается на теорему о свойстве биссектрисы треугольника, которая отсекает противолежащую этому углу сторону на отрезки, пропорциональные прилежащим к нему сторонам [Евклид, VI, 3]. Птолемей пользуется этим свойством биссектрисы угла при рассмотрении треугольника $AB\Gamma$ с биссектрисой BE , где $GE : EA = GB : BA$ (рис. 1.6).

51. Вычисление хорды дуги в 1° Птолемей проводит, отправляясь от сформулированной и доказанной им теоремы, смысл которой состоит в следующем. Если в круге взять две произвольные дуги $AB = 2\alpha$ и $A\Gamma = 2\beta$ (рис. 1.7), то справедливо

соотношение $\frac{AB}{AG} < \frac{\overline{AB}}{\overline{AG}}$ или $\frac{\text{crd } 2\alpha}{\text{crd } 2\beta} < \frac{2\alpha}{2\beta}$ ($2\beta < 2\alpha < \pi$), что равносильно соотношению $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} < \frac{\alpha}{\beta}$ ($\beta < \alpha < \frac{\pi}{2}$).

Пусть $\overline{AB} = 3/4^\circ$, $\overline{AG} = 1^\circ$. Тогда приведенное выше неравенство дает $\frac{\text{crd } 1^\circ}{\text{crd } 3/4^\circ} < \frac{1^\circ}{3/4^\circ} = \frac{4}{3}$, откуда следует, что $\text{crd } 1^\circ < 4/3 \text{ crd } 3/4^\circ$.

Пусть теперь $\overline{AB} = 1^\circ$, $\overline{AG} = 1 1/2^\circ$. Согласно той же теореме, $\frac{AB}{AG} = \frac{\text{crd } 1^\circ}{\text{crd } 1 1/2^\circ} > \frac{1}{3/2}$, или $\text{crd } 1^\circ > 2/3 \text{ crd } 1 1/2^\circ$. Отсюда следует, что значение хорды 1° заключено в пределах $2/3 \text{ crd } 1 1/2^\circ < \text{crd } 1^\circ < 4/3 \text{ crd } 3/4^\circ$, или $2/3 \cdot 1;34,15^P < \text{crd } 1^\circ < 4/3 \cdot 0;47,8^P$. Проведя вычисления, получим, что $1;2,50^P < \text{crd } 1^\circ < 1;2,50^P$, т.е. хорда $1^\circ \approx 1;2,50^P$, а хорда $1/2^\circ$, вычисленная по правилу нахождения хорды половинного угла, равна $0;31,25^P$.

52. В таблице хорд Птолемея три столбца. В левом содержатся значения дуг от $1/2^\circ$ до 180° , через каждые $1/2^\circ$. В следующем столбце приводятся длины хорд для соответствующих дуг, значения которых даны в шестидесятеричных дробях при условии, что диаметр круга содержит всего 120 частей. Наконец, третий столбец служит для интерполяции величины каждой последовательной хорды дуги, меньшей, чем $1/2^\circ$. Он содержит значения тридцатых долей разностей длин последующих хорд, т.е. показывает средний прирост длины хорды на одну минуту дуги в соответствующих пределах. Значения даны с точностью до кварт. Будучи пересчитаны в десятичную систему счисления, таблицы позволяют вычислять хорды дуг с точностью до пятого десятичного знака.

Таблица хорд Птолемея была пересчитана с помощью компьютера. Программа была составлена так, чтобы как можно ближе воспроизвести метод вычисления самого Птолемея [Glowatski, Götsche, 1976; PA, p.57–58, п.68]. Авторы ее пришли к выводу, что для того, чтобы получить точный результат до третьего шестидесятеричного знака, Птолемей должен был производить вычисления до пятого знака.

В настоящем издании ряд значений в таблице хорд Птолемея исправлены в соответствии с изданием Дж.Тумера. Исправлению подверглись значения $\text{Crd } 9^\circ$, $\text{Crd } 72^\circ$, $\text{Crd } 88 1/2^\circ$, $\text{Crd } 97^\circ$, $\text{Crd } 108^\circ$, $\text{Crd } 118 1/2^\circ$, $\text{Crd } 143^\circ$ [PA, p.57–59, п.68].

53. В гл.12 Птолемей определяет угол наклона эклиптики к экватору. Пусть P, P' — полюсы мира (рис. 1-D), $QYQ' \perp$ — небесный экватор, R, R' — полюсы эклиптики, $KYK' \perp$ — эклиптика, Y — точка весеннего равноденствия. Большой круг небесной сферы $RPQR'P'Q'$, проходящий через полюсы небесного экватора и эклиптики, называется колюром солнцестояний, а лежащие на нем точки эклиптики — соответственно точками летнего и зимнего солнцестояний.

Определяется значение дуги RP , которая, очевидно, равна дугам KQ и $K'Q'$, измеряющим ϵ — угол наклона эклиптики к экватору.

54. Инструмент, с помощью которого Птолемей производил измерение угла наклона эклиптики к экватору, известен в современной литературе под названием меридианного круга или меридианной армиллы. В дошедшем до нас греческом тексте «Альмагеста» не приводятся изображения инструментов Птолемея. Реконструкция меридианного круга, представленная на рис. 1-E, принадлежит С.В.Житомирскому. Описание, чертежи и объяснение действия

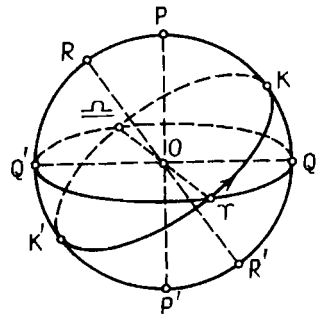


Рис. 1-D

этого инструмента см. также [Britton, 1967, p.5; Dicks, 1954, p.78–79; НА I, 41; РА, p.61, Fig.C; Price, 1957, p.589]. Определив с помощью инструмента зенитное расстояние Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояний, легко вычислить значение ϵ . См. также коммент. 57.

55. Второй инструмент, описанный Птолемеем, представляет собой квадрант. Рис.1-F выполнен С.В.Житомирским. Рабочую плоскость инструмента Птолемей называет «призмой». Планка 5 способствовала увеличению резкости тени. Квадрант устанавливается в плоскости меридиана таким образом, чтобы сторона со стержнем, отбрасывающим тень, была обращена к югу. Во время прохождения Солнца через меридиан на шкале фиксировалось минимальное зенитное расстояние. Другие изображения инструмента и описание его действия см. в источниках, указанных в коммент. 51.

56. Полуденная линия — линия пересечения плоскости меридиана (полуденного круга) с плоскостью горизонта.

57. Метод Птолемея основан на определении зенитного расстояния Солнца в меридиане во время летнего и зимнего солнцестояний. Если эти зенитные расстояния обозначить соответственно z_1 и z_2 , то широта места $\varphi = (z_1 + z_2)/2$, наклон эклиптики $\epsilon = (z_1 - z_2)/2$.

58. Птолемей использует в «Альмагесте» значение $\epsilon = 23;51,20^\circ$, полученное, по его собственным словам, с помощью описанных выше измерений, производившихся «в течение многих лет во время солнцеворотов». Согласно Птолемею, измеренная им величина содержится между указанными в тексте пределами $47\frac{3}{4}^\circ < 2\epsilon < 47\frac{3}{4}^\circ$, откуда $\epsilon = 23;51,20^\circ$. Его измерения относятся приблизительно к 140 г. н.э. Однако история определения величины ϵ восходит к более раннему времени, как об этом сообщает сам Птолемей, ссылаясь на Эратосфена и Гиппарха. Об этом же сообщает Страбон в своей «Географии» (II, 5, 7) [Страбон, 1964, с.115–116]. Согласно Страбону, именно Эратосфен разделил земной меридиан на шестьдесят частей и, соответственно, каждый квадрант от экватора до полюса на 15 таких частей, так что расстояние от земного экватора до тропика Рака содержит четыре такие части. В силу эквивалентности земного шара и небесной сферы, считал Эратосфен, величина наклона эклиптики эквивалентна дуговому расстоянию от экватора до тропика Рака, т.е. составляет $1/15$ часть круга, или 24° . Это наиболее раннее известное греческое значение величины ϵ . Страбон сообщает также, что Эратосфен предпринял попытку выразить это значение в линейных мерах. Именно ему принадлежит, очевидно, первая в истории географии попытка вычисления величины градуса земного меридиана и окружности земного шара. Величина окружности Земли у него равна 252 000 стадий, а расстояние от экватора до тропика

Рака (до города Сиены — современного Асуана) составляет $1/15$ часть окружности, т.е. $252\,000 : 360 = 16\,800$ стадий. Однако уже в эпоху Эратосфена и Гиппарха было известно, что величина наклона эклиптики меньше 24° . Гиппарх при определении ϵ , вероятно, исходил из значения продолжительности наибольшего дня для Сиены, которая составляет $13\frac{1}{2}$ часа. Если исходить из этой величины, то можно реконструировать следующий метод его определения величины ϵ .

Пусть на рис. 1-G EC — небесный экватор, $SCZPN$ — меридиан, $SERN$ — горизонт, Z — зенит, P — полюс мира, TR — суточный круг Солнца во время летнего солнцестояния, если Солнце восходит в точке R . Тогда $\gamma = ED$ — половина избытка наибольшего дня для

широты Сиены над 12 равноденственными часами, измеренная в градусах, т.е. $(15^\circ M - 180^\circ)/2$, где M — продолжительность наибольшего дня. Эта величина легко определяется в прямоугольном сферическом треугольнике EDR с прямым углом D , $\sin \gamma = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \epsilon$. Так как для Сиены $M = 13\frac{1}{2}^h$, $\gamma = 11;15^\circ$ и $\varphi = \epsilon$, то $\sin 11;15^\circ = \operatorname{tg} 2\epsilon$, откуда $\epsilon = 23;49,50^\circ$ — значение, близкое к птолемеевскому.

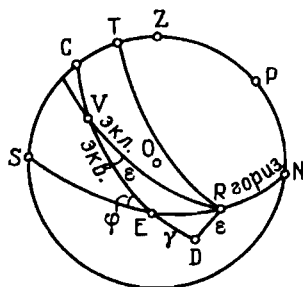


Рис. 1-G

Гиппарх, возможно, получил γ , пользуясь методом аналеммы, т.е. принятым в античной астрономии приемом ортогонального проектирования небесной сферы и ее основных кругов на одну из координатных плоскостей (в данном случае на плоскость горизонта, в которой был установлен гномон длины g в Сиене в день летнего солнцестояния). С помощью аналеммы, описанной Витрувием, который называет ее автором Гиппарха, значение ϵ можно получить из соотношения, эквивалентного формуле $\operatorname{tg} \epsilon = s/g$ [Goldstein, 1983, p.9–10].

Птолемей утверждает, что и Эратосфен, и Гиппарх при вычислении величины ϵ пользовались дробью $11/83$, которую полагали равной 2ϵ . Б.Голдстейн предлагает весьма убедительную гипотезу появления этой величины.

Выше мы уже говорили, что согласно Эратосфену расстояние от экватора до тропика Рака составляет 16 800 стадий. Это дает для величины ϵ значение, равное 24° . Но Эратосфен, вероятно, знал, что истинное значение ϵ меньше 24° . Значение же 16 800 — приближенное, так как, по утверждению Страбона со ссылкой на наблюдения его предшественников, широты мест, расположенных на одном меридиане на расстоянии менее 400 стадий (около $1/2^\circ$ широты) при наблюдении (т.е. определении продолжительности наибольшего дня или отношения длины гномона к его тени) не различаются. Поэтому величину 16 800 правомерно уменьшить до 16 700. А тогда справедливо соотношение

$$\frac{2\epsilon}{360} = \frac{2 \times 16\,700}{252\,000} = \frac{167}{1260}.$$

Отсюда приближенное значение величины ϵ можно получить с помощью цепных дробей методом, связанным с алгоритмом Евклида, хорошо известным в античности. С помощью цепной дроби можно получить приближенное значение любого рационального числа вида a/b , быстро сходящееся к истинной величине.

Представим числитель и знаменатель выражения для $\frac{2\epsilon}{360}$ в виде

$$\begin{aligned} 1260 &= 7 \times 167 + 91, \\ 167 &= 1 \times 91 + 76, \\ 91 &= 1 \times 76 + 15, \\ 76 &\approx 5 \times 15. \end{aligned}$$

Тогда выражение $\frac{167}{1260}$ можно записать в виде

$$\frac{167}{1260} \approx \frac{1}{7 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{5}}}} \approx \frac{11}{83}.$$

Таким образом, число $\frac{11}{83}$ получается уже при третьем приближении.

Число $\frac{11}{83}$ можно получить и другим путем, если воспользоваться неравенством

$\frac{a}{b} < \frac{a+c}{b+d} < \frac{c}{d}$ при $\frac{a}{b} < \frac{c}{d}$, которым оперирует Папп Александрийский в своем «Математическом собрании» [Pappus, I, p.689].

Дробь $\frac{167}{1260}$ удовлетворяет неравенству

$$\frac{1}{8} = \frac{2}{16} < \frac{167}{1260} < \frac{2}{15},$$

которое можно представить в виде ряда

$$\frac{1}{8} < \frac{1+2n}{8+15n} < \frac{2}{15} \text{ при } n = 1, \dots, 6.$$

Последовательность приближенных значений для дроби $\frac{167}{1260}$ при соответствующих значениях n заключена между $\frac{1}{8}$ и $\frac{2}{15}$ и имеет вид

$$\frac{1}{8} < \frac{3}{23} < \frac{5}{38} < \frac{7}{53} < \frac{9}{68} < \frac{11}{83} < \frac{13}{98} < \dots < \frac{2}{15}.$$

Таким образом, дробь $\frac{11}{83}$ представляет собой приближенное значение дроби $\frac{167}{1260}$ при $n = 5$.

Таковы две гипотезы о происхождении дроби $\frac{11}{83}$ в тексте «Альмагеста». Наиболее вероятно, по мнению Голдстейна, что ее автором является Гиппарх [Goldstein, 1983, р.6–8]. Существуют, однако, и другие гипотезы, касающиеся происхождения указанной величины угла наклона эклиптики к экватору. См. в этой связи [Rawlins, 1982; Ньютон, 1985, с.106–109].

59. Как известно, высота полюса небесного экватора над горизонтом в данном географическом пункте равна его географической широте.

60. Гл. 13 посвящена изложению основ античной сферической тригонометрии. Опираясь на труды по сферике Автолика (IV в. до н.э.), Евклида (ок. 365–300 до н.э.), Теодосия (III в. до н.э.), Гипсикла (II в. до н.э.) и в особенности Менелая (I–II вв.), Птолемей доказал «несколько кратких и очень полезных лемм», которые позволяли решать широкий круг задач сферической астрономии его времени. При доказательстве этих лемм он опирался, главным образом, на знаменитую теорему Менелая, одного из крупнейших ученых эпохи эллинизма, автора трудов по астрономии, математике и механике.

Основной труд Менелая «Сфера» до нас не дошел. Он сохранился только в арабском переводе астронома и математика X–XI вв. Ибн Ирака [Krause, 1936]. В астрономической литературе средневековой Европы ее обычно называли «теоремой о трансверсалиях», а на средневековом Востоке «правилом шести величин» или «теоремой о полном четырехстороннике».

Название теоремы Менелая — «правило шести величин» — объясняется следующим образом. Смысл теоремы состоит в том, что между шестью отрезками — хордами в круге или шестью дугами больших кругов сферы, образующих полный плоский или сферический четырехсторонник, существуют определенные соотношения. Теорема Менелая была доказана и для плоского, и для сферического случаев (см. коммент. 61, 66).

В этой же главе доказывается также утверждение о том, что если даны отношения хорд двух дуг, меньших 180° , и их сумма или разность, то можно определить и сами дуги.

61. Здесь речь идет о плоской теореме Менелая. Птолемей приводит ее доказательство.

В основе доказательства — фигура, называемая полным четырехсторонником. Плоский полный четырехсторонник можно получить из произвольного четырехугольника, продолжая до пересечения обе пары его противоположных сторон (рис. 1-Н). В современных обозначениях плоская теорема Менелая имеет вид

$$\frac{AD}{CD} \cdot \frac{CE}{BE} \cdot \frac{BF}{AF} = 1, \quad \frac{AD}{CA} \cdot \frac{BC}{BE} \cdot \frac{EF}{DF} = 1.$$

Менелай, Птолемей, а впоследствии математики средневекового Востока формулировали и доказывали эту теорему с помощью евклидовой теории составных отношений. В современной терминологии составное отношение есть произведение двух отношений. Мы говорим, что отношение $\frac{a}{b}$ есть произведение отношений $\frac{c}{d}$ и $\frac{e}{f}$. Античные же математики говорили, что отношение $\frac{a}{b}$ «составлено» из отношений

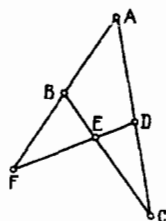


Рис. 1-Н

$\frac{c}{d}$ и $\frac{e}{f}$. В терминологии Птолемея отношение $\frac{\Gamma A}{\Delta E}$ составлено из отношений $\frac{\Gamma \Delta}{\Delta Z}$ и $\frac{ZB}{BE}$, а отношение $\frac{\Gamma E}{EA}$ составлено из отношений $\frac{\Gamma Z}{ZA}$ и $\frac{\Delta B}{BA}$ (рис. 1.8).

Понятие составного отношения — одно из основных понятий греческой теории отношений, изложенной в книге V «Начал» Евклида [Евклид, V, 9, 10]. Операция составления отношений равносильна их умножению. Однако у Евклида речь идет только о «двойном» и «тройном» отношениях, т.е. о возведении отношения в квадрат и куб. Общее же определение составного отношения отсутствует. Поэтому позднейшие греческие комментаторы «Начал» были вынуждены дополнить Евклида. Это общее определение добавлено к книге VI «Начал» в качестве определения 6.

В своем доказательстве Птолемей опирается на два предложения книги VI «Начал». В первом из них утверждается, что в равноугольных треугольниках стороны, стягивающие равные углы, пропорциональны. Смысл второго предложения состоит в том, что если в треугольнике проведена прямая, параллельная одной из сторон, то она расщепит остальные стороны на пропорциональные отрезки [Евклид, VI, 2, 4].

62. Смысл этого предложения состоит в следующем: если на окружности с центром Δ (рис. 1-Ж) взяты произвольные дуги AB и $B\Gamma$, меньшие 180° , и проведена хорда AG , то справедливо соотношение

$$\frac{\text{Crd } 2AB}{\text{Crd } 2B\Gamma} = \frac{AE}{E\Gamma},$$

где E — точка пересечения хорды AG с диаметром BD .

При доказательстве этого соотношения Птолемей опирается на предложение 3 книги IV «Начал», смысл которого состоит в следующем: если прямая, проходящая через центр круга, делит другую прямую, не проходящую через него, пополам, то

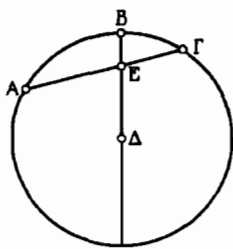


Рис. 1-Ж

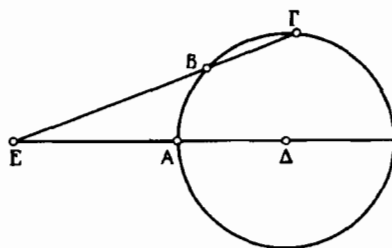


Рис. 1-К

она пересекает ее под прямым углом [Евклид, IV, 3]. Доказательство проводится с помощью «составления отношений».

63. Из этой теоремы вытекает одно очень важное следствие: если известны сумма дуг и отношение хорд удвоенных дуг, то можно определить каждую из них.

64. Сформулировано предложение: если на окружности с центром Δ (рис. 1-К) взяты дуги AB и $A\Gamma$, меньшие 180° , проведены радиус AD и хорда $B\Gamma$, продолжения которых пересекаются в точке E , то имеет место соотношение

$$\frac{\text{Crd } 2\Gamma A}{\text{Crd } 2AB} = \frac{\Gamma E}{BE}.$$

65. Как следствие из предыдущего сформулирована теорема: если известны дуга $B\Gamma$, равная разности дуг $A\Gamma$ и AB , и отношение хорд удвоенных этих дуг, то может быть определена и дуга AB .

Эти вспомогательные рассуждения Птолемея, которыми он завершает раздел плоской тригонометрии, сводятся по сути дела к двум леммам, которыми он

пользуется далее для доказательства теоремы Менелая. В современной терминологии они имеют следующий вид.

Лемма 1. Если заданы дуга $(\alpha + \beta)$ и отношение $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, то этого достаточно для нахождения дуг α и β .

Лемма 2. Если заданы дуга $(\alpha - \beta)$ и отношение $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, то этого достаточно для нахождения дуг α и β . Доказательство Птолемей, естественно, проводит с помощью тригонометрии хорд.

66. В этом предложении доказывается теорема Менелая для сферического случая.

Пусть на поверхности сферы дугами окружностей больших кругов образована фигура $ABZ\Gamma$, причем каждая из этих дуг AB , BZ , $Z\Gamma$, $A\Gamma$ меньше 180° (рис. 1.14). В теореме утверждается, что

$$\frac{\text{Crd } 2\Gamma E}{\text{Crd } 2EA} = \frac{\text{Crd } 2\Gamma Z}{\text{Crd } 2AZ} \frac{\text{Crd } 2AB}{\text{Crd } 2BA}, \quad \frac{\text{Crd } 2\Gamma A}{\text{Crd } 2AE} = \frac{\text{Crd } 2\Gamma A}{\text{Crd } 2AZ} \frac{\text{Crd } 2ZB}{\text{Crd } 2BE}.$$

Проведем из центра сферы H радиусы HB , HZ , HE и соединим хордами точки A , Δ , Γ . Продолжим хорду $A\Delta$ и радиус HB до их пересечения в точке Θ . Точку пересечения хорды $\Delta\Gamma$ и радиуса HZ обозначим через K , а точку пересечения хорды $A\Gamma$ с радиусом HE — через Λ . Точки Θ , K и Λ лежат одновременно в плоскости треугольника $A\Delta\Gamma$ и в плоскости круга $HBZE$, а следовательно, на одной прямой $\Theta K\Lambda$.

Составленная прямыми $\Theta\Lambda$, ΘA , ΓA и $\Gamma \Delta$ фигура $\Theta A\Gamma K$ представляет собой полный четырехсторонник плоской теоремы Менелая. Из нее следует

$$\frac{\Gamma\Lambda}{\Delta\Lambda} = \frac{\Gamma K}{K\Delta} \frac{\Theta\Lambda}{\Theta A}.$$

Но, согласно второй из доказанных Птолемеем теорем, получим

$$\frac{\Gamma\Lambda}{\Delta\Lambda} = \frac{\text{Crd } 2\Gamma E}{\text{Crd } 2EA}, \quad \frac{\Gamma K}{K\Delta} = \frac{\text{Crd } 2\Gamma Z}{\text{Crd } 2Z\Delta}.$$

Согласно же третьей теореме имеем

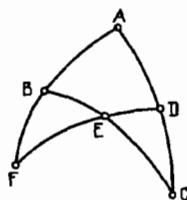


Рис. 1-L

$$\frac{\Delta\Theta}{\Theta A} = \frac{\text{Crd } 2\Delta B}{\text{Crd } 2BA}.$$

Отсюда

$$\frac{\text{Crd } 2\Gamma E}{\text{Crd } 2EA} = \frac{\text{Crd } 2\Gamma Z}{\text{Crd } 2Z\Delta} \frac{\text{Crd } 2AB}{\text{Crd } 2BA},$$

что и требовалось доказать.

Птолемей замечает, что аналогично, с учетом соответствующих предпосылок, доказанных выше, доказывается и второе утверждение теоремы. Полное его доказательство дал Теон в своих комментариях к «Альмагесту» [НАМА, р.26–30].

Таким образом, сферическую теорему Менелая можно получить из плоской теоремы заменой каждого отрезка хордой соответствующей дуги большого круга (рис. 1-L) в виде

$$\frac{\text{Crd } 2AD}{\text{Crd } 2CD} \frac{\text{Crd } 2CE}{\text{Crd } 2BE} \frac{\text{Crd } 2BF}{\text{Crd } 2AF} = 1, \quad \frac{\text{Crd } 2AD}{\text{Crd } 2CA} \frac{\text{Crd } 2BC}{\text{Crd } 2BE} \frac{\text{Crd } 2EF}{\text{Crd } 2DF} = 1,$$

или, если перейти от хорд к синусам,

$$\frac{\sin AD}{\sin CD} \frac{\sin CE}{\sin BE} \frac{\sin BF}{\sin AF} = 1, \quad \frac{\sin AD}{\sin CA} \frac{\sin BC}{\sin BE} \frac{\sin EF}{\sin DF} = 1.$$

Следует отметить, что и Птолемей, и Менелай, на доказательстве которого он основывается, и Теон Александрийский рассматривали только случай, когда прямые

ΔА и ВН (рис. 1.14) пересекаются. Однако они могут оказаться параллельными, и тогда требуется особое доказательство.

Всестороннему исследованию сферическую теорему Менелая подвергли математики средневекового Востока, которые называли ее теоремой «о фигуре секущих» (шакл ал-кита). Обзор их доказательств см. [Матвиевская, 1990, с.83–92].

Теорема Менелая о трансверсалиях — основа всех астрономических вычислений Птолемея, связанных с решением сферических треугольников.

67. Главы 14–16 книги I и практически вся книга II «Альмагеста» представляют собой серию задач сферической астрономии, которые можно разбить на три основные группы:

задачи по определению координат светил на небесной сфере и переходу от одной из трех принятых Птолемеем сферических систем координат к другой;

задачи математической географии;

задачи по определению положения эклиптики относительно горизонта и других больших кругов небесной сферы.

Птолемей пользовался тремя системами сферических координат:

1) горизонтальной, в которой положение светила на небесной сфере определяется его высотой h , отсчитываемой от круга горизонта по перпендикулярному ему кругу высоты, и азимутом A , отсчитываемому по горизонтальному кругу от меридианной линии (сейчас) или от линии восток–запад (у Птолемея);

2) экваториальной, в которой координаты небесных тел — прямое восхождение $\alpha = \angle HN$, отсчитываемое по небесному экватору от точки весеннего равноденствия Υ , и склонение δ , отсчитываемое от небесного экватора по перпендикулярному ему кругу склонения (рис. 1-M);

3) эклиптической, которая использовалась для определения положений Солнца, Луны и планет в их движении по своим орбитам. Координаты в этой системе — эклиптическая долгота $\lambda = \angle YN$, отсчитываемая вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия в направлении последовательности знаков зодиака и эклиптическая широта $\beta = \angle NK$, отсчитываемая по кругу широты, перпендикулярному к эклиптике, от точки его пересечения с эклиптикой (рис. 1-M).

В этой главе речь идет об определении склонения δ точек эклиптики как функции $\delta(\lambda)$, где λ — долгота точек эклиптики при данном, определенном описанным выше методом значении наклона эклиптики ϵ .

В общем виде эта задача решалась с помощью теоремы Менелая. Пусть на рис. 1.15 EA — небесный экватор, EB — эклиптика, E — точка весеннего равноденствия, B — точка летнего солнцестояния. По условию задачи требуется определить дугу $\angle HN = \delta$, если известны дуга $\angle EN = \lambda$ и угол $\angle E = \epsilon$.

Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник ABZHEΘ, образованный пересечением двух пар соответствующих дуг ZA и ZΘ, EA и EB.

Согласно теореме Менелая,

$$\frac{\text{Crd ZB}}{\text{Crd AB}} = \frac{\text{Crd ZH}}{\text{Crd HΘ}} \frac{\text{Crd EN}}{\text{Crd EB}}$$

или, если учесть, что дуги ZB, ZH и EB содержат по 90° , и перейти от хорд к синусам, получим $\sin \delta = \sin \lambda \sin \epsilon$.

Птолемей не решает задачу в общем виде, а приводит два примера вычисления δ по данной λ .

Вначале он полагает дугу EN (эклиптическую долготу λ) равной 30° . Тогда, так как дуга ZA равна 90° , удвоенная дуга 2ZA равна 180° , а соответствующая ей хорда 2ZA — 120^p . Как найдено ранее, $2\epsilon = 2AB = 47;42,40^\circ$, а соответствующая хорда 2AB = $48;31,55^p$. По предположению, дуга 2EN = 60° , откуда хорда 2EN = 60^p .

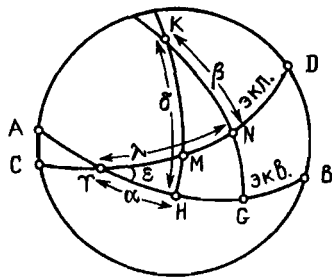


Рис. 1-M

Наконец, по определению точки летнего солнцестояния, дуга $2EB = 180^\circ$, откуда хорда $2EB = 120^p$.

Подставляя эти значения, Птолемей получает

$$\frac{\text{Crd } 2Z\Theta}{\text{Crd } 2\Theta H} \cdot \frac{60^p}{120^p} = \frac{120^p}{48;31,55^p}$$

откуда

$$\frac{\text{Crd } 2Z\Theta}{\text{Crd } 2\Theta H} = \frac{120^p}{24;15,57^p}$$

Так как $2Z\Theta = 180^\circ$, то хорда $2Z\Theta = 120^p$. Отсюда хорда $2\Theta H = 24;15,57$, а удвоенная дуга $2\Theta H = 23;19,59^\circ$. Следовательно, склонение точки эклиптики с эклиптической долготой $\lambda = 30^\circ$, согласно Птолемею, есть $\delta = 11;40'$. Аналогичным образом вычислена величина склонения точки эклиптики с эклиптической долготой $\lambda = 60^\circ$.

68. Глава 15 содержит таблицу склонений точек эклиптики как функцию долготы λ , т.е. значения функции $\delta(\lambda)$, вычисленные через 1° изменения долготы λ по приведенному выше правилу. Эта таблица состоит из двух столбцов. Первый столбец называется «дуги [круга] через середины [зодиакальных созвездий]», т.е. дуги эклиптики. Таким образом, ясно, что речь идет об эклиптической долготе λ . Второй столбец носит название «дуги полуденного круга», т.е. меридиана. На самом же деле речь идет о дугах не меридиана, а круга склонений.

Объяснить это можно следующим образом. Когда точка эклиптики с долготой λ в результате суточного обращения небесной сферы оказывается в плоскости меридиана, то дуга, определяющая ее склонение, будет равна дуге меридиана, заключенной между соответствующей точкой эклиптики и точкой небесного экватора. Меридиан, таким образом, может использоваться для определения склонений точек эклиптики с долготой λ . Второе возможное объяснение: название круга, перпендикулярного горизонту (меридиан), переносится на круг, перпендикулярный эклиптике, поскольку для последнего не существует особого названия; это следствие неразработанности терминологии.

Максимум значения δ в таблице склонений Птолемея достигается в точке с долготой $\lambda = 90^\circ$. Он равен величине наклона эклиптики. Следуя Дж.Тумеру, мы внесли исправления в числовые данные этой таблицы, сделанные в результате тщательной проверки, пересчета и сопоставления с рукописями, недоступными издателю греческого текста, на котором основывался И.Н.Веселовский [РА, р.71, п.87].

Вопрос о происхождении птолемеевой таблицы склонений представляет определенные трудности. Как показали современные исследования, большинство значений $\delta(\lambda)$, зафиксированное в таблице, не может быть получено на основе таблицы хорд, приведенной в гл.11, методом, описанным Птолемеем. При вычислении табличных значений $\delta(\lambda)$ разность составляет $(-2'') - (+4'')$ и носит периодический характер, что нельзя объяснить небрежностью Птолемея или ошибками переписчиков. Р.Ньютон предположил, что при вычислении птолемеевой таблицы склонений использовалась не его собственная таблица хорд, а какая-то более ранняя и более грубая. Б.Л.Ван-дер-Варден выдвинул предположение, что эта более ранняя таблица была вычислена в результате применения некоторого правила, эквивалентного рекурсивной формуле, основанной на теоремах Архимеда о свойствах ломаной в круге, и автором его был, вероятно, один из крупнейших математиков эпохи эллинизма Аполлоний Пергский (ок. 260–170 до н.э.). Это рекурсивное правило впоследствии стало известно в Индии и использовалось Ариабхатой I (475 н.э. — ?) при вычислении таблицы синусов [Waerden, 1988(1), р.31–37; 1988(2), р.181–183].

69. Временной градус ($\chi\rho\nu\nu\nu\ \iota\sigma\tau\eta\rho\iota\nu\nu\iota$, буквально «равноденственные, или экваториальные времена») — это интервал времени, равный $1/360$ части суток, или 4^m , вследствие чего и получил название «градус». Эта астрономическая единица имеет вавилонское происхождение. Как прямое восхождение α , так и времена восхода ρ дуг эклиптики на различных широтах определяются Птолемеем при помощи временных градусов.

70. В гл.16 решается задача об определении времен восхода $\rho(\Delta\lambda)$ произвольных дуг эклиптики $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ в прямой сфере, т.е. на земном экваторе при $\varphi = 0^\circ$. Времена восхода дуг эклиптики в прямой сфере, согласно Птолемею, равняются временам прохождения этих же дуг через меридиан при суточном обращении небесной сферы, причем последнее равенство выполняется для любой географической широты.

Птолемей сначала определяет времена восхода $\rho(\lambda)$ дуг эклиптики для случая, когда одна из крайних точек дуги совпадает с точкой весеннего равноденствия ($\lambda_1 = 0$), т.е., по сути дела, прямые восхождения $\alpha(\lambda)$ точек эклиптики как функции долготы λ . Значения $\rho(\lambda)$ определяются им для фиксированных значений долготы $\lambda = 10^\circ n$, где $n = 1, 2, \dots, 9$ (в тексте приводятся два примера вычисления $\rho(\lambda)$ для $\lambda = 30^\circ$ и $\lambda = 60^\circ$), а затем составляется таблица разностей $\Delta\alpha$ для соответствующих 10-градусных интервалов приращения долготы от 0° до 90° , определяющих времена восхода указанных интервалов.

71. У Гейберга 56;1,25; исправление Дж.Тумера [РА, р.73, п.89].

72. При определении α как функции λ Птолемей прибегает также к теореме Менелая. Полный сферический четырехсторонник ABZHEΘ, представленный на рис. 1.16, позволяет записать следующее соотношение:

$$\frac{\text{Crd } 2\text{ZB}}{\text{Crd } 2\text{AB}} = \frac{\text{Crd } 2\text{ZH}}{\text{Crd } 2\text{H}\Theta} \frac{\text{Crd } 2\text{E}\Theta}{\text{Crd } 2\text{EA}},$$

в котором $\text{ZB} = 90^\circ - \varepsilon$, $\text{AB} = \varepsilon$, $\text{ZH} = 90^\circ - \delta$, $\text{H}\Theta = \delta$, $\text{EA} = 90^\circ$, $\text{E}\Theta = \alpha$. Величина склонения δ , присутствующая в этом уравнении, может быть получена по известной долготе λ при помощи таблицы склонений гл.15; величина α после этого определяется однозначно.

Таким образом, задачу по определению $\alpha(\lambda)$ Птолемей решает в два этапа, причем оба раза с использованием теоремы Менелая; сначала он находит склонение δ по правилу, эквивалентному формуле

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda,$$

а затем α на основе соотношения

$$\sin \alpha = \frac{\cos \varepsilon \sin \delta}{\sin \varepsilon \cos \delta}.$$

Двукратное применение теоремы Менелая связано с отсутствием функции тангенса в арсенале математических средств, которыми оперировали эллинистические астрономы [НАМА, р.31–32].

73. Таблица времен восхода дуг эклиптики в прямой сфере приводится в «Альмагесте» дважды — в конце настоящей главы и в составе таблицы гл.8 кн.II в столбце «прямая сфера». С ее помощью могут быть вычислены прямые восхождения α точек эклиптики при произвольной долготе λ . Величины $\alpha(\lambda)$ при $\lambda \neq 10^\circ n$ определяются линейной интерполяцией между соседними значениями. Примеры вычисления $\alpha(\lambda)$ см., например, в коммент. 31, 50, 70 к кн.IV и в коммент. 12, 110 к кн.V.

КНИГА ВТОРАЯ

1. Буквально «обитаемая нами часть Земли» — то, что в античной географии именовалось ойкуменой (οἰκουμένη). Так греки называли известную им обитаемую часть земного шара. Понятие ойкумены исторически предшествует представлению о шарообразности Земли. Так, Гекатей Милетский, Геродот и некоторые другие авторы VI–V вв. до н.э. представляли ойкумену в виде диска, на котором континенты, моря, реки, горы располагаются произвольным образом. Диск этот окружен широкой рекой — Океаном (представление, идущее еще от Гомера и Гесиода). Представление о шарообразности Земли, зародившееся, по-видимому, в пифагорейской школе, и развитое Платоном, Евдоксом, Аристотелем и другими античными учеными, отразилось и на понятии ойкумены. По Аристотелю, ойкумена представляет собой

замкнутую ленту, на которой суша чередуется с морями. Эратосфен и вслед за ним Гиппарх, Страбон, Марин Тирский, Птолемей и другие эллинистические ученые пытались уже, пользуясь сеткой меридианов и параллелей, определить размеры известной грекам ойкумены. Ойкумена в целом была ограничена двумя широтами с севера и юга и двумя долготами с востока и запада и с учетом того, что меридианы сходятся в северном полушарии, имела форму равнобедренной трапеции. Согласно Птолемею, обитаемой является приблизительно северная часть земного шара. В «Географии» он устанавливает для ойкумены следующие пределы: верхний — остров Фуле (63 градуса северной широты), нижний — 14 градусов южной широты, западный — Канарские острова, восточный — «страна сервов» — нынешний Китай; таким образом, протяженность обитаемой части Земли с севера на юг составляет, согласно Птолемею, 77 градусов, а ее протяженность по долготе — 12 часов или 180° [Рожанский, 1988, с.213–221].

2. «Равноденственные часы» ($\omega\pi\alpha\iota \text{ } \iota\sigma\mu\epsilon\rho\iota\nu\alpha\iota$); равноденственный, или астрономический, час составляет $1/24$ часть суток и эквивалентен 15 временным градусам прямого восхождения.

3. Т.е. полюсов небесного экватора. О «первом движении» см. коммент. 28 к кн.1.

4. Речь идет о географической широте места, равной высоте полюса небесного экватора над горизонтом, или о ее дополнении — расстоянии полюса от точки зенита.

5. Таким образом здесь речь идет о максимально возможной величине дуги на горизонте между восходящими точками экватора и эклиптики.

6. У Гейберга 103;55,23 [Hei I 92, 11 и 8]; исправление Дж.Тумера [РА, р.77, п.11].

7. В настоящей главе речь идет об определении так называемой «амплитуды восхода» или «расстоянии восхода» (в латиноязычных источниках *ortive amplitude*, а в арабоязычных — «амплитуда востока»), т.е. величины дуги горизонта η от точки востока до восходящей точки эклиптики с известной долготой λ (в данном случае рассматривается восход точки зимнего солнцестояния). Сам Птолемей не употребляет термин «амплитуда» или «восходная амплитуда», а называет эту величину «дугой горизонта между экватором и эклиптикой».

Пусть на рис. 2.1 АЕГ — небесный экватор, ВЕД — горизонт, Е — точка востока на горизонте, Н — восходящая точка эклиптики с фиксированной долготой λ на данной географической широте φ , НЗ — круг склонений, проходящий через полюс небесного экватора Z и точку Н. Точка эклиптики Н и точка экватора Θ одновременно пересекут небесный меридиан АВГД при суточном обращении небесной сферы. Дуга $H\Theta = \delta(H)$ — склонение восходящей точки эклиптики Н, а дуга $HE = \eta$ — искомая дуга восходной амплитуды. Дуга ΘA небесного экватора (в градусном или часовом измерении) соответствует интервалу времени от восхода точки Н до момента ее верхней кульминации в меридиане АВЗГД. Дуга $2\Theta A = d$ соответствует продолжительности дня, дуга $2\Theta \Gamma$ — продолжительности ночи. Для определения искомой дуги $\eta = HE$ Птолемей применяет теорему Менелая. Он рассматривает полный сферический четырехсторонник АВЗНЕ Θ , в котором

$$\frac{\text{Crd } 2\Theta A}{\text{Crd } 2AE} = \frac{\text{Crd } 2\Theta Z}{\text{Crd } 2ZH} \frac{\text{Crd } 2HB}{\text{Crd } 2BE},$$

или, если перейти от хорд к синусам,

$$\frac{\sin \Theta A}{\sin AE} = \frac{\sin \Theta Z}{\sin ZH} \frac{\sin HB}{\sin BE}.$$

Поскольку на рис. 2.1 $AE = BE = \Theta Z = 90^\circ$, $\Theta A = d/2$, $ZH = 90^\circ - \delta(H)$, $HB = 90^\circ - \eta$, проведя вычисления, получим

$$\cos \eta = \cos \delta \sin (d/2); \quad (1)$$

для дня же зимнего солнцестояния, о котором в данном случае идет речь,

$$\cos \eta_0 = \cos \varepsilon \sin (M/2), \quad (1')$$

где M — максимальная продолжительность дня на данной широте φ , ε — угол наклона эклиптики к экватору, η_0 — максимальное значение амплитуды восхода, которое определяет Птолемей.

Птолемей применяет свой метод нахождения амплитуды восхода η_0 для широты Родоса ($\varphi = 36^\circ$), где самый длинный день равен $14\frac{1}{2}^h$, и с помощью указанной вычислительной процедуры находит $\eta_0 \approx 30^\circ$.

Все известные наблюдения Птолемея произведены в Александрии; в своем примере он, вероятно, использует для максимальной продолжительности дня данные Гиппарха, который работал на Родосе, хотя, возможно, эти данные восходят к Эратосфену, [SA, p.102].

8. В главе 3 решается задача об определении географической широты места φ по известной величине максимальной продолжительности дня M , а также обратная задача для частного случая широты Родоса ($\varphi = 36^\circ$). Обратная задача решается Птолемеем по правилу, эквивалентному формуле

$$-\cos(M/2) = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varepsilon. \quad (2)$$

Однако значение φ по M не может быть получено столь же просто вследствие отсутствия представлений о функции $\operatorname{tg} \varphi$. Соответственно Птолемей сначала находит

$$\cos \eta_0 = \cos \varepsilon \sin(M/2), \quad (3)$$

а затем

$$\sin \varphi = -\frac{\cos(M/2)}{\sin(M/2)} \frac{\cos \eta_0}{\sin \eta_0}. \quad (3')$$

Легко показать, что соотношения (3), (3') и (2) эквивалентны. Данные о широте могут быть использованы также непосредственно для нахождения амплитуды восхода в дни солнцестояний, согласно соотношению [НАМА, p.37–38]

$$\sin(90^\circ - \varphi) = \cos \varphi = \frac{\sin \varepsilon}{\sin \eta_0}. \quad (4)$$

9. В общем случае, когда восходящая точка эклиптики H имеет произвольную долготу λ , а продолжительность дня d и амплитуда восхода η имеют не предельные, а какие-то промежуточные значения, задача решается следующим образом. Пусть на рис. 2.1 широта φ измеряется дугой меридиана BZ . Рассмотрим полный сферический четырехсторонник $ZBA\Theta EH$, в котором, согласно теореме Менелая,

$$\frac{\sin E\Theta}{\sin \Theta A} = \frac{\sin EH}{\sin AB} \frac{\sin BZ}{\sin ZA},$$

или, если придерживаться введенных выше обозначений,

$$\frac{\sin(d/2 - 90^\circ)}{\sin[90^\circ - (d/2 - 90^\circ)]} = \frac{\sin \eta}{\sin(90^\circ - \eta)} \frac{\sin \varphi}{\sin 90^\circ},$$

откуда

$$\sin \varphi = -\frac{\cos \eta}{\sin \eta} \frac{\cos(d/2)}{\sin(d/2)} = -\operatorname{ctg} \eta \operatorname{ctg}(d/2). \quad (5)$$

Но как показано выше (см. формулу (1)), восходная амплитуда η может быть выражена через склонение δ восходящей точки эклиптики H , что в принципе позволяет исключить η из (5) и выразить широту непосредственно через продолжительность дня d и координаты восходящей точки эклиптики λ .

10. В точках эклиптики, симметричных относительно точек равноденствий, день равен ночи. Когда Солнце, пройдя точки равноденствия, окажется на таком же от

нее расстоянии, на котором было до прохождения этой точки, то продолжительность дня будет такой же, как продолжительность ночи в первом случае, а продолжительность ночи сравняется с продолжительностью дня.

11. Доказательство Птолемея можно проиллюстрировать при помощи рис. 2-А, где представлены, кроме экватора и эклиптики, также две суточные параллели на небесной сфере, одинаково отстоящие к северу и к югу от линии экватора. В точках пересечения параллели с эклиптической S_1 и S_2 (S_3 и S_4), симметричных относительно точек солнцестояний A и B , имеют место равенства «день = день» и «ночь = ночь», в точках эклиптики S_1 и S_4 (S_2 и S_3), симметричных относительно точек равноденствий, «день = ночь» и «ночь = день».

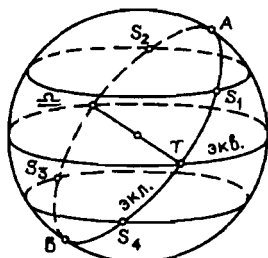


Рис. 2-А

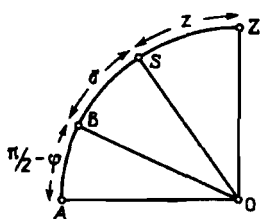


Рис. 2-В

12. Эта задача сводится к вычислению для данной географической широты момента времени, когда Солнце находится в зените. Пусть на рис. 2-В Z — зенит, AO — горизонт, BO — небесный экватор. В момент прохождения через меридиан в верхней кульминации в точке S Солнце имеет склонение δ . Его зенитное расстояние $SZ = z = \varphi - \delta$ ($AB = 90^\circ - \varphi$). Если Солнце, проходя через меридиан, находится в зените, то $z = 0$, и, следовательно, его склонение δ равно широте φ . Отсюда следует, что Солнце не может быть в зените в местностях, расположенных севернее тропика Рака и южнее тропика Козерога, так как максимальное склонение Солнца $\delta_{\max} = \varepsilon$. При $\delta = \varepsilon$ оно бывает в зените раз в году в момент летнего солнцестояния. Между тропиками, $|\varphi| < \varepsilon$, Солнце бывает в зените дважды в году. Уравнение $\delta(\lambda) = \varphi$ имеет два

решения: $\lambda_1 = \lambda(t_1)$ и $\lambda_2 = \lambda(t_2)$, соответствующие этим двум моментам времени [SA, p.105].

13. Отношение длины гномона к длине его полуденной тени в дни равноденствий и солнцестояний характеризует, согласно Птолемею, широту места наблюдения. Указанные величины могут быть теоретически рассчитаны по известной широте и углу наклона эклиптики к экватору, и наоборот, широту и угол наклона можно определить на основании измерений тени в указанные дни. Длину гномона Птолемей делит на 60 частей, согласно греческой традиции, но вавилоняне и поздние индийские астрономы полагали длину гномона равной 12 «пальцам», мусульманские астрономы — $6\frac{1}{2}$ или 7 «стопами». Гномон использовался также для определения высоты Солнца в произвольный момент. Вычисленные значения длины тени гномона в дни равноденствий и солнцестояний Птолемей приводит в следующей главе как характеристику климата, равносильную значению его широты φ и продолжительности его наибольшего дня M . Вычисления Птолемея равносильны соотношениям (рис.2.3)

$s_1 = GK = R \operatorname{tg}(\varphi - \varepsilon)$ — длина тени в день летнего солнцестояния,

$s_0 = GZ = R \operatorname{tg} \varphi$ — в дни равноденствий,

$s_2 = GN = R \operatorname{tg}(\varphi + \varepsilon)$ — в день зимнего солнцестояния при $R = 60^p$.

В главе 3 мы впервые встречаемся с концепцией «половинного градуса», многократно используемой в «Альмагесте» и связанной с особенностями тригонометрии хорд Птолемея. При определении в прямоугольном треугольнике длины стороны по противолежащему углу и гипотенузе, он всегда сначала мысленно описывает вокруг этого треугольника круг; гипотенуза вписанного треугольника равна диаметру круга, радиус которого считается равным 60^p . Если в треугольнике острый угол равен α , то ему соответствует центральный угол 2α . Однако вместо того, чтобы

просто удвоить величину α для перехода к таблице хорд, Птолемей всегда сначала выражает его в «градусах, которых в двух прямых углах содержится 360». В современной историко-научной литературе для обозначения подобных «половинных градусов» используется символ $^{\circ}$. Угол α° содержит $2\alpha^{\circ}$; именно такое число обычных градусов будет содержать дуга круга, соответствующая центральному углу α° . Соответствующая этому углу хорда в таблице гл. 11 кн. I даст значение стороны треугольника по отношению к гипотенузе, которая принята равной 120° .

14. Имеются в виду высота полюса (которая равна широте) и наклон эклиптики к экватору.

15. Исходя из трех рассмотренных выше параметров: продолжительности самого длинного дня M , географической широты места φ и длины полуденной тени гномона s_1, s_0, s_2 в дни солнцестояний и равноденствий, Птолемей делит ойкумену 39-ю параллелями на 38 зон. При переходе от одной зоны к следующей приращение продолжительности наибольшего дня составляет сначала $1/4$ равноденственного часа (до 25-й параллели), затем $1/2$ часа (от 25-й до 29-й), 1 час (от 29-й до 33-й), 1 месяц (от 34-й до 39-й).

На зсмном экваторе M равно 12 часам, день равен ночи, светила восходят перпендикулярно горизонту и их суточные круги делятся им пополам. Это — «прямая сфера» (*sphaera recta* в средневековой европейской астрономии). На всех других параллелях ($\varphi \neq 0$) светила восходят наклонно к горизонту в так называемой «наклонной сфере» (*sphaera obliqua*) и могут быть видимы или невидимы в зависимости от широты местности и времени года. Птолемей рассматривает области только к северу от экватора. По величине M определяется значение φ (см. коммент. 8), а зная φ и ϵ , можно определить и соответствующие значения длины полуденной тени гномона s_1, s_0, s_2 (см. коммент. 13). При описании климатов Птолемей следует традиции эллинистической географии, опираясь на труды Эратосфена, Страбона и своего непосредственного предшественника Марина Тирского [Рожанский, 1984, с.213–221; Berger, 1980; Honigmann, 1929].

Заметим, что деление на «климаты», восходящее к Пармениду, Аристотелю, Эратосфену (см. коммент. 17) менее строго, чем подход Птолемея, который исходил из проблем астрономии и гномоники, т.е. из математических соображений и расчетов.

16. Здесь и в некоторых других местах слово «наклонение» употребляется как синоним широты места, т.е. в данном случае речь идет о наклоне оси вращения или высоте полюса небесного экватора относительно плоскости горизонта.

17. Понятие «климата» (греческое *κλίμα*) появилось в античной географии в связи с традицией деления ойкумены на зоны по астрономо-географическому принципу в соответствии с продолжительностью самого длинного дня или изменением высоты Солнца в дни солнцестояний и равноденствий. Собственно «климат» представляет собой зону, ограниченную двумя географическими параллелями — малыми кругами земного шара, параллельными экватору. Число «климатов» различалось у разных авторов. Наибольшей известностью пользовалась традиция семи климатов — семи широтных зон, отсчитываемых к северу от экватора. Деление ойкумены на зоны или «климаты» восходит к глубокой древности и связано с именами Парменида, Аристотеля, Эратосфена, Гиппарха [Рожанский, 1979, с.197; 1984, с.177–178; Страбон, 1964, с.11, 21; НАМА, р.334–337; РА, р.82, п.20; СА, р.109].

Деление ойкумены на семь «климатов» было воспринято позднее на средневековом Востоке, в особенности учеными стран ислама [Крачковский, 1957; Honigmann, 1929].

18. Различают колюр равноденствий и колюр солнцестояний — большие круги небесной сферы, проходящие через полюсы небесного экватора и соответственно точки равноденствий и солнцестояний на эклиптике. Их определение приводит уже Евдокс [Manilius, 1894, S.117]. Птолемей в «Альмагесте» упоминает только о колюре солнцестояний. Слово «колюр» (*κόλουρος*) означает буквально «с отрезанным хвостом», т.е. видимый частично. На экваторе же любой большой круг, проходящий через полюсы небесного экватора, виден полностью и поэтому не может называться колюром.

19. Остров Тапробана — название острова Цейлон (совр. остров Шри-Ланка) в эллинистической географии. Упоминается также в «Географии» Птолемея.
20. Авалитский залив — часть Аденского залива у выхода из Красного моря в месте расположения средневекового города Зейла к югу от современного Джибути.
21. У Гейберга [Hei I 108,13] $16\frac{1}{2}\frac{1}{3}$, но в других рукописях — $16\frac{1}{2}\frac{1}{12}$; вычисления дают 16;34,28 [РА, р.84, п.28].
22. Адулийский залив — современный Зулусский залив Красного моря. Адула — древний город на эфиопском берегу Красного моря.
23. Область Мероэ — не остров в точном смысле слова, а область в Судане, ограниченная Белым и Голубым Нилом (античное название Астопус) и рекой Атбара (античное название Астаборас) и некоторыми из их притоков. Вычисленное значение длины тени в зимнее солнцестояние — 50;53,4 [РА, р.84, п.30, 31].
24. Напата — современный город Джебел Баркал близ Мероэ в Судане.
25. Вычисленное значение для равноденственной тени 22;6,7; для тени в день зимнего солнцестояния 58;5,55. В обоих случаях ошибка, вероятно, вкралась за счет того, что в вычислениях была принята дробь $\frac{1}{6}$ вместо $\frac{1}{10}$ [РА, р.85, п.33].
26. Сиена — современный город Асуан в Египте. Вычисленное значение широты 23;48,20 [РА, р.85, п.34, 35].
27. Гермиева Птолемеида в Фиваиде — основанный Птолемеями город Гермейон в Нижнем Египте.
28. У Гейберга $36\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ [Hei I 108, 13] — явно ошибочное значение; другие рукописи дают $30\frac{1}{2}\frac{1}{3}$; вычисленное значение 30;48,36 [РА, р.85, п.38].
29. Так у Гейберга [Hei I 108,20]; другие рукописи дают 83;12; вычисленная величина 83;10,39 [РА, р.85, п.39].
30. Это значение также неточно. Для величины $M = 14\frac{1}{4}^h$ тени составляют соответственно 39;23 (а не $39\frac{1}{2}$) и 92;52,51 (а не $93\frac{1}{12}$) [РА, р.86, п.40].
31. У Гейберга $43\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ [Hei I 109,9]; исправление К.Манициуса, принятое у Дж.Тумера [НА I, 75; РА, р.86, п.41].
32. Геллеспонт — пролив Дарданеллы. При $M = 15^h$ значение широты равно не 40;56, как в тексте, а 40;52,21. Значения же длин тени здесь как будто вычислены для $\varphi = 41^\circ$ [РА, р.86, п. 42].
33. Так у Гейберга [Hei I 110,3], однако Дж.Тумер исправляет это значение на 43;1 [РА, р.86, п.43].
34. Массалия — современный Марсель.
35. У Гейберга 144 [Hei I 110,6] — ошибочное значение; другие рукописи дают $140\frac{1}{4}$; вычисленное значение 140;31,31 [РА, р.86, п.45].
36. Имеется в виду Понт Евксинский — так называлось Черное море в греческих географических сочинениях.
37. Вычисленное значение 155;10,32. Вероятно, здесь, как и в предыдущем случае (см. коммент. 29), следует читать не $155\frac{1}{12}$, а 155;12 [РА, р.86, п.47].
38. Истр — название реки Дунай в греческих географических сочинениях.
39. Борисфен — название реки Днепр.
40. Эти значения длин тени гномона соответствуют широте $\varphi = 48;30^\circ$. Вычисленное значение длины тени для зимнего солнцестояния — 188;44,49 [РА, р.87, п.50].
41. Меотидское озеро — название Азовского моря.
42. Возможное значение длины тени в день зимнего солнцестояния не $208\frac{1}{3}$, а 208;3 [РА, р.87, п.53].
43. У Гейберга $51\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ [Hei I 111,13]; другие рукописи дают $51\frac{1}{2}$; вычисленное значение: 51;28,54; исправление К.Манициуса, принятое Дж.Тумером [РА, р.87, п.54].
44. Для широты, указанной в тексте, т.е. $\varphi = 52;50^\circ$, вычисленная длина зимней тени равна 253;35,53. У Птолемея — $253\frac{1}{6}$, т.е. 253;10 [РА, р. 87, п.55].
45. У Гейберга 54;30 [Hei I 112,3]; исправлено К.Манициусом на 54;1 [НА I, 77]; вычисленное значение 54;0,18 [РА, р.87, п.56].

46. Танаис — название реки Дон в греческих географических сочинениях. Значение широты его устья указано ошибочно и в «Альмагесте», и в «Географии» Птолемея.

47. Продолжительность самого длинного дня в $17\frac{1}{4}$ часа соответствует широте $\varphi = 55;7,16^\circ$ [РА, р.88, п.58].

48. Великой и Малой Британией греческие географы называли два острова — Британию и Ирландию. Город Бригантий на территории Британии не обнаружен. Возможно, это название относится к центру расселения племени бригантов, о котором Птолемей упоминает в «Географии» [РА, р.88, п.59].

49. Катурактоний в Британии — современный Каттерик на территории графства Йоркшир.

50. У Гейберга $39\frac{1}{3}$ [Hei I 113,4]; в других рукописях, однако, находим $39\frac{1}{6}$; вычисления для $\varphi = 57^\circ$ дают $39;10,48$ [РА, р.88, п.61].

51. У Гейберга $372\frac{1}{12}$ [Hei I 113,5]; исправлено Дж. Тумером на $372\frac{2}{3}$ [РА, р.88, п.61].

52. Такая величина содержится в рукописях, однако вычисленное значение длины зимней тени для широты $\varphi = 58^\circ$ составляет $419;15,1$ [РА, р.88, п.64].

53. Согласно Птолемею, Эбудские острова — это, по-видимому, Гебридские, которые он поместил к северу от Ирландии [РА, р.89, п.65].

54. Островом Фуле (Θούλης) или Фулу (по другим прочтениям — Туле) Птолемей, как это следует из его «Географии» [Nobbe II, 3.32], по всей вероятности, называл северную часть Шотландии. Марин Тирский считал его северной границей ойкумены, лежащей приблизительно на 63-м градусе северной широты [Рожанский, 1984, с.215]. Впервые это название появляется у знаменитого греческого морехода Пифея из Массалии, некоторые сведения которого дошли до нас в пересказе Страбона. Пифей сообщает, что к северу от Британии находится остров Фуле, расположенный «вблизи замерзшего моря» [Страбон, 1964, с.69]. Относительно этого мифического острова и его идентификации с современными географическими пунктами существует обширная литература. В частности, его пытались отождествлять с самым крупным из Шетландских островов, с побережьем Норвегии и даже с Шотландией, но аргументы в пользу каждого из этих предположений нельзя считать достаточно вескими [Рожанский, 1984, с.183; Hennig, 1936, I, S.119–124, 129–135].

55. Гл.15 кн.I.

56. Глава 7 посвящена одной из важнейших проблем эллинистической и средневековой сферической астрономии — определению «времен восхода», или «восхождений в наклонной сфере» дуг эклиптики на данной широте. Задача состоит в следующем: для данной дуги эклиптики, ограниченной долготами λ_1 и λ_2 , требуется найти дугу небесного экватора, измеренную в часах или временных градусах, пересекающую одновременно с ней горизонт на данной географической широте φ . Задача, очевидно, будет иметь более простое решение, если рассмотреть частный случай, когда один из концов дуги эклиптики совпадает с точкой весеннего равноденствия ($\lambda_1 = 0$). Время восхода $\rho(\lambda)$ дуги эклиптики λ (НЛ на рис. 2-С) определяется дугой экватора НЕ, восходящей одновременно с дугой эклиптики. При этом время восхода произвольной дуги эклиптики $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ будет равно $\rho(\Delta\lambda) = \rho(\lambda_2) - \rho(\lambda_1)$ на данной географической широте φ . Таким образом, задача сводится к предвычислению значений функции $\rho(\lambda)$ для различных λ и φ .

Птолемей решает задачу в табличном виде, определяя значения $\rho(\lambda)$ через 10° изменения долготы для 11 значений географической широты от $\varphi = 0^\circ$ (прямая сфера) до $\varphi = 54;1^\circ$ (таблица значений функции приведена в гл.8). Предварительно он доказывает соотношения симметрии, позволяющие свести вычисление $\rho(\lambda)$ к ее значениям при $0 \leq \lambda \leq 90^\circ$:

1) времена восхода равных дуг эклиптики, расположенных симметрично относительно точек равноденствий, равны;

2) сумма времен восхода двух дуг эклиптики, расположенных симметрично относительно точек солнцестояний, равна сумме времен восхода этих же дуг в прямой сфере.

Вычисления Птолемей производит двумя различными способами. Пусть на рис. 2-С ВД — линия горизонта, АЕГ — небесный экватор, ЗНЛΘ — эклиптика, Н — точка весеннего равноденствия, К — полюс небесного экватора. Искомая дуга $\rho(\lambda) = \text{ЕН}$, восходящая на горизонте одновременно с дугой эклиптики $\lambda = \text{НЛ}$. Дуга ЕН определяется как разность дуг НМ и ЕМ, т.е. $\text{ЕН} = \text{НМ} - \text{ЕМ}$. Дуга НМ есть дуга небесного экватора, отсчитываемая от точки весеннего равноденствия Н до точки его пересечения с перпендикулярным ему кругом склонения КМ, проходящим через точку Л эклиптики, т.е., по определению, есть не что иное как прямое восхождение $\alpha(\lambda)$ точки Л. Дуга ЕМ = $\Delta\alpha$ (n_2 , согласно обозначению, принятому в НАМА) представляет собой разность дуг НМ и НЕ, т.е. $\Delta\alpha = \alpha - \rho(\lambda)$, откуда

$$\rho(\lambda) = \alpha(\lambda) - \Delta\alpha(\lambda). \quad (6)$$

Задача, таким образом, сводится к определению величины $\text{ЕМ} = \Delta\alpha(\lambda)$ при заданном значении прямого восхождения $\alpha(\lambda)$. В средневековой астрономии стран ислама величина $\text{ЕМ} = \Delta\alpha$ называлась «уравнением дня», а в средневековой европейской астрономии — «разностью восхождений».

Для определения дуги ЕМ Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник ЕГКЛ, в котором, согласно теореме Менелая,

$$\frac{\text{Crd } 2\Theta\text{K}}{\text{Crd } 2\Theta\Gamma} = \frac{\text{Crd } 2\text{KL}}{\text{Crd } 2\text{LM}} \frac{\text{Crd } 2\text{EM}}{\text{Crd } 2\text{EF}}$$

или, если перейти от хорд к синусам,

$$\frac{\sin \Theta\text{K}}{\sin \Theta\Gamma} = \frac{\sin \text{KL}}{\sin \text{LM}} \frac{\sin \text{EM}}{\sin \text{EF}},$$

но так как $\Theta\text{K} = \varphi$, $\Theta\Gamma = 90^\circ - \varphi$, $\text{LM} = \delta$, $\text{KL} = 90^\circ - \delta$, $\text{EF} = 90^\circ$, то выражение принимает вид

$$\frac{\sin \varphi}{\sin (90^\circ - \varphi)} = \frac{\sin (90^\circ - \delta)}{\sin \delta} \sin \text{ЕМ},$$

откуда

$$\sin \text{ЕМ} = \sin \Delta\alpha = \text{tg } \varphi \text{ tg } \delta. \quad (7)$$

Этот результат можно получить и проще — из прямоугольного сферического треугольника ЕАМ с прямым углом М и углом в Е, измеряемым дугой $\Delta\Gamma = 90^\circ - \varphi$. В этом треугольнике $\sin \Delta\alpha = \sin \text{ЕМ} = \text{tg } \delta \text{ tg } \varphi$. Таким образом,

$$\rho(\lambda) = \alpha(\lambda) - \arcsin (\text{tg } \delta \text{ tg } \varphi). \quad (8)$$

Отсюда следует, что при $\Delta\alpha = 0$, т.е. на земном экваторе,

$$\rho(\lambda) = \alpha(\lambda).$$

Второй метод Птолемея для определения величины $\Delta\alpha$ позволяет использовать вместо широты φ продолжительность наибольшего дня М на данной широте. Пусть на рис. 2-Д VEAG — небесный экватор с полюсом N, EHF — горизонт, VHC — эклиптика, V — точка весеннего равноденствия, С — точка зимнего солнцестояния, Н — восходящая точка эклиптики с долготой λ ,

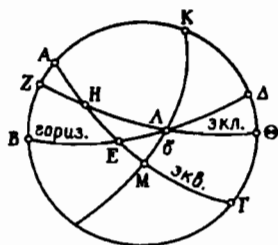


Рис. 2-С

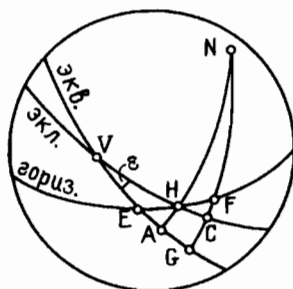


Рис. 2-Д

$AH = \delta$ — ее склонение, F — точка пересечения круга склонения, проходящего через точку солнцестояния C , с горизонтом; ε — угол наклона эклиптики к экватору. Тогда дуга $\rho(\lambda) = VE = VA - EA = \alpha(\lambda) - \Delta\alpha(\lambda)$, где $\alpha(\lambda) = VA$ — прямое восхождение, а $\Delta\alpha(\lambda) = EA$ — искомая «разность восхождений». Согласно теореме Менелая для полного сферического четырехсторонника $EGNH$

$$\frac{\text{Crd } 2EG}{\text{Crd } 2EA} = \frac{\text{Crd } 2FG}{\text{Crd } 2FN} \frac{\text{Crd } 2HN}{\text{Crd } 2AH}$$

или, если перейти от хорд к синусам,

$$\frac{\sin EG}{\sin EA} = \frac{\sin FG}{\sin FN} \frac{\sin HN}{\sin AH}.$$

Но $FG = \varepsilon$, $FN = 90^\circ - \varepsilon$, $AH = \delta$, $HN = 90^\circ - \delta$, $EG = M - 90^\circ$. Поэтому

$$\frac{\sin (M/2 - 90^\circ)}{\sin \Delta\alpha} = \frac{\sin \varepsilon}{\sin (90^\circ - \varepsilon)} \frac{\sin (90^\circ - \delta)}{\sin \delta},$$

откуда

$$\sin EA = \sin \Delta\alpha = -\cos (M/2) \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varepsilon. \quad (9)$$

Учтя (7), получим соотношение (2):

$$-\cos (M/2) = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varepsilon, \quad (10)$$

эквивалентное вычислительной процедуре, с помощью которой Птолемей, используя теорему Менелая, находит наибольшую продолжительность дня M по известной географической широте φ [НАМА, р.36–37].

57. См. с. 33.

58. Клепнями ($\chi\eta\lambda\alpha\iota$) Птолемей называет созвездие (а иногда и знак Зодиака) Весов. В таблицах, однако, он всегда использует привычное нам название — Весы ($\zeta\upsilon\gamma\acute{o}\varsigma$). Эта терминологическая сложность связана с историей греческого Зодиака, который первоначально содержал только 11 созвездий: место Весов занимали Клепни, которые считались частью созвездия Скорпиона.

59. $27;50 \times 2 - 19;12^\circ = 36;28^\circ$.

60. См. с. 33.

61. Таблица «времен восхода» дуг эклиптики в наклонной сфере состоит из 11 частей. Каждая из них соответствует определенной географической широте, которая задается продолжительностью наибольшего дня (основной параметр) и высотой полюса небесного экватора над горизонтом. Продолжительность наибольшего дня M в этих таблицах изменяется от 12^h (прямая сфера) до 17^h с интервалом $1/2^h$. Первый столбец каждой из частей таблицы содержит значения долгот λ_i ($i = 1, \dots, 36$) с интервалом 10° по три значения на каждый знак зодиака; второй столбец — времена восхода соответствующих 10 -градусных интервалов $\rho(\Delta\lambda) = \rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_i)$; третий столбец — суммарное значение времен восхода $\rho(\lambda_i)$ дуги эклиптики от 0° до λ_i на данной географической широте. Промежуточные значения функции $\rho(\lambda)$ должны вычисляться линейной интерполяцией. Примеры вычисления времен восхода дуг эклиптики как функции φ и λ , произведенные по этим таблицам, см. в коммент. 26 и 70 к кн.IV и коммент. 12 и 110 к кн.V.

Первая часть рассматриваемой таблицы вычислена для $\varphi = 0^\circ$ (в прямой сфере); третий столбец в ней содержит значения прямых восхождений $\alpha(\lambda)$ дуг эклиптики при изменении долготы от 0° до λ_i через 10° . Примеры вычисления прямого восхождения $\alpha(\lambda)$ по известной долготе Солнца с помощью указанной таблицы см. в коммент. 31 и 50 к кн.IV.

62. В главе 9 рассматривается цикл проблем, посвященных определению астрономического и сезонного времени.

Равноденственный час есть величина постоянная, составляющая $1/24$ часть суток и соответствующая 15° небесного экватора. Продолжительность же сезонного часа (ώραи каиркай) изменяется в течение года. По определению это $1/12$ часть светлого времени суток (если речь идет о дневных часах). Максимальной величины она достигает в день летнего солнцестояния, минимальной — в день зимнего солнцестояния (соответственно в южном полушарии все наоборот). В дни равноденствий продолжительность сезонного часа совпадает с величиной равноденственного часа. Кроме того, эти величины совпадают на земном экваторе, где продолжительность дня и ночи равна всегда 12 часам.

Существует простая зависимость между продолжительностью светлого времени суток (а следовательно, и сезонного часа) и временами восхода дуг эклиптики на данной географической широте. Пусть в данный день Солнце находится на эклиптике в точке H и имеет долготу λ . При восходе Солнца точка H находится в восточной части горизонта, при заходе Солнца восходит точка $\bar{H} = H + 180^\circ$ эклиптики, тогда как H заходит. Мы пренебрегаем при этом собственным движением Солнца по эклиптике. Очевидно, что время от восхода до захода H определяет продолжительность дня, и оно равно времени восхода дуги $H\bar{H}$ эклиптики. Выше показано, что время восхода дуги эклиптики AB определяется соотношением $\rho(BA) = \rho(A) - \rho(B)$, в случае если $\lambda(A) > \lambda(B)$. Соответственно продолжительность дня будет равна

$$d(\lambda) = \rho(\lambda + 180^\circ) - \rho(\lambda), \quad (11)$$

где $d(\lambda)$ — продолжительность светлого времени суток, выраженная во временных градусах. Таким образом, величину $d(\lambda)$ можно вычислить, пользуясь таблицами гл.8. При этом число равноденственных часов в дне определяется как $\frac{d(\lambda)}{15^\circ}$, а длина одного сезонного часа как

$$\frac{d(\lambda)^\circ}{12} = \left[\frac{d(\lambda)}{180^\circ} \right]^h. \quad (12)$$

Примеры вычислений см. в коммент. 26 и 70 к кн.IV.

63. Продолжительность сезонного часа можно получить, не вычисляя величину $d(\lambda)$, в виде

$$1^h = \left[\frac{d(\lambda)}{12} \right]^\circ = 15^\circ + \frac{1}{6} [\alpha(\lambda) - \rho(\lambda)]^\circ \quad (12')$$

по известной долготе Солнца λ , где выражение в скобках определяет «разность восхождения», о которой речь шла выше [НАМА, р.41].

64. Зная продолжительность сезонного часа $\left(\frac{d(\lambda)}{12} \right)$ для определенной даты (а если известна дата, то известна также долгота Солнца λ), время суток (определяемых как число t сезонных часов, прошедших после восхода Солнца) и географическую широту φ , можно определить долготу восходящей в этот момент точки эклиптики $\lambda(H)$. Последняя известна в эллинистической астрологии под названием *гороскопа* или *асцендента*. Интервал после восхода Солнца до рассматриваемого момента определится как $\frac{d(\lambda)}{12} t$ временных градусов. От момента восхода точки весеннего равноденствия до момента восхода Солнца прошло $\rho(\lambda)$ временных градусов, а до восхода точки H соответственно

$$\rho(\lambda) + \frac{d(\lambda)}{24} t \quad (13)$$

временных градусов. Но последняя величина есть, по определению, время восхода точки эклиптики H , т.е.

$$\rho(H) = \rho(\lambda) + \frac{d(\lambda)}{12} t. \quad (13')$$

Отсюда по величине $\rho(H)$ при помощи таблицы времен восхода может быть найдена соответствующая величина $\lambda(H)$ при известной φ . Примеры вычислений см. в [НАМА, р.41–42].

65. Последняя задача этой главы — определение долготы λ кульминирующей точки эклиптики M по известной широте места φ и времени t . Птолемей рассматривает два случая.

1) Дано значение $\lambda(H)$ — долготы восходящей точки эклиптики H . Требуется определить $\lambda(M)$. Пусть на рис. 2-Е изображена стереографическая проекция небесной сферы на плоскость небесного экватора, где V — точка весеннего равноденствия, $CE = 90^\circ$ и $VE = \rho(H)$. Тогда прямое восхождение точки M определится выражением $\alpha(M) = VC = VE - CE = \rho(H) - 90^\circ$. Зная $\alpha(M)$, по таблицам гл.8 для прямого восхождения можно найти $\lambda(M)$.

2) Пусть задан момент времени t (а это означает, что известна также долгота Солнца λ) и интервал времени τ между этим моментом и полднем в сезонных или равноденственных часах, эквивалентный в градусном измерении дуге DC (рис. 2-Е). По таблицам гл.8 находим значение прямого восхождения Солнца $\alpha(\lambda) = VD$. По значению $\alpha(\lambda)$ определится прямое восхождение кульминирующей точки эклиптики M : $\alpha(M) = \alpha(\lambda) - DC$. Определив его, можно, воспользовавшись теми же таблицами, найти значение $\lambda(M)$ [НАМА, р. 41–42].

Аналогичным образом проводится и обратная операция: определение долготы восходящей точки $\lambda(H)$ по известному значению долготы кульминирующей точки $\lambda(M)$. Примеры вычисления $\lambda(M)$ по известным φ , λ и τ см. в коммент. 12, 108 и 110 к кн.V.

66. Т.е. точкой зенита.

67. Углы между эклиптикой и меридианом определить легче, поскольку они не зависят от географической широты, а являются функцией только долготы точки пересечения эклиптики с меридианом. Птолемей определяет эти углы для 12 значений долготы, соответствующих началам знаков зодиака. Предварительно он доказывает два соотношения симметрии: 1) углы в точках эклиптики, симметричных относительно точек равноденствий, равны; 2) сумма углов в точках, симметричных относительно солнцестояний, равна 180° . Затем он доказывает, что угол между эклиптикой и меридианом равен 90° в точках солнцестояний и $90^\circ \pm \epsilon$ в точках равноденствий. В общем случае, когда кульминирующая точка эклиптики M имеет произвольную долготу $\lambda(M)$, применяется, как обычно, теорема Менелая.

Пусть на рис. 2-Ф CFE — небесный экватор, $MF\Theta$ — эклиптика, M — кульминирующая точка эклиптики, которая служит полюсом большого круга $K\bar{K}$, проходящего через точку востока экватора E , представляющую собой полюс меридиана $KM\bar{C}\bar{K}$. Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник $M\bar{C}\bar{K}\Theta EF$, в котором, согласно теореме Менелая,

$$\frac{\sin MC}{\sin C\bar{K}} = \frac{\sin MF}{\sin F\Theta} \frac{\sin \Theta E}{\sin E\bar{K}}$$

или

$$\frac{\sin \delta}{\sin (90^\circ - \delta)} = \frac{\sin [180^\circ - \lambda(M)]}{\sin [90^\circ - (180^\circ - \lambda(M))]} \frac{\sin \Theta E}{\sin 90^\circ},$$

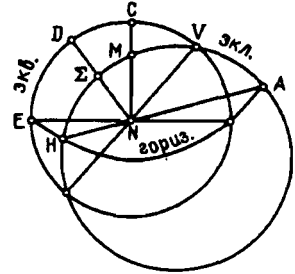


Рис. 2-Е

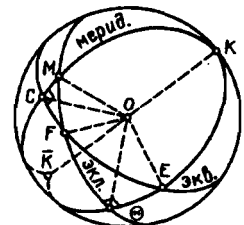


Рис. 2-Ф

что равносильно соотношению

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \lambda(M) \sin \Theta E,$$

откуда

$$\sin \Theta E = \operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \lambda(M). \quad (14)$$

Искомый угол в $M (= \widehat{KM\Theta})$ измеряется дугой $K\Theta$ большого круга $\overline{KK}$, равной $90^\circ + \Theta E$.

Птолемей вычисляет в общем случае искомый угол для двух значений долготы $\lambda(M) = 30^\circ$ и 60° . Все остальные значения определяются по этим двум на основе доказанных выше соотношений симметрии. Для удобства приведем в табличном виде полученные Птолемеем значения угла между эклиптической и меридианом для 12 значений долготы $\lambda(M)$ [НАМА, р.47–48]:

0° Овна	66;9°	
0° Тельца	69;0	0° Рыб
0° Близнецов	77;30	0° Водолея
0° Рака	90;0	0° Козерога
0° Льва	102;30°	0° Стрельца
0° Девы	111;0	0° Скорпиона
	113;51	0° Весов

68. Значения углов между эклиптической и горизонтом определяются, как и в предыдущем случае, для двенадцати точек эклиптики — начальных точек знаков зодиака — при фиксированном значении широты. Предварительно Птолемей доказывает соотношения симметрии: 1) точки эклиптики, симметрично расположенные относительно точек равноденствий, образуют с горизонтом равные углы; 2) углы при восходящей и заходящей точках эклиптики составляют в сумме 180° ; 3) точки эклиптики, симметричные относительно точек солнцестояний, при восходе и заходе образуют углы, в сумме равные 180° . После этого Птолемей определяет искомые углы ν для наиболее простого случая, когда восходят или заходят точки равноденствий ($\lambda = 0^\circ$ или 180°); в этом случае угол между эклиптической и горизонтом $\nu = 90^\circ - \varphi + \epsilon$.

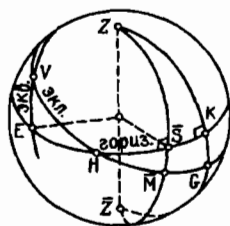


Рис. 2-G

В общем случае рассуждения Птолемея сводятся к следующему. Пусть на рис. 2-G точка H эклиптики $VHMG$, имеющая долготу λ , находится на линии горизонта $EH\bar{S}K$. Проведем круг высоты $ZKG\bar{Z}$, для которого точка H является полюсом. Требуется определить дугу KG этого круга высоты, измеряющую искомый угол KHG . Точка E небесного экватора VE восходит на горизонте одновременно с H . Проведем круг высоты $Z\bar{S}M\bar{Z}$, являющийся одновременно кругом склонения, для которого точка E — полюс. Тогда точка M пересечения этого круга с эклиптической есть точка нижней кульминации эклиптики; так как мы можем определить по известной долготе H долготу кульминирующей точки M эклиптики, то мы также знаем долготу точки $\bar{M} = M + 180^\circ$, находящейся в нижней кульминации. Искомая дуга KG определяется с помощью теоремы Менелая для полного сферического четырехсторонника $ZKGMH\bar{S}$ с вершиной в точке G , которая имеет вид

$$\frac{\sin ZK}{\sin KG} = \frac{\sin Z\bar{S}}{\sin S\bar{M}} \frac{\sin H\bar{M}}{\sin HG}.$$

Так как дуги $ZK = Z\bar{S} = HG = 90^\circ$, то это выражение примет вид

$$\frac{1}{\sin KG} = \frac{1}{\sin \bar{SM}} \frac{\sin \bar{HM}}{1},$$

откуда получаем

$$\sin KG = \frac{\sin \bar{SM}}{\sin \bar{HM}}.$$

Но дуга $\bar{HM} = \lambda(M + 180^\circ) - \lambda(H)$, а дуга $\bar{SM} = (90^\circ - \varphi) - \delta(M)$. Входящие в эти выражения величины — долгота кульминирующей точки и ее склонение — могут быть определены согласно правилам, объясненным выше.

В качестве примера Птолемей проводит вычисления для $\lambda(H) = 30^\circ$.

Углы между эклиптической и горизонтом не табулированы в «Альмагесте» в явном виде. Однако они могут быть легко получены при помощи таблицы в гл.13, где в столбцах, озаглавленных «углы восточные», для каждой широты приведены углы между эклиптической и кругом высоты, проходящим через точку восхода H эклиптики. Так как круг высоты перпендикулярен горизонту, то мы получим угол между эклиптической и горизонтом, вычитая 90° из приведенных величин «восточных углов». Мы приводим здесь таблицу углов между эклиптической и горизонтом, вычисленную О.Нейгебауэром [НАМА, р.47] указанным методом на основании табличных данных «Альмагеста».

Климат	M	φ	Овен	Телец Рыбы	Близнецы Водолей	Рак Козерог	Лев Стрелец	Дева Скорпион	Весы
I Мероэ	13 ^h	16;27°	49;42	52;9	59;51	71;57	84;51	94;9	97;24
II Сиена	13½	23;51	42;18	44;41	51;53	63;46	76;53	86;41	90;0
III Нижний Египет	14	30;22	35;47	37;55	44;49	56;28	69;49	79;55	83;29
IV Родос	14½	36	30;09	32;07	38;36	50;01	63;36	74;7	77;51
V Геллеспонт	15	40;56	25;13	26;59	33;06	44;16	58;06	68;59	72;55
VI Средний Понт	15½	45; 1	21;08	22;43	28;25	39;21	53;25	64;43	68;50
VII Борисфен	16	48;32	17;37	19;22	24;20	34;58	49;20	61;22	65;19

Примеры определения углов γ между эклиптической и горизонтом по таблицам Птолемея см. в коммент. 94, 103, 104, 113 к кн. XIII.

Методы определения угла наклона эклиптики к горизонту сыграли большую роль в истории астрономии мусульманского Востока, так как использовались для определения первой видимости молодого месяца — неомении, необходимого этапа в вычислениях, связанных с мусульманским календарем. Этой проблеме посвящены специальные разделы практически всех зиджей IX–XVII вв. Сама же проблема определения первой видимости молодого месяца играла важную роль еще в древнеавилонской астрономии. Возможно, это обстоятельство оказало влияние и на структуру «Альмагеста» [SA, p.116–118].

69. Т.е. параллелью, проходящей через Родос.

70. См. с.56–57; соответствующая величина для верхней кульминации вычислена в [НАМА, р.42].

71. См. с.57–58.

72. См. с.58.

73. Вначале Птолемей рассматривает частный случай, когда одна из точек солнцестояния проходит через меридиан. Пусть на рис. 2-Н ATB — эклиптика, ZT — меридиан, T — точка солнцестояния, находящаяся на меридиане, A и B — точки эклиптики, равноотстоящие от T ($TA = TB$) и расположенные на симметричных

меридиану кругах высоты, которые составляют с эклиптической соответственно углы α и β . Легко показать, что $\alpha + \beta = 180^\circ$.

74. Суть рассуждений Птолемея сводится к следующему. Пусть на рис. 2-1 AMB — небесный экватор, ZM — меридиан, P_1 и P_2 — точки эклиптики, симметричные относительно меридиана, NP_1 и NP_2 — круги склонения точек P_1 и

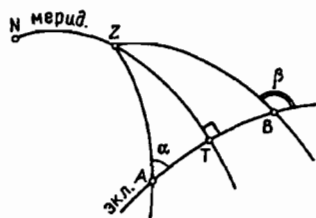


Рис. 2-Н

P_2 , P_1Z и P_2Z — соответствующие точкам P_1 и P_2 круги высоты. Пусть γ — угол между эклиптической и меридианом, если точка P лежит на меридиане, α — угол между эклиптической и кругом высоты в точке P_1 , β — угол между эклиптической и кругом высоты в точке P_2 . Птолемей доказывает, что $\alpha + \beta = 2\gamma$ независимо от широты места φ .

75. При рассмотрении общего случая Птолемей вначале определяет: 1) кульминирующую, 2) восходящую точки эклиптики, а затем 3) зенитное расстояние исходной точки P . Рассмотрим его действия подробнее.

1) Пусть на рис. 2-К $ZCMS$ — меридиан, P — данная точка эклиптики с долготой λ , M — кульминирующая точка эклиптики. Для того чтобы определить ее эклиптическую долготу по известной долготы λ точки P и интервалу времени t^h (выраженному в часах) от данного момента до момента, когда P окажется в меридиане благодаря суточному вращению небесной сферы, следует к прямому восхождению точки P прибавить величину $15^\circ t^h$; то, что получится, будет прямым восхождением точки M , т.е. $\alpha(M) = \alpha(P) + 15^\circ t^h$. По известной величине $\alpha(M)$ можно в соответствии с данными таблицы

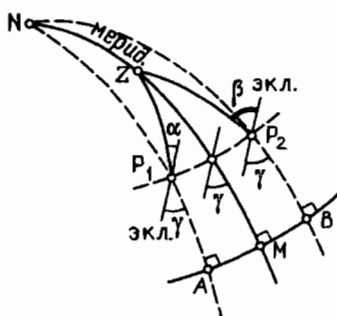


Рис. 2-И

времен восхода в прямой сфере (гл.8) определить $\lambda(M)$.

2) Для определения долготы восходящей точки эклиптики H на географической широте φ сначала определяется время восхода этой точки $\rho(H) = \lambda(M) + 90^\circ$. Затем по известному значению $\rho(H)$ можно по таблице времен восхода для соответствующего значения φ (гл.8) определить $\lambda(H)$.

3) Для определения зенитного расстояния z точки P Птолемей применяет теорему Менелая. Пусть на рис. 2-К и 2-Л (он представляет часть рис. 2-К) P — данная, M — кульминирующая и H — восходящая точки эклиптики. Рассматривается полный сферический четырехсторонник $ZMSAHP$, в котором, согласно теореме Менелая,

$$\frac{\text{Crđ } 2MS}{\text{Crđ } 2SZ} = \frac{\text{Crđ } 2MH}{\text{Crđ } 2PH} \frac{\text{Crđ } 2PA}{\text{Crđ } 2ZA}$$

или, если перейти от хорд к синусам,

$$\frac{\sin MS}{\sin SZ} = \frac{\sin MH}{\sin PH} \frac{\sin PA}{\sin ZA}.$$

Но так как дуги $SZ = ZA = 90^\circ$, $MS = 90^\circ - [\varphi - \delta(M)]$, $MH = \lambda(H) - \lambda(M)$, $PH = \lambda(H) - \lambda(P)$, то высота h точки P определится из соотношения

$$\cos [\varphi - \delta(M)] = \frac{\sin [\lambda(H) - \lambda(M)]}{\sin [\lambda(H) - \lambda(P)]} \sin h(P),$$

откуда

$$\sin h(P) = \frac{\cos [\varphi - \delta(M)] \sin [\lambda(H) - \lambda(P)]}{\sin [\lambda(H) - \lambda(M)]}.$$

Зенитное расстояние точки P , т.е. дуга $PZ = 90^\circ - PA = 90^\circ - h(P)$.

Пример вычисления зенитного расстояния согласно методике Птолемея см. в коммент. 109 к кн.V.

Определив зенитное расстояние Z данной точки эклиптики P в известный момент времени t , Птолемей приступает наконец к вычислению угла между эклиптикой и кругом высоты P , который находит опять-таки при помощи теоремы Менелая.

На рис. 2-М, который представляет собой часть рис. 2-К, вокруг P , как вокруг полюса, проведем большой круг небесной сферы $K\Lambda$. Рассмотрим образованный с

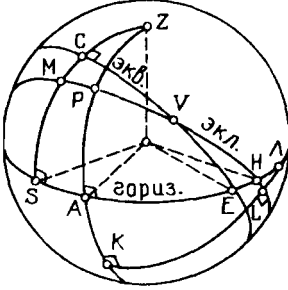


Рис. 2-К

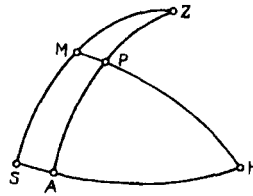


Рис. 2-L

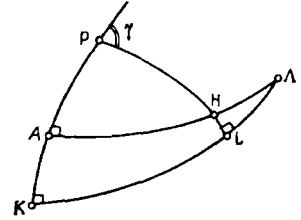


Рис. 2-М

помощью дуги $K\Lambda$ полный сферический четырехсторонник $PKL\Lambda H$, в котором, согласно теореме Менелая,

$$\frac{\text{Crd } 2PA}{\text{Crd } 2AK} = \frac{\text{Crd } 2PH}{\text{Crd } 2HL} \frac{\text{Crd } 2L\Lambda}{\text{Crd } 2K\Lambda}$$

или, если перейти к синусам,

$$\frac{\sin PA}{\sin AK} = \frac{\sin PH}{\sin HL} \frac{\sin L\Lambda}{\sin K\Lambda} \quad (15)$$

Здесь $K\Lambda = 90^\circ$, $AK = 90^\circ - PA$, где $PA = h$ — высота точки P , определенная выше, $HL = 90^\circ - PH$, где $PH = \lambda(H) - \lambda(P)$ — величина, также определенная выше, и выражение (15) примет вид

$$\frac{\sin PA}{\cos PA} = \frac{\sin [\lambda(H) - \lambda(P)]}{\cos [\lambda(H) - \lambda(P)]} \sin L\Lambda, \quad (15')$$

откуда

$$L\Lambda = \arcsin \frac{\sin h \cos [\lambda(H) - \lambda(P)]}{\cos h \sin [\lambda(H) - \lambda(P)]} \quad (16)$$

или

$$L\Lambda = \arcsin \{ \operatorname{tg} h(H) \operatorname{ctg} [\lambda(H) - \lambda(P)] \}. \quad (16')$$

Зная величину дуги $L\Lambda$, легко найти искомый угол γ , исходя из соотношения

$$\gamma = 180^\circ - \widetilde{KL} = 90^\circ + \widetilde{L\Lambda}.$$

Примеры вычисления угла γ согласно методике Птолемея см. в коммент. 12 и 113 к кн.V.

Впоследствии астрономы средневекового Востока вычисляли эти параметры проще, в обход теоремы Менелая, пользуясь теоремой синусов для прямоугольного сферического треугольника [Рожанская, 1976].

76. Глава 13 представляет собой таблицы значений $z(\lambda, t, \varphi)$ и $\gamma(\lambda, t, \varphi)$, вычисленные для семи климатов, широты которых характеризуются максимальной продолжительностью дня и соответствующей высотой полюса, начиная от Мероэ ($M = 13^h$ и $\varphi = 16; 27^\circ$) до Борисфена ($M = 16^h$ и $\varphi = 48; 32^\circ$); приращение широты

от климата к климату соответствует изменению максимальной продолжительности дня на $\frac{1}{2}^h$.

Для каждого из семи климатов Птолемей составил 12 «подтаблиц» для 12 фиксированных значений долготы $\lambda_m = (m - 1) \cdot 30^\circ$, соответствующих началам знаков зодиака. В каждой «подтаблице» переменная t изменяется от 0 до значения $\frac{1}{2}M$, т.е. половины продолжительности самого длинного дня; t — это время в равноденственных часах, которое затратит точка эклиптики с долготой λ на широте φ , перемещаясь суточным движением из данного положения в плоскость меридиана.

Каждая из 12 «подтаблиц» содержит четыре столбца; первый (озаглавленный «часы») содержит время t в равноденственных часах от полудня до указанного момента; второй столбец («дуги») — зенитное расстояние. Например, если на широте Мероэ в полдень 0° Рака лежит на меридиане, то в этом случае $z = 90^\circ - (90^\circ - \varphi + \epsilon) = +16;27^\circ - 23;51^\circ = -7;24^\circ$ (таблица дает $7;24^\circ$). В моменты восхода или захода Солнца значение z для всех «подтаблиц» составляет 90° . Третий и четвертый столбцы содержат значения угла γ соответственно для точек эклиптики, расположенных к востоку и к западу от меридиана. Значения «западных углов» получаются путем вычитания соответствующих значений «восточных углов» из 180° . Рассмотрим, например, «подтаблицу» для созвездия Рака на широте Мероэ. Третий столбец, т.е. значение γ к востоку от меридиана, начинается с 90° , так как эклиптика в начале Рака (когда одна точка равноденствия восходит, а другая заходит) перпендикулярна меридиану. Если 0° Рака находится на 1^h к востоку от меридиана, то $\gamma = 25;16^\circ$ (третий столбец), а если на 1^h к западу, то $\gamma = 180^\circ - 25;16^\circ = 155;44^\circ$, в соответствии с данными таблицы. Значения углов для промежуточных значений долготы, времени и широты должны вычисляться линейной интерполяцией между значениями, зафиксированными в таблице по каждой из трех переменных, что делает их использование крайне сложным. Эти таблицы предназначались главным образом для расчета лунного и солнечного параллакса. Позднее мусульманские астрономы создали специальные таблицы, позволяющие вычислять составляющие лунного и солнечного параллакса значительно более простым способом.

В настоящую таблицу внесены исправления согласно [РА, p.122, 130, п.108].

77. Намерение Птолемея было реализовано в его «Географии», где, однако, он использует в качестве первого меридиана не меридиан Александрии, а меридиан, проходящий через Счастливые острова, или Острова Блаженных, соответствующие, по-видимому, Канарским островам, — на крайнем западе.

КНИГА ТРЕТЬЯ

1. Речь идет об открытии Гиппархом явления прецессии. См. по данному вопросу [Kurtik, 1984; Toomer, 1978]. Теория прецессии подробно рассматривается Птолемеем в гл.2–3 кн.VII.

2. Птолемей здесь имеет в виду повторяющиеся ежегодно периодические изменения положений точек восхода Солнца на горизонте, высоты Солнца при его прохождении через меридиан и продолжительности дня или ночи. Эти явления, связанные с годовым движением Солнца по эклиптике, были известны античным астрономам задолго до Птолемея.

3. Приступая к построению теории движения Солнца, Птолемей последовательно решает три задачи: во-первых, определяет, какой вид годового промежутка в наибольшей степени подходит для этой цели, во-вторых, выясняет, имеет ли этот годовой промежуток постоянную величину, в-третьих, находит саму эту величину.

Годовой промежуток определяется им как интервал времени, в течение которого Солнце совершает на эклиптике полный оборот относительно некоторой начальной точки. Этот промежуток может быть измерен по-разному. Традиция, восходящая к Гиппарху, различает два основных способа их определения — при помощи неподвижных звезд и по отношению к точкам равноденствий и солнцестояний.

Промежуток времени, в течение которого Солнце возвращается при своем годовом движении к одной и той же звезде, есть сидерический год. Этот промежуток использовался в месопотамской астрономии и играл также определенную роль в эллинистических теориях, предшествовавших Гиппарху. Интервал времени от одного из равноденствий или солнцестояний до следующего одноименного с ним есть тропический год. В настоящее время тропический год определяют как интервал между двумя весенними равноденствиями, но в античности не существовало такого жесткого правила. Во времена Птолемея продолжительность тропического года составляла около 365,242^d. Как сидерический, так и тропический годы в равной степени хорошо воспроизводят сезонные изменения, связанные с движением Солнца по эклиптике. Расхождение между ними объясняется прецессией, или вращением сферы неподвижных звезд в направлении последовательности знаков зодиака, как это явление объясняет Птолемей.

В основу своей теории Птолемей кладет, следуя Гиппарху, тропический год. Решающий довод в пользу такого выбора имеет у него кинематический характер. Небесный экватор и эклиптика, согласно Птолемею, образуют в пространстве абсолютно неподвижную координатную систему. Точки равноденствий и солнцестояний служат при этом естественным началом отсчета движений светил. Планеты же и сфера звезд обладают собственными движениями в пространстве, что делает их использование в качестве точек отсчета при измерении периодических движений светил менее удобным, так как получаемые в результате величины скоростей будут зависеть от скоростей движения самих точек отсчета.

4. Приведенная Птолемеєм цитата из работы Гиппарха представляет единственное известное нам свидетельство о том, что Архимед (III в. до н.э.) производил специальные наблюдения для измерения продолжительности тропического года, по своему характеру близкие наблюдениям Гиппарха.

5. Инструмент, о котором идет речь, в современной литературе известен под названием равноденственного или экваториального кольца. На рис. 3-А представлена его реконструкция, принадлежащая С.В.Житомирскому, где 1 — кольцо, изготовленное из меди и установленное в плоскости небесного экватора на данной широте; 2 — основание; $a-a$ — линия меридиана. Теоретически Солнце при своем движении по эклиптике оказывается в плоскости экваториального кольца на данной широте лишь два раза в году — в дни весеннего и осеннего равноденствий; при этом на короткое время будут освещены обе стороны кольца, как северная, так и южная, и обращенная к Солнцу часть кольца отбросит тень на противоположную его часть. Другие реконструкции этого инструмента, а также исследование его точности см. в [Britton, 1967, p.29; Bruin, 1976; Price, 1957, p.589].

6. -161, сентябрь 27, 18^h. О календарях, используемых в «Альмагесте», и методах преобразования зафиксированных в них дат наблюдений в юлианский календарь см. в Приложении «Календарь и хронология в «Альмагесте».

В главе I и далее Птолемей приводит данные о шести наблюдениях осенних равноденствий и четырнадцати наблюдениях весенних равноденствий, выполненных Гиппархом между -161 и -127 годами, а также о четырех собственных наблюдениях такого же типа, датированных 132-140 г. н.э. Можно сделать вывод, что вместе с двумя более ранними наблюдениями солнцестояний, одно из которых принадлежит Метону и Евктемону (в -431 г.), а другое — Аристарху Самосскому (в -279 г.), имевшиеся в его распоряжении наблюдения для определения продолжительности года охватывали промежуток более чем в 550 лет.

Наблюдения равноденствий и солнцестояний, сведения о которых приводит Птолемей, могут быть использованы для оценки некоторых параметров современной астрономической теории, прежде всего вековых ускорений движения Луны и вращения Земли. Поэтому они всегда привлекали внимание не только историков астрономии, но и астрономов. Исследованию этих наблюдений посвящена обширная литература. Мы приводим здесь таблицу из диссертации Дж.Бриттона [Britton, 1967, p.23, Table II-1], содержащую результаты его анализа точности этих наблюдений (новое издание, оставшееся, к сожалению, нам недоступным, см. [Britton, 1992]). В таблице приводятся — номер наблюдения; дата и место наблюдений (Аф — Афины, А — Александрия, Р — Родос); местное истинное время, зафиксированное

во время наблюдений; долгота Солнца, вычисленная для соответствующих моментов наблюдений на основе современной теории, учитывающей вековые изменения ($\lambda_{\text{выч}}$); погрешности наблюдений, полученные в результате деления разности $\lambda_{\text{выч}} - \lambda_{\text{набл}}$ на истинную скорость Солнца, которая предполагалась равной в окрестности весеннего равноденствия $0,0405^\circ/\text{h}$, в окрестности летнего солнцестояния — $0,0399^\circ/\text{h}$, в окрестности осеннего равноденствия — $0,0415^\circ/\text{h}$.

Наблюдения равноденствий и солнцестояний

Но- мер	Дата и место наблюдений	Местное истинное время	Долгота Солнца вычисленная	Погрешность наблюдения
1	— 431:VI: 27 Аф	6 ^h	88,83°	+ 29,5 ^h
2	— 279: VI: 26 А(?)	[18]	89,52	+ 12,1
3	— 161: IX: 27 Р(?)	18	180,62	— 15,0
4	— 158: IX: 27 Р	6	180,40	— 9,6
5	— 157: IX: 27 Р	12	180,41	— 9,8
6	— 146: IX: 27 Р	0	180,23	— 5,6
7	— 145: III: 24 Р	6	359,61	+ 9,5
8	— 145: III: 24 А	11	359,81	+ 4,6
9	— 145: IX: 27 Р	6	180,24	— 5,8
10	— 144: III: 23 Р	12	359,62	+ 9,3
11	— 143: III: 23 Р	18	359,63	+ 9,1
12	— 142: III: 24 Р	0	359,64	+ 8,9
13	— 142: IX: 26 Р	18	180,01	— 0,2
14	— 141: III: 24 Р	6	359,65	+ 8,7
15	— 140: III: 23 Р	12	359,66	+ 8,5
16	— 134: III: 24 Р	0	359,70	+ 7,4
17	— 134: VI: 26 Р	12	90,17	— 4,0
18	— 133: III: 24 Р	6	359,71	+ 7,2
19	— 132: III: 23 Р	12	359,72	+ 7,0
20	— 131: III: 23 Р	18	359,73	+ 6,8
21	— 130: III: 24 Р	0	359,73	+ 6,6
22	— 129: III: 24 Р	6	359,74	+ 6,4
23	— 128: III: 23 Р	12	359,75	+ 6,2
24	— 127: III: 23 Р	18	359,76	+ 6,0
25	132: IX: 25 А	14	181,36	— 32,7
26	139: IX: 26 А	7	181,37	— 33,0
27	140: III: 22 А	13	0,83	— 20,4
28	140: VI: 25 А	2	91,42	— 35,4

Аналогичного типа данные можно найти и в некоторых других исследованиях [Ньютон, 1985, с. 87–91; Czwalińska, 1958; Fotheringham, 1918; 1920; HAMA, p.276; Newton, 1970, p.9; 1976, Tabl.V.2; Rome, 1937; 1938; 1943(2); Pedersen, Schmidt, 1967, p.84].

7. —158, сентябрь 27, ~ 6^h.

8. —157, сентябрь 27, ~ 12^h. Три указанных наблюдения осенних равноденствий отделены 11-летним интервалом от основного массива наблюдений Гиппарха. Высказывается поэтому предположение, что они принадлежат какому-то другому астроному и что Гиппарх только использовал их в своей теории Солнца [РА, p.133, п.8].

9. —146, сентябрь 26/27, полночь.

10. -145, сентябрь 27, 6^h.

11. -142, сентябрь 26, ~ 18^h.

12. -145, март 24, ~ 6^h.

13. Здесь, по-видимому, речь идет о двух наблюдениях одного и того же весеннего равноденствия, произведенных соответственно Гиппархом на Родосе (зафиксированное время ~ 6^h) и неизвестным наблюдателем в Александрии (~ 11^h), см. в таблице коммент. 6, № 7, 8.

14. Даты указанных наблюдений см. № 10–15 в таблице коммент. 6.

15. -134, март 24, ~ 0^h.

16. -127, март 23, 18^h. Даты предшествующих этому наблюдению шести наблюдений весенних равноденствий, о которых упоминает Птолемей, см. № 18–23 в таблице коммент. 6.

17. Птолемей утверждает, что если плоскость экваториального кольца отклоняется в окрестности равноденствий по склонению от плоскости небесного экватора на угол $\frac{360^\circ}{3600} = 0;6^\circ$, то это небольшое отклонение приводит к погрешности в определении долготы Солнца ~ 1/4°, что равносильно погрешности в определении моментов равноденствий ~ 1/4 дня. Справедливость этого утверждения проверяется при помощи таблицы склонений Солнца в гл.15 кн.I, где долготе Солнца 1° соответствует склонение 0;24,16° [РА, р.134, п.11].

18. О равноденственном, или экваториальном, кольце см. в коммент. 5. Двукратное затемнение противоположной части кольца в течение одного дня в случае, если кольцо установлено правильно, т.е. если отсутствует отклонение плоскости кольца от плоскости небесного экватора, может произойти вследствие действия рефракции. Наилучший анализ этой проблемы см. в [Britton, 1967, p.29–42].

19. Колос (Спика) — звезда α Vir.

20. Даты затмений: -145, апрель 21 (в 32 г. третьего периода Каллиппа) и -134, март 21 (в 43 г. того же периода); анализ процедуры, которую использовал Гиппарх для определения долготы Колоса, см. в [Rome, 1938].

21. Время затмения зависит существенно от скоростей движения Солнца и Луны, которые приблизительно можно принять равными 1°/d для Солнца и 13°/d для Луны; относительная скорость их движения, таким образом, равна 12°/d или 1/2° за час. Поэтому смещение положения Солнца во время затмения на 1° должно привести к изменению времени затмения приблизительно на 2 часа.

22. Здесь Птолемей впервые упоминает о необходимости следования «принципу простоты» при кинематико-геометрическом моделировании движений светил. Другую формулировку того же принципа см. в кн.XIII, гл.2, с.401, а также в кн.III, гл.4, с.91.

23. В самом деле, если t_1', t_2' — моменты равноденствий или солнцестояний, зафиксированные во время наблюдений, t_1, t_2 — их точные значения, n — количество лет между наблюдениями и $\Delta t_1 = t_1' - t_1$ и $\Delta t_2 = t_2' - t_2$ — погрешности, допущенные в каждом из двух наблюдений, то продолжительность года определится согласно формуле

$$T = \frac{t_2' - t_1'}{n} = \frac{t_2 - t_1}{n} + \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{n} = T_0 + \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{n},$$

где T_0 — истинное значение. Погрешность в определении T_0 , как видим, обратно пропорциональна числу лет n , прошедшему между двумя наблюдениями.

24. Об этих наблюдениях см. с.81 и коммент. 29–31.

25. -146, сентябрь 26/27, 0^h.

26. 139, сентябрь 26, ~ 7^h.

27. -145, март 24, ~ 6^h.

28. 140, март 22, ~ 13^h.

29. -431, июнь 27, ~ 6^h. В парапегме из Милета, датируемой -109/108 гг., приведены две эквивалентные даты этого наблюдения — фаменот 21 и скирофорион 13. Очевидно, что сначала оно было записано в афинском греческом календаре и лишь затем преобразовано в египетский календарь. Наблюдения производились при помощи гелиотропа — разновидности солнечных часов, в которых фиксировалась длина полуденной тени в различные моменты года. Анализ всех обстоятельств, касающихся датировки, места, методики и цели проведения этого наблюдения, см. в [Bowen, Goldstein, 1988, p.64-77; Toomer, 1974(1)].

30. 140, июнь 25, 2^h.

31. Дата наблюдения летнего солнцестояния Аристархом приходится в юлианском календаре на -279 г.; Птолемей не указывает точное время наблюдения. Более подробные сведения об этом наблюдении приводятся в сочинениях астрономов стран ислама. Так, в «Каноне Мас'уда» (кн. VI, гл. 6) находим: «После [Метона и Евктемона] солнцестояние наблюдал в городе Афины Аристарх. [Это] было на закате Солнца в воскресенье двадцать восьмого [дня] восьмого месяца четверста [шестьдесят] восьмого года» [Беруни, 1976, с. 37], т.е. вечером 28 фармути 468 г. Набонассара, что соответствует, по нашим расчетам, дате -279, июнь 26, ~ 18^h. Замечательно, но та же дата получена Дж. Бриттоном [Britton, 1967, p. 56, п. 1] и Р. Ньютоном [Newton, 1976, p. 293] на основе предположения, что наблюдения солнцестояний Метона и Аристарха соответствовали гиппарховой величине тропического года, принятой поздним Птолемеем. Сообщение ал-Бируни дает этому независимое подтверждение.

32. Вероятная дата наблюдения Гиппархом солнцестояния: -134, июнь 26, 12^h [Britton, 1967, p. 56].

33. В переводе Дж. Тумера последняя фраза звучит иначе: «И когда он излагает кратко свои воззрения в списке собственных сочинений» («And when he more or less sums up his opinions in his list of his own writings»); Дж. Тумер полагает, что существовал отдельно изданный список работ Гиппарха с краткими описаниями их содержания [PA, p. 139, п. 25].

34. Термин «математик» (μαθηματικός) имел в эллинистической науке более широкий смысл, чем теперь; он относился, в частности, к астрономам и астрологам.

35. Метод, при помощи которого Гиппарх получил новое значение продолжительности тропического года, излагается Птолемеем неполно. На самом деле наблюдения солнцестояний Гиппарх использовал не как свой основной источник для нахождения продолжительности тропического года, но только для проверки его значения, полученного на основе известных ранее периодических соотношений. Величину года $365\frac{1}{4}^d - \frac{1}{300}^d$ с достаточной степенью точности можно получить при помощи 76-летнего цикла Калиппа или 304-летнего цикла Гиппарха ($4 \cdot 76^y$), в которых принято вавилонское значение продолжительности синодического лунного месяца $29;31,50,8,20^d$. См. по данному вопросу [Swerdlow, 1980].

Таким образом, согласно Птолемею, длина тропического года равна величине года Гиппарха $365\frac{1}{4}^d - \frac{1}{300}^d = 365;14,48^d$. Это значение Птолемей выводит непосредственно из наблюдений тремя различными способами, сравнивая свои наблюдения весеннего и осеннего равноденствий и летнего солнцестояния с аналогичными наблюдениями Гиппарха и Метона—Евктемона, и в каждом из трех случаев получает одну и ту же продолжительность года. Методологически его подход к определению длины тропического года совершенно правилен, однако достоверность наблюдений, которые он при этом использует, внушает определенные сомнения. Этим наблюдениям свойственна чрезмерно большая погрешность в сравнении с аналогичными наблюдениями Гиппарха (см. таблицу в коммент. 6), и в то же время они точно соответствуют принятому ошибочному значению тропического года. Сказанное относится также и к четвертому наблюдению Птолемея осеннего равноденствия (132, сент. 25), которое он использует в гл. 7 для определения долготы Солнца в начальную эпоху таблиц. Вероятно, мы здесь имеем дело не с подлинными наблюдениями, а с вычисленными значениями или с наблюдениями, которые были

специально выбраны Птолемеем из ряда аналогичных наблюдений, чтобы удовлетворить принятой величине тропического года. См. по этому поводу [Ньютон, 1985, с.94–102].

36. Птолемей здесь неявно полемизирует с составителями планетных эфемерид, содержащих истинные положения Солнца, Луны и планет в фиксированные моменты времени. Эти эфемериды имели, как правило, астрологическое предназначение и содержали моменты вхождения светил в знаки зодиака [НАМА, р.785 и сл.]; в так называемых «вечных таблицах» приводились положения светил по долготе через фиксированные интервалы времени [РА, р.140, п.27; Waerden, 1979].

37. Использование 18-летних интервалов в таблицах средних движений связано с необходимостью размещать текст на листах папируса стандартного размера. Эти листы вмещали только 45 строк. Поэтому Птолемей группирует свои таблицы средних движений на трех листах следующим образом: на первом 45 строк с 18-летними приращениями, на втором $18 + 24 = 42$ строки (таблицы отдельных годов и часов), на третьем $12 + 30 = 42$ строки (таблицы месяцев и дней в месяце). Таблицы средних движений в «Альмагесте», таким образом, охватывают всего $18 \times 45 = 810$ лет, т.е. они не достигают эпохи самого Птолемея, если вести отсчет от начальной эпохи его таблиц (–746, февраль 26). Чтобы исправить эту ситуацию, Птолемей в «Подручных таблицах» перешел к 25-летним интервалам и изменил начальную эпоху на –323, ноябрь 12 (на так называемую «эру Филиппа»). См. по данному вопросу [НАМА, р.55; РА, р.140, п.28].

38. Согласно Птолемею, истинное положение Солнца по долготе определяется в виде суммы двух составляющих — средней долготы $\bar{\lambda}_\odot$, меняющейся линейно, и некоторого добавочного члена — неравенства s , учитывающего нелинейный характер зависимости долготы от времени. Таблицы средних движений служат для определения средней долготы Солнца $\lambda_\odot$ как функции времени. В основе таблиц лежит величина средней суточной скорости Солнца

$$\omega_\odot = \frac{360^\circ}{365;14,48^d} = 0;59;8,17,13,12,31^a,$$

полученная Птолемеем. Средняя долгота определяется по правилу, эквивалентному формуле

$$\bar{\lambda}_\odot = \bar{\kappa} + \lambda_A = \bar{\kappa}_0 + \Delta\bar{\kappa} + \lambda_A,$$

где $\bar{\kappa}$ — средняя эксцентрическая аномалия Солнца в момент t ; λ_A — долгота апогея; $\bar{\kappa}_0$ — средняя аномалия в начальный момент t_0 ; $\Delta\bar{\kappa}$ — приращение аномалии за интервал $\Delta t = t - t_0$, определяемое при помощи таблиц. Для нахождения $\Delta\bar{\kappa}$ предварительно промежуток Δt должен быть разбит на интервалы, содержащие предельно допустимое число 18-летних, отдельных годов, месяцев, дней и часов. Приращения средней аномалии, соответствующие этим интервалам, берутся из соответствующих таблиц; их суммирование дает искомое приращение $\Delta\bar{\kappa}$. В оглавлении таблиц указаны значения аномалии в начальную эпоху $\bar{\kappa}_0 = 265;15^\circ$ и расстояния апогея по долготу $\lambda_A = 65;30^\circ$ относительно точки весеннего равноденствия. В сравнении с текстом Гейберга в таблицы внесены исправления по [РА, р.141, п.29].

39. Термин «гипотеза» (ὕποθεσις) употребляется обычно Птолемеем в значении «кинематическая схема, модель», но иногда также в более привычном нам смысле — «предположение, истинность которого еще должна быть доказана». «Эксцентр» и «эксцентрический» обозначается одним и тем же словом ἑκκεντρος; в первом случае оно, по-видимому, означает ἑκκεντρος κύκλος, т.е. «эксцентрический круг» [РА, р.21, 23].

40. Этот круг получил позднее название «деферент» от латинского глагола deferо (переношу), общеупотребительное в настоящее время. При переводе его греческого эквивалента ὁμόκεντρον на русский язык И.Н.Веселовский употребляет термин «гомоцентр».

41. Птолемей имеет здесь в виду кинематические модели, принятые для описания движения Луны и планет по долготе и представляющие сочетание эпициклической и эксцентрической моделей.

42. Сформулированная теорема поясняется на рис. 3-В и 3-С, где изображены соответственно эксцентрическая и эпициклическая модели. Эти рисунки заимствованы из [НАМА, р.1220, fig. 49, 50]. На рис. 3-В точка M обозначает центр эксцентра радиуса R (причем $R = 60^P$); O — центр эклиптики, местонахождение наблюдателя; $MO = e$ — эксцентриситет, выраженный по отношению R ; A — апогей, Π — перигей; P — светило, в данном случае Солнце; $\bar{\kappa}$ — средняя эксцентрическая аномалия, отсчитываемая от апогея; κ — истинная эксцентрическая аномалия; s — «разность аномалии», или «неравенство», или «уравнение» Солнца; Птолемей употребляет также для обозначения этой величины термин «простаферез» (προσφαίρεσις), означающий «положительная или отрицательная (поправка)». В эпициклической модели (рис. 3-С) C — центр эпицикла; r — его радиус; круг с центром в O и радиусом R — деферент; $\bar{\alpha}$ — средняя эпициклическая аномалия.

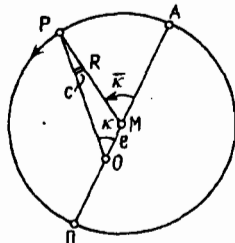


Рис. 3-В

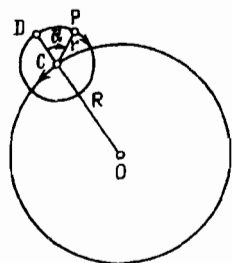


Рис. 3-С

Эксцентрическая и эпициклическая модели будут одинаковым образом описывать движение Солнца, если $r = e$ и средние аномалии $\bar{\kappa}$ и $\bar{\alpha}$ равны по абсолютной величине и противоположно направление. В этом случае радиус-вектор, исходящий из O и заканчивающийся в P , будет диагональю параллелограмма, стороны которого попарно равны и параллельны (см. ниже рис. 3-Е).

При определенных условиях тождество двух моделей будет иметь место и в том случае, если $\bar{\kappa}$ и $\bar{\alpha}$ имеют одно и то же направление. Об этом см. кн. XII, гл. I, с. 373. Соответствующая теорема была доказана Аполлонием Пергским.

43. Следствием доказанной теоремы об эквивалентности при определенных условиях эксцентрической и эпициклической моделей является теорема: уравнение s достигает своего максимума, когда P находится на расстоянии $\pm 90^\circ$ относительно линии апсид эксцентра, для наблюдателя, находящегося в O , т.е. если $\kappa = AOP = 90^\circ$ или 270° (см. рис. 3-D, соответствующий fig. 52 в [НАМА, р.1220]). Для эпициклической модели уравнение s максимально, когда линия OP касательна к эпициклу. Отсюда непосредственно следует справедливость указанной теоремы для эксцентра.

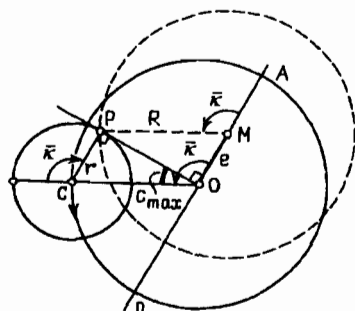


Рис. 3-D

Птолемей утверждает также, не приводя доказательства, что в соответствующих точках эксцентра скорость светила P , как она фиксируется наблюдателем из O , равняется ее средней величине. В апогее скорость минимальна, а в перигее максимальна. Определяя точки орбиты, в которых скорость светила имеет среднюю, максимальную и минимальную величину, Птолемей употребляет выражения «среднее движение», «наибольшее движение» и «наименьшее движение».

44. Как два угла с взаимно перпендикулярными сторонами [Евклид, IV, 8].

45. Две дуги «подобны», если они определяются равными центральными углами, но принадлежат окружностям разного диаметра. Две дуги «равны», если их можно совместить наложением; следовательно,

но, «равенство» возможно только для дуг одной окружности. Данное терминологическое различие восходит еще к трудам Аристотеля и Евклида.

видны из двух данных точек, а именно из точки O — центра эклиптики и из точки M — центра эксцентра, под данными углами; определить положение точки M относительно точки O [НАМА, р.57–58, р.1221, fig.53]. Данная задача была впервые решена, по-видимому, Гиппархом. Птолемей, используя собственные наблюдения, получил для долготы апогея λ_A то же значение, что и Гиппарх. Отсюда он сделал вывод, что долгота солнечного апогея не меняется с течением времени. Другими словами, он предположил, что тропический год равняется аномалистическому. Однако апогеи планет, согласно Птолемею, сидерически фиксированы, т.е. они перемещаются относительно точки весеннего равноденствия вместе со звездами со скоростью прецессии. Таким образом, здесь Птолемей входит в формальное противоречие с другими элементами своей астрономической системы. На самом деле апогей Солнца смещается в восточном направлении приблизительно на $1,72^\circ$ за 100 лет, что равносильно 5° за 300 лет, прошедших со времени наблюдений Гиппарха до эпохи самого Птолемея. Однако это смещение не было замечено Птолемеем. Исследованию обстоятельств, приведших к возникновению этой ошибки, посвящена обширная литература [Britton, 1967, Ch.II; НАМА, р.57–58; SA, р.147–149; Petersen, Schmidt, 1967, р.80–83; Rome, 1943(2); Ньютон, 1985, с. 87]. Подвижность апогея Солнца была впервые открыта в начале IX в. астрономами, работавшими при дворе ал-Мамуна, а два столетия спустя испано-арабский астроном аз-Заркали (XI в.) показал, что кроме прецессионного движения апогей обладает также собственным движением относительно неподвижных звезд и таким образом впервые разделил аномалистический и сидерический годы. См. по данному вопросу [Куртук, 1986, с.121–122].

51. 139, сентябрь 26, $\sim 7^h$, см. с.80.

52. 140, март 22, $\sim 13^h$, см. с.80.

53. 140, июнь 25, 2^h , см. с.81.

54. Как уже было сказано выше, в основе определения параметров орбиты Солнца лежат данные о продолжительности года и сезонов J_1 и J_2 . Как только Птолемей установил, что три указанные величины не изменили своих значений со времени Гиппарха, он автоматически пришел к тем же значениям эксцентриситета e и долготы апогея λ_A , поскольку вычислительная процедура осталась без изменений. Из работы [Petersen, Schmidt, 1967, р.78] мы приводим данные, характеризующие точность определения продолжительности сезонов и параметров солнечной орбиты Гиппархом и Птолемеем. Они свидетельствуют, что погрешности в длинах сезонов J_1 и J_2 у Гиппарха и Птолемея были приблизительно одинаковыми; разница в каждом случае не превышает четверти дня. Погрешности же в определении параметров солнечной орбиты, прежде всего апогея Солнца, у них существенно различны. Это связано с тем, что принятая процедура для определения λ_A очень чувствительна к изменению интервалов J_1 и J_2 ; погрешность в определении J_1 и J_2 порядка $\pm 6^h$ приводит к погрешности в определении λ_A порядка $\pm 7^\circ$. Отсюда можно сделать вывод, что более точное определение величины λ_A Гиппархом можно считать в известном смысле делом случая [PA, р.149; Petersen, Schmidt, 1967, р.80–83].

	J_1 (дни)	J_2 (дни)	e	$\lambda_A (^\circ)$
Гиппарх, Птолемей	94½	92½	½24 = 0,0417	65½
Значения, вычисленные для года –145	94,01	92,34	0,0351	66,23
Ошибки величин Гиппарха	–0,49	–0,16	–0,0066	0,73
Значения, вычисленные для года +140	93,90	92,56	0,0349	71,09
Ошибки величин Птолемея	–0,60	+0,06	–0,0068	5,59

Величины продолжительности сезонов, которые приводит Птолемей, получены им в результате округления дат наблюдений весеннего и осеннего равноденствий и летнего солнцестояния. Использование точных значений дат (см. коммент. 51–53) даст $J_1 + J_2 = 178\frac{1}{4}^d$, $J_1 = 94^{d13^h}$ и $J_2 = 92^{d11^h}$. Если принять эти величины за исходные и применить процедуру Гиппарха для определения λ_A , то получим $\lambda_A = 64;33^\circ$, т.е. наблюдения Птолемея приводят к значению долготы апогея даже меньшему, чем величина Гиппарха [SA, p.148]. Это обстоятельство сыграло, по-видимому, определенную роль в принятии постулата о неподвижности апогея Солнца.

В чем же причина ошибки Птолемея? Мы полагаем, что в ее основе лежит стремление сохранить гиппархово значение продолжительности тропического года. Если бы Птолемей принял новое значение, то под сомнением оказался бы постулат о его неизменности — основа теории движения Солнца. Но приняв значение Гиппарха, Птолемей должен был привести соответствующие наблюдения, подтверждающие правильность этого выбора. Даты этих наблюдений были им либо вычислены, либо подобраны из числа имевшихся в его распоряжении аналогичных наблюдений. Даты равноденствий и солнцестояния, полученные таким образом, удовлетворяли принятой продолжительности тропического года, но приводили к ошибочному значению долготы апогея. Как попытка разрешить эту проблему был принят постулат о неизменности долготы апогея Солнца.

55. Таким образом, согласно Птолемею, величины продолжительности сезонов имеют следующие значения: $J_1 = 94\frac{1}{2}^d$ (весна), $J_2 = 92\frac{1}{2}^d$ (лето), $J_3 = 88\frac{1}{8}^d$ (осень), $J_4 = 90\frac{1}{8}^d$ (зима), что дает в сумме $365\frac{1}{4}^d$. Из контекста ясно, что аналогичные величины использовал также Гиппарх.

Кратко рассмотрим вычислительную процедуру, принятую Птолемеем для определения параметров солнечной орбиты: эксцентриситета e и долготы апогея λ_A . На рис. 3-F (fig.53 в [НАМА, p.1221]) O — центр эклиптики, M — центр эксцента, по которому Солнце движется равномерно. Точки F , G и H эксцента соответствуют направлениям из O на точки весеннего равноденствия, летнего солнцестояния и осеннего равноденствия. Дуги эксцента GF и GH видны из O под углами $FOG = 90^\circ$ и $GOH = 90^\circ$. Те же дуги видны из M под углами $FMG = \bar{\alpha}_1 = \omega_\odot J_1 = 93;9^\circ$, $GMH = \bar{\alpha}_2 = \omega_\odot J_2 = 91;11^\circ$. Поскольку $\bar{\alpha}_1 > \bar{\alpha}_2 > 90^\circ$, центр M должен находиться в первом квадранте эклиптики. Зная $\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 = 180^\circ + 4;20'$, легко определить углы $\delta_1 = 2;10'$ и $\delta_2 = \bar{\alpha}_1 - 90^\circ - \delta_1 = 0;59'$. Положение точки M относительно центра эклиптики O может быть установлено следующим образом: если $R = 60^p$, то в треугольнике $OM'M$ находим $OM' = M'M = R \sin \delta_2 = 1;2^p$ и $M'M = R \sin \delta_1 = 2;16^p$, и далее $e = OM = 2;29,30^p \approx \frac{R}{24} = 2;30^p$. Долгота апогея определится из отношения $\sin \lambda_A = \frac{MM'}{e} = \frac{2;16^p}{2;30^p}$, что равносильно $\lambda_A = 65;30^\circ = 5;30'$ Блинецов [НАМА, p.58].

56. Птолемей определяет максимальное уравнение Солнца $c_{\max}$. Согласно доказанному, уравнение максимально, когда Солнце находится в точках эксцента, где истинная эксцентрическая аномалия $\kappa = \pm 90^\circ$ (см. рис. 3-D). Отсюда

$$\sin c_{\max} = \frac{e}{R} = 0;2,30, \quad c_{\max} = 2;23^p.$$

Максимальное уравнение имеет место при значениях средней эксцентрической аномалии

$$\bar{\kappa} = 90^\circ + c_{\max} = 92;23', \quad \bar{\kappa} = 270^\circ - c_{\max} = 267;37'.$$

57. Дуги, о которых идет речь: $\bar{\kappa}$ — средняя эксцентрическая аномалия; κ — истинная эксцентрическая аномалия; $c = \kappa - \bar{\kappa}$ — «разность аномалии», или

«уравнение», или «неравенство», или «разность вследствие неравномерности», как этот термин иногда переводит И.Н.Веселовский. В этой главе Птолемей приводит метод для определения уравнения s как функции средней эксцентрической аномалии $\bar{\kappa}$. Он доказывает также, что три соответствующие величины ($\bar{\kappa}$, κ и s) взаимозаменяемы в том смысле, что если известна одна из них, то в принятой кинематической модели могут быть вычислены и две другие. Метод вычисления s поясняется на примере $\bar{\kappa} = 30^\circ$. При этом Птолемей раздельно рассматривает два случая — когда отсчет $\bar{\kappa}$ производится от апогея и от перигея. Уравнение s как функция $\bar{\kappa}$ обладает симметрией относительно линии апсид. Для значений $\bar{\kappa}$, симметричных относительно апогея или перигея, значения s совпадают по абсолютной величине, т.е. имеет место равенство $|s(\bar{\kappa})| = |s(-\bar{\kappa})|$. Параллельно Птолемей дает метод для определения s как функции средней эпициклической аномалии $\bar{\alpha}$ в эпициклической модели.

58. Здесь и далее при доказательстве взаимозаменяемости величин $\bar{\kappa}$, κ и s Птолемей использует следующие теоремы:

- а) если углы в треугольнике даны, то даны и отношения сторон;
- б) если даны отношения двух величин к одной и той же третьей величине, то дано отношение и между первыми двумя величинами;
- в) если в прямоугольном треугольнике дано отношение двух сторон, прилежащих к острому углу, то даны отношения и других сторон в этом треугольнике.

Эти теоремы приведены под номерами 40, 8 и 43 соответственно в работе Евклида «О заданных величинах» (Data) [PA, p.159, п.50–52].

59. В опубликованном Гейбергом греческом тексте стоит 2;34,36 [Hei I 247,6 и 249,20], но это число должно быть исправлено, поскольку $\text{Crđ } 2;27^\circ = 2;33,55^p \approx 2;34^p$. Правильная величина содержится в арабских рукописях [PA, p.162, п.53; HA I,177].

60. Таблица содержит значения уравнения Солнца s как функцию средней эксцентрической аномалии $\bar{\kappa}$, отсчитываемой от апогея. В окрестности апогея уравнение s меняется медленнее, чем у перигея, поэтому для $0^\circ < \bar{\kappa} < 90^\circ$ и $270^\circ < \bar{\kappa} < 360^\circ$ значения s даны с интервалом 6° , а для $90^\circ < \bar{\kappa} < 270^\circ$ через 3° . В «Подручных таблицах» значения функции $s(\bar{\kappa})$ вычислены через 1° приращения аргумента. При построении этой таблицы Птолемей использовал свойство симметрии функции $s(\bar{\kappa})$, о котором было сказано выше. Значения $\bar{\kappa}$, симметричные относительно линии апсид, дают равные по абсолютной величине значения $s(\bar{\kappa})$, но разного знака: $s < 0$ при $0^\circ < \bar{\kappa} < 180^\circ$ и $s > 0$ при $180^\circ < \bar{\kappa} < 360^\circ$.

61. Утверждение Птолемея о том, что в его распоряжении имелись данные наблюдений месопотамских астрономов со времени Набонассара, подтверждаются не только приводимыми им датами лунных затмений, из которых самое раннее датируется –720 г. (кн.IV, гл.6, с.118), но также данными клинописных источников. Самый ранний известный вавилонский дневник наблюдений датируется –651 г. [Sachs, Hunger, 1988, p.43]; сведения же о наблюдениях затмений относятся к еще более раннему времени [LBAT, 1953, p.XXXI].

62. В главе 7 Птолемей определяет значение средней эксцентрической аномалии $\bar{\kappa}_0$ в начальную эпоху своих таблиц $t_0 - 1$ тот же 1 года Набонассара (–746, февраль 26, истинный полдень). Значение $\bar{\kappa}_0$ может быть найдено, если известно значение $\bar{\kappa}$ в любой другой момент времени t . При этом Птолемей использует наблюдение осеннего равноденствия; в момент равноденствия истинная долгота Солнца равна 180° . Зная долготу апогея λ_A и эксцентриситет e , можно показать, что в соответствующий момент уравнение $s = -2;10^\circ$. Отсюда $\bar{\kappa} = \lambda_\odot - s = 180^\circ - 65;30' + 2;10' = 116;40'$.

63. 132, сентябрь 25, 14^h. Это наблюдение Птолемея характеризуется большой погрешностью, достигающей 32^h (см. № 25 в таблице коммент. 6), намного превосходящей среднюю статистическую погрешность аналогичных наблюдений Гиппарха. Вместе с тем его дата точно соответствует принятому Птолемеем

ошибочному значению продолжительности тропического года, если вести отсчет от гиппархова наблюдения осеннего равноденствия в -146 г. [Ньютон, 1985, с.98]. По-видимому, его дата была не наблюденна, а вычислена. Погрешность в дате этого наблюдения приводит к систематической погрешности в средней долготе Солнца порядка $1,3^\circ$, что существенно снизило точностные характеристики теории Солнца Птолемея в целом. Анализ точности теории Солнца Птолемея см. в [Britton, 1967, Ch.II]. Последствия этой ошибки, однако, не ограничиваются только одной теорией Солнца, так как эта теория является основой для построения лунной теории и для определения координат звезд.

64. Вычисления производились согласно следующей хронологической схеме:

От начала эры Набонассара (-746 , февраль 26)	424 ^y
до смерти Александра (-323 , ноябрь 12)	
От смерти Александра	294 ^y
до начала 1 года Августа (-29 , август 31)	
От начала 1 года Августа	161 ^y
до начала 17 года Адриана (132, июль 20)	
От 1 тота до 7 атира, 2 часа	66 ^d 2 ^h

Всего

$$\Delta t = t - t_0 = 879^y 66^d 2^h$$

См. также хронологическую таблицу на с.458–459.

65. Птолемей находит приращение средней эксцентрической аномалии, соответствующее вычисленному промежутку Δt :

$$\Delta \bar{\kappa} = 211;25^\circ.$$

Однако точные вычисления по его таблицам в гл.2 дают $\Delta \bar{\kappa} = 211;25,43^\circ$. Результат Птолемея будет точным, если предположить, что он при определении $\Delta \bar{\kappa}$ использовал интервал среднего времени $\bar{\Delta t}$, отличающийся от интервала истинного времени Δt на величину уравнения времени $\Delta E \approx 0;26^h$ [НАМА, р.63; SA, р.152].

66. Таким образом, согласно Птолемею, в начальную эпоху эксцентрическая аномалия имеет значение

$$\bar{\kappa}_0 = \bar{\kappa} - \Delta \bar{\kappa} = 116;40^\circ - 211;25^\circ = 265;15^\circ$$

и средняя долгота Солнца

$$\bar{\lambda}_0 = \lambda_A + \bar{\kappa}_0 = 65;30^\circ + 265;15^\circ = 330;45^\circ = 0;45^\circ \text{ Рыб.}$$

Эти величины приводятся в оглавлении таблицы среднего движения Солнца в гл.2. Для $\bar{\kappa}_0$ таблицы солнечного неравенства дают $c = c_{\max} = 2;23^\circ$. Отсюда истинная долгота Солнца в начальную эпоху

$$\lambda_0 = \bar{\lambda}_0 + c = 333;8^\circ = 3;8^\circ \text{ Рыб.}$$

67. В главе 8 излагается методика определения истинной долготы Солнца $\lambda_\odot$ в произвольный момент времени t . При этом последовательно определяются:

1) интервал $\Delta t = t - t_0$ от начальной эпохи до заданного момента; для Солнца не требуется производить преобразование промежутка истинного времени Δt , полученного из наблюдений, в промежуток среднего времени $\bar{\Delta t}$, для которого составлены таблицы, поскольку разность долгот, обусловленная уравнением времени, в случае Солнца не превосходит $0;2^\circ$ [РА, р.172, п.70];

2) приращение средней эксцентрической аномалии $\Delta \bar{\kappa} (= \Delta \bar{\lambda}_\odot)$, соответствующее

Δt , по таблице гл.2 (см. рис. 3-G);

3) средняя аномалия $\bar{\kappa} = \bar{\kappa}_0 + \Delta \bar{\kappa}$;

номы им не пользовались. Соответствующая величина в византийской, исламской и латинской астрономической литературе называлась «уравнением дня» (на латинском *equatio dierum*) [НАМА, p.61, n.2; SA, p.154–155].

69. Истинная скорость Солнца равняется его средней скорости в точках эксцента, где истинная эксцентрическая аномалия κ равна 90° или 270° и уравнение $c = c_{\max} = 2;23'$ (рис. 3-D). Когда Солнце переходит из одной такой точки в другую, то $\Delta\kappa = \Delta\lambda_\odot = 180^\circ$, и для дуги у апогея имеем $\Delta\bar{\kappa} = 180^\circ + 2 \cdot 2;23' \approx 180^\circ + 43/4'$, а у перигея $\Delta\bar{\kappa} = 180^\circ - 2 \cdot 2;23' \approx 180^\circ - 43/4'$.

70. Сказанное легко проверить при помощи таблиц времен восхода дуг эклиптики на различных широтах, представленных в гл.8 кн.II. Например, для широты Родоса ($M = 14\frac{1}{2}^h$, $\varphi = 36^\circ$) имеем: время восхода дуги эклиптики от 0° Рака до 0° Козерога $\rho = 217;30'$, от 0° Козерога до 0° Рака $\rho = 142;30'$, откуда $\Delta\rho = 75'$, что соответствует $5^h = (M - m)$ — разности между продолжительностью наибольшего и наименьшего дня на этой широте, согласно Птолемею.

71. Времена прохождения дуг эклиптики через меридиан равняются временам восхода соответствующих дуг в прямой сфере и не зависят от широты. Отсюда при помощи таблиц времен восхода кн.II, гл.8, столбец «Прямая сфера», находим: время прохождения через меридиан Близнецов и Рака равно $64;32' \approx 60^\circ + 4\frac{1}{2}^\circ$ (то же самое имеет место для Стрельца и Козерога), время прохождения Рыб и Овна равно $55;30' \approx 60^\circ - 4\frac{1}{2}^\circ$ времени, как об этом говорит Птолемей.

72. Мы встречаем здесь впервые в истории астрономии строгое обоснование необходимости использования полудня в качестве эпохи суток. После Птолемея подобная практика стала общепотребительной в астрономии.

73. Птолемей рассматривает уравнение времени $\Delta E = \Delta t - \Delta\bar{t}$ за интервал времени $\Delta t = t_2 - t_1$ как функцию солнечной долготы λ . Эта функция не приводится в «Альмагесте», но она была включена в «Подручные таблицы», о чем сообщается во «Введении» к ним. Птолемей приводит здесь только краткое ее описание.

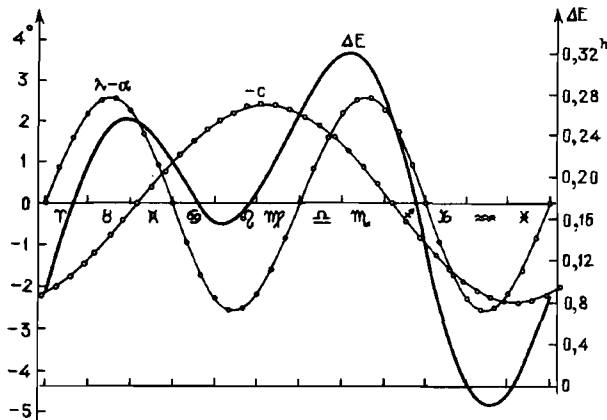


Рис. 3-Н

Зависимость $\Delta E(\lambda)$ реконструирована О.Нейгебауэром; мы приводим здесь (рис. 3-Н) график полученной им функции, соответствующей fig.57 в [НАМА, p.1222]. На этом графике ΔE представляет величину, которую необходимо прибавить или вычесть из интервала Δt в истинных солнечных сутках, чтобы получить соответствующее ему число средних суток $\Delta\bar{t}$. При этом за начало интервала Δt принята начальная эпоха птолемеевых таблиц t_0 . Зависимость $\Delta E(\lambda)$ получена по правилу, эквивалентному формуле

$$\Delta E = (\alpha_0 - \bar{\lambda}_0) + (\lambda - \alpha) - c,$$

где $-c = -(\lambda - \bar{\lambda})$ есть уравнение, определяющее ту часть уравнения времени, которая связана с неравномерностью движения Солнца по эклиптике; $(\lambda - \alpha)$ — разность истинной долготы и прямого восхождения, учитывающая неравенства времен прохождения через меридиан равных дуг эклиптики; $(\alpha_0 - \bar{\lambda}_0)$ — постоянная, соответствующая начальной эпохе t_0 . Реконструкция О.Нейгебауэра соответствует методике определения $\Delta E(\lambda)$, описание которой Птолемей приводит в конце настоящей главы. Поскольку сумма функций $\lambda - \alpha$ и $-c$ имеет минимум около $-4;48^\circ$ при 15° Водолея, очевидно, что почти для всех значений долготы (за исключением небольшого участка в окрестности 15° Водолея) $\Delta E > 0$; это означает, что ΔE должно почти всегда вычитаться из Δt при определении $\Delta \bar{t}$. График $\Delta E(\lambda)$, приведенный на рис. 3-Н, согласуется с утверждением Птолемея о том, что если в момент t_1 Солнце находится на 0° Скорпиона, а в момент t_2 на 15° Водолея, то уравнение времени ΔE будет иметь максимальную величину $8;20'' = 0;33,20^h$. Этот график можно использовать для оценки значений ΔE , если $t_1 \equiv t_0$, а с некоторыми изменениями также и для произвольных значений t_1 .

74. Среднее часовое движение Луны по долготе составляет около $0;32,56^\circ/\text{д}$; соответственно за $1\frac{1}{9}^d$ она продвинется по долготе на $\Delta \lambda = 0;36,36^\circ \approx 3/5^\circ$; такой величиной нельзя пренебречь при расчете, например, точного значения средней скорости Луны.

75. Птолемей здесь приводит правило для нахождения промежутка среднего солнечного времени $\Delta \bar{t}$ по известному промежутку истинного времени $\Delta t = t_2 - t_1$; моменты t_1 и t_2 выражены в равноденственных часах и отсчитываются от истинного полудня. Правило заключается в следующем. Зная моменты t_1 и t_2 , определяем по таблицам гл.2 соответствующие значения средней долготы Солнца $\bar{\lambda}_1$ и $\bar{\lambda}_2$, а затем, с использованием уравнения гл.6, его истинные долготы λ_1 и λ_2 . После этого при помощи таблиц времен восхода (кн.II, гл.8, столбец «Прямая сфера») находим прямые восхождения α_1 и α_2 , соответствующие полученным значениям λ_1 и λ_2 . Отсюда промежуток среднего солнечного времени $\Delta \bar{t}$ определится согласно формуле

$$\Delta \bar{t} = \Delta t + \Delta \alpha - \Delta \bar{\lambda},$$

где $\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1$, $\Delta \bar{\lambda} = \bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1$ [НАМА, p.62].

Птолемей приводит данное правило без доказательства. О.Педерсен показал, что оно является приближением более точной формулы, поскольку в нем при определении средних долгот используются моменты истинного времени t_1 и t_2 , а не среднего времени, как это на самом деле должно быть. Однако расхождения точной и приближенной формул невелики. Приведенное Птолемеем правило для нахождения ΔE соответствует требованиям к точности вычислений в нетелескопической астрономии [SA, p.156–157; PA, p.172, п.70]. О птолемеевской трактовке понятия уравнения времени см. также в [Rome, 1939].

76. Если момент t_1 совпадает с начальной эпохой птолемеевских таблиц t_0 , для которой $\bar{\lambda}_0 = 0;45^\circ$ Рыб, $\lambda_0 = 3;8^\circ$ Рыб (см. коммент. 66) и $\alpha_0 = 335;8^\circ$, то приведенная выше формула примет следующий вид:

$$\Delta \bar{t} = \Delta t + (\alpha - 335;8^\circ) - (\bar{\lambda} - 0;45^\circ \text{ Рыб}).$$

Примеры определения уравнения времени ΔE , согласно методике Птолемея, см. в коммент. 31 и 50 к кн.IV. См. также [НАМА, p.62–65; НА I, 430; PA, p.651–652].

КНИГА ЧЕТВЕРТАЯ

1. В момент, соответствующий средней фазе лунного затмения, истинные долготы Солнца и Луны различаются на 180° . Поэтому если известна долгота Солнца, то известна и долгота Луны. Истинная долгота Солнца в произвольный момент может быть вычислена по таблицам кн. III, гл. 3, 6. Затмения, таким образом, позволяют определить истинную долготу Луны, не вычисляя параллактического смещения.

2. Речь идет о суточном параллаксе. При рассмотрении движения Луны размеры Земли нельзя считать бесконечно малыми по сравнению с размерами лунной орбиты.

Необходимо поэтому различать истинное и видимое положения Луны. На рис. 4-А они определяются соответственно прямыми, проходящими через центр Земли E и центр светила и через место наблюдения на поверхности Земли O и центр светила. Если Луна L_1 находится в зените прямо над головой наблюдателя, то прямые EL_1 и OL_1 , дающие соответственно ее истинное и видимое положения, совпадают; в любом другом положении L_2 прямые EL_2 и OL_2

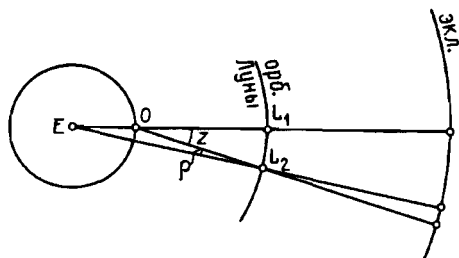


Рис. 4-А

образуют угол p , величина которого зависит, в частности, от зенитного расстояния светила z ; птолемеевская теория суточного параллакса Луны излагается в кн. V, гл. 11–19.

3. Наблюдаемые величина и продолжительность солнечного затмения (в отличие от лунного) зависят от местонахождения наблюдателя на поверхности Земли. Теория солнечных затмений излагается Птолемеем в кн. VI, гл. 10.

4. Неизвестно, кого в данном случае имеет в виду Птолемей, говоря о «древних математиках». Возможно, здесь речь идет об эллинистических астрономах александрийской школы и Гиппархе, поскольку ниже он приписывает «более древним» параметры вавилонского происхождения.

5. Период, о котором в данном случае идет речь, в современной литературе известен под названием «сарос». О происхождении термина см. [Нейгебауэр, 1968, с. 143–144]. Здесь «месячное обращение» — синодический месяц, «возвращение аномалии» — аномалистический месяц, «возвращение к той же широте» — драконический месяц, «обращение по долготе» — сидерический месяц. Таким образом, имеет место соотношение

$$6585\frac{1}{3}^d = 223 \text{ синод. мес.} = 239 \text{ аном. мес.} = 242 \text{ дракон. мес.} \approx$$

$$\approx 241 \text{ сидер. мес. (241 сидер. об. + } 10\frac{2}{3}^\circ) \approx 18 \text{ солн. годам (18 сидер. об. + } 10\frac{2}{3}^\circ).$$

18-летний период и связанные с ним соотношения применялись также в вавилонской астрономии для предвычисления дат лунных затмений [Ван-дер-Варден, 1991, с. 113; АСТ, I, р. 271–273; НАМА, р. 310, 497, 1084; ЛВАТ, р. XXXI–XXXIII]. Этот период рассматривался в античности как универсальная хронологическая единица [Маеуата, 1981, р. 261–262].

6. Утроенный «сарос» или «экселигмос» (ἐξελίγμος, букв. «оборот колеса») представляет соотношение

$$19756^d = 669 \text{ син. мес.} = 717 \text{ аном. мес.} = 726 \text{ дракон. мес.} \approx$$

$$\approx 723 \text{ сидер. мес. (723 сидер. об. + } 32^\circ) \approx 54 \text{ солн. годам (54 сидер. об. + } 32^\circ).$$

Экселигмос был известен Гемину, который жил на столетие раньше Птолемея [Manitius, 1898, Р. 200–202]. 54-летний период применялся также в вавилонской астрономии [Ван-дер-Варден, 1991, с. 310].

7. Деление произведено неточно. На самом деле должно быть

$$126007^d 1^h : 4267 = 29; 31, 50, 8, 9, 20, 13^d.$$

Эта неточность была исправлена Коперником [Коперник, 1964, с.232], но еще раньше Бируни [Бируни, 1976, с.91]. См. также [НАМА, р.310; Toomer, 1980, р.6, п.6].

8. Птолемей приписывает Гиппарху следующие периодические соотношения:

$$126007^d 1^h = 4267 \text{ син. мес.} = 4573 \text{ аном. мес.} \approx 4612 \text{ сидер. мес. } (4612 \times 360^\circ - 7;30^\circ) \approx \\ \approx 345 \text{ сидер. годам } (345 \times 360^\circ - 7;30^\circ),$$

$$5458 \text{ синод. мес.} = 5923 \text{ дракон. мес.},$$

которые он получил якобы на основе собственных наблюдений. Однако еще Куглер показал, что по крайней мере часть из этих соотношений имеют вавилонское происхождение, и, следовательно, Гиппарх не вывел их из наблюдений, как утверждает Птолемей, а заимствовал из вавилонских источников. Куглер показал [Kugler, 1900, Р.46], что в лунных эфемеридах Селевкидского времени, относящихся к так называемой «системе В», применялись следующие соотношения:

- а) средняя продолжительность синодического месяца равна $29;31,50,8,20^d$;
- б) $251 \text{ синод. мес.} = 269 \text{ аном. мес.}$;
- в) $5458 \text{ синод. мес.} = 5923 \text{ дракон. мес.}$;
- г) $1 \text{ год} = 12;22,8 \text{ синод. мес.}$.

В дальнейшем А.Обо показал, что периоды Гиппарха могут быть получены из этих соотношений чисто арифметически [Аабое, 1955].

Согласно Птолемею, который рассматривает подход Гиппарха, период, содержащий целое число синодических месяцев, будет периодом затмений (т.е. таким периодом, по истечении которого должно наступить затмение, если оно имело место вначале), если за этот период: 1) восстанавливается аномалия Солнца, что будет иметь место, если период содержит целое число солнечных годов; 2) восстанавливается аномалия Луны (период содержит целое число аномалистических месяцев); 3) фиксируется положение Луны относительно узлов (т.е. он содержит целое или половинное число драконических месяцев; в первом случае Луна возвращается к тому же самому узлу, во втором — к противоположному).

Согласно А.Обо, Гиппарх исходил из соотношения б). Условие 2) было, таким образом, выполнено автоматически. Затем он установил, что наименьшим множителем, на который следует умножить б), удовлетворяющим приближенно условиям 1) и 3), будет 17. Умножение б) на 17 приводит к соотношению $4267 \text{ синод. мес.} = 4573 \text{ аном. мес.}$, откуда величина периода $29;31,50,8,20^d \times 4267 \approx 126\,007^d + 1;5^h$ и, следовательно, период содержит $4267 : 12;22,8 = 344;58,42 \text{ солн. лет}$, во время которых Солнце проходит $344 \times 360 + 352;14^\circ$ (в тексте: $352\frac{1}{2}^\circ$) по долготе, и $4267 \times \frac{5458}{5923} \approx 4630;31,54 \text{ дракон. мес.}$ Условия 1) и 3), таким образом, оказываются приближенно выполненными. Из сказанного, однако, не следует, что Гиппарх вообще не производил наблюдений при определении периода лунных затмений, однако его наблюдения, по-видимому, только подтвердили соотношения, принятые в вавилонской астрономии. По этому вопросу см. [Toomer, 1980; НАМА, р.310–312].

К.Манициус в примечаниях к этому месту отмечает, что, согласно таблицам Птолемея, среднее солнце за период в $126007^d 1^h$ совершает 344 полных оборота и проходит еще $356;59^\circ$, т.е. до полного оборота ему недостает $3;1^\circ$, а не $7;30^\circ$, как предполагал Гиппарх. Противоречие это, однако, может быть объяснено достаточно просто. Положение Солнца в таблицах Птолемея определяется относительно точки весеннего равноденствия, а принятая Гиппархом величина — относительно неподвижных звезд. Если разделить величину разности $7;30^\circ - 3;1^\circ = 4;29^\circ = 16140''$ на период в 345 лет, то получим приближенное значение годовой прецессии $46,8''$ (точное значение для той эпохи — $49,8''$ за год) [НА I, 196, Апп.б); Petersen, 1967].

9. Речь идет об определении периода лунной аномалии. Если τ — период аномалии, то уравнение Луны будет тем же самым в моменты t_0 и $t_0 + \tau$ независимо

от выбора t_0 , и соответствующие приращения истинной долготы Луны будут равны приращениям средней долготы: $\Delta\lambda_\zeta = \Delta\bar{\lambda}_\zeta$. Следовательно, если τ — период аномалии, то ему соответствует всегда одно и то же приращение истинной долготы Луны $\Delta\lambda_\zeta$. Но истинная долгота Луны определяется из наблюдений лунных затмений по известной солнечной долготе. И если мы хотим определить период лунной аномалии τ , то мы должны найти два промежутка $\Delta t = \Delta t' = \tau$ таких, что соответствующие значения $\Delta\lambda_\zeta$ и $\Delta\lambda'_\zeta$ равны; это можно сделать при помощи двух пар лунных затмений.

Равенство промежутков Δt и $\Delta t'$ между парами затмений, однако, не обязательно приводит к равенству $\Delta\lambda_\zeta$ и $\Delta\lambda'_\zeta$, поскольку Солнце имеет аномалию. Птолемей приводит один пример: предположим, что промежуток между затмениями $\Delta t = n + \frac{1}{2}$ лет, и пусть первое затмение первой пары находится в E (рис. 4-В), где AP — линия апсид, O — местонахождение наблюдателя, а второе — соответственно в E' , в точках, где уравнение Солнца $c = 2;23^\circ$ максимально; тогда $\Delta\lambda = 180^\circ + 2c = 184\frac{3}{4}^\circ$; если же первое затмение второй пары находится в E' , а второе в E , то $\Delta\lambda' = 180^\circ - 2c = 175\frac{1}{2}^\circ$. Таким образом, здесь равным значениям $\Delta t = \Delta t'$ соответствуют разные значения $\Delta\lambda$ и $\Delta\lambda'$.

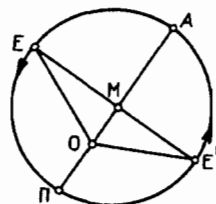


Рис. 4-В

После этого Птолемей формулирует четыре условия, которым должны удовлетворять пары затмений, чтобы влияние солнечной аномалии было исключено. Если выполнено одно из следующих условий: 1) Солнце совершает целое число оборотов ($\tau = n$), 2) Солнце совершает $n + \frac{1}{2}$ оборота, но первый интервал начинается в апогее, а второй в перигее, 3) начальные точки интервалов лежат на одной и той же долготе, 4) начало первого интервала находится на α° до, а конец второго — на α° после апогея, то равенство $\Delta t = \Delta t'$ приводит к соотношению $\Delta\lambda_\zeta = \Delta\lambda'_\zeta$. Подробнее см. [НАМА, р.71–72, 1223, fig. 58–60].

10. Слово $\delta\rho\omicron\mu\omicron\varsigma$, которое И.Н.Веселовский переводит как «скорость», в ранней греческой астрономии обозначало расстояние, которое Луна проходит по долготе за одни сутки [РА, р.177, п.14]; соответственно Дж.Тумер переводит его как speed. Места с наименьшей, наибольшей и средней скоростью — это соответственно апогей, перигей и находящиеся посередине между ними точки лунной орбиты.

Птолемей отмечает, что равенство приращений истинной долготы Луны $\Delta\lambda_\zeta = \Delta\lambda'_\zeta$ при сопоставлении двух промежутков $\Delta t = \Delta t'$ является необходимым, но недостаточным условием для того, чтобы Δt было периодом аномалии. Возможны три случая, когда это равенство выполняется, но величины аномалии в начале и в конце промежутков будут при этом неравны, и, значит, $\Delta t = \Delta t'$ не будет периодом аномалии. Смысл утверждений Птолемея можно проиллюстрировать с помощью эпициклической модели. Три ситуации, о которых пишет Птолемей, таковы: 1) начальным точкам промежутков E_1, E_2 соответствует аномалия α , а конечным точкам E'_1, E'_2 — $\alpha' \neq \alpha$ [рис. 4-С, а]; приращение истинной долготы при этом составит $\Delta\lambda = \Delta\bar{\lambda} + \Delta c$; 2) на первом промежутке движение происходит от перигея к апогею, на втором — от апогея к перигею; здесь $\Delta c = 0$, и $\Delta\lambda = \Delta\lambda' = \Delta\bar{\lambda}$, но $\alpha' - \alpha = 180^\circ$ [рис. 4-С, б]; 3) начальная точка первого промежутка E_1 и конечная точка второго E_2 симметричны относительно линии апсид эксцентра; здесь также $\Delta\lambda = \Delta\lambda' = \Delta\bar{\lambda} + \Delta c$, поскольку $\alpha \neq \alpha'$ [рис. 4-С, в]. Подобные ситуации необходимо избегать при выборе промежутков $\Delta t = \Delta t'$ при определении периода аномалии [НАМА, р.72, 1224, fig. 61].

11. Пары затмений необходимо подбирать таким образом, чтобы возможное несовпадение промежутков $\Delta t = \Delta t'$ с периодом аномалии было максимально заметным. Другими словами, если $\Delta t = \Delta t'$ не содержит целое число периодов

аномалии, то разность $|\Delta\lambda - \Delta\lambda'|$ должна быть максимальной. В этой связи Птолемей рассматривает две ситуации:

1. Начальные точки промежутков E_1 и E_2 находятся на эпицикле соответственно в апогее A и перигее Π эпицикла, т.е. в точках, максимально различающихся по скорости; если $\Delta t = \Delta t'$ не содержит целое число периодов аномалии, то конечные точки E_1' и E_2' не совпадут с начальными. В экстремальной ситуации

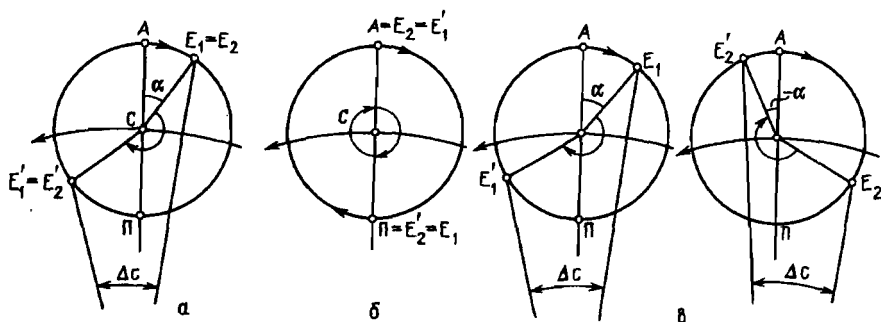


Рис. 4-С

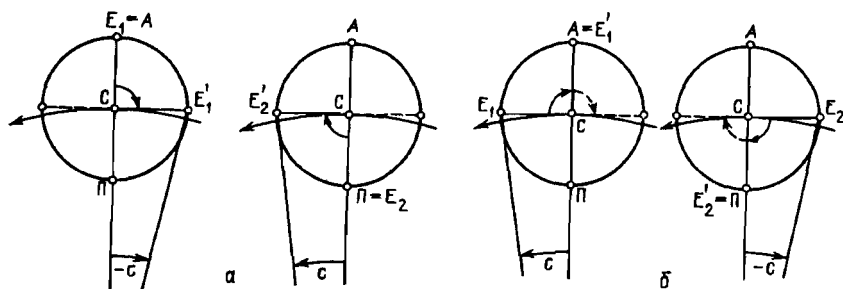


Рис. 4-D

[рис. 4-D, а] они будут находиться в точках средней скорости, где уравнение c максимально; при этом $\Delta\lambda = \lambda(E_1') - \lambda(E_1) = -c$, а $\Delta\lambda' = \lambda(E_2') - \lambda(E_2) = c$, отсюда $|\Delta\lambda - \Delta\lambda'| = 2c$.

2. Начальные точки промежутков E_1 , E_2 находятся в точках средней скорости, где уравнение максимально, но имеет противоположный знак [рис. 4-D, б]. При этом возможны две ситуации при несовпадении промежутков $\Delta t = \Delta t'$ с периодом аномалии: а) конечные точки промежутков отстоят от начальных на четверть или три четверти круга, при этом $|\Delta\lambda - \Delta\lambda'| = 2c$, как в п.1; б) конечные точки отстоят на пол оборота, т.е. находятся также в точках средней скорости, при этом $\Delta\lambda = -2c$, $\Delta\lambda' = +2c$ и $|\Delta\lambda - \Delta\lambda'| = 4c$ [НАМА, p.72,1225, fig. 62].

12. См. выше с.105 и коммент. 7. Об использовании «четверти знака» как единицы для измерения угловых перемещений в греческой астрономии см. [Neugebauer, 1983, p.368-369]. О том, какие затмения мог использовать Гиппарх при определении периода аномалии, см. [Toomer, 1980].

13. Об уточнении средних скоростей движения Луны см. кн.IV, гл.7, 9.

14. Приведенные величины характеризуют скорости движения Луны по долготе, аномалии, широте и элонгации, т.е. соответственно скорости изменения углов $\gamma_{OC'} = \bar{\lambda}$, $\alpha_{CM} = \bar{\alpha}$, $\gamma_{OC'} = \bar{\omega}'$, и $\beta_{OC'} = \bar{\eta}$ на рис. 4-Е. Средние скорости движения вычислены с точностью до 6-го шестидесятичного знака после запятой. Это означает, что за 900 лет от начальной эпохи (-746) до эпохи самого Птолемея

(+150) погрешность в значении средней долготы составит около 1–2". Такую точность Птолемей, вероятно, считал достаточной для вычислений, однако она на порядок или даже больше превосходит все, что могли дать наблюдения. Шесть шестидесятеричных знаков сохранены в таблицах средних движений кн. IV, гл. 4, что представляется излишним. В «Подручных таблицах», напротив, имеет место другая крайность — в них сохранены только минуты [НАМА, р. 971].

15. Птолемей рассматривает два неравенства, из которых первое c_1 , известное еще Гиппарху, зависит от положения Луны относительно апогея, подобно солнечной аномалии, и имеет своим периодом аномалистический месяц, второе c_2 , открытое Птолемеем (анализируется в кн. V, гл. 2–4), есть функция расстояния Луны от Солнца по долготе (элонгации): его влияние равно нулю в сизигиях и достигает максимума в квадратурах. Первое неравенство эквивалентно «главному эллиптическому неравенству» современной лунной теории, отражающему некруговой характер ее орбиты, второе — эвекции, неравенству, имеющему небесномеханическое происхождение [Идельсон, с. 212–213; НАМА, р. 1106–1108]. О методах Гиппарха, применявшихся для определения параметров движения Луны, см. кн. V, гл. 11, а также [НАМА, р. 309–311; Toomer, 1967; 1973; 1981].

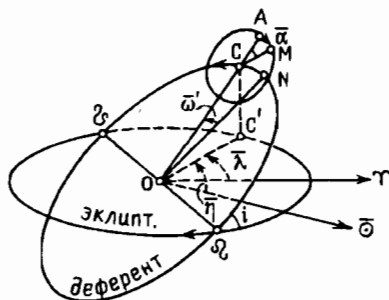


Рис. 4-Е

16. Речь идет об аномалистическом и тропическом периодах движения Солнца. Предполагаемое равенство этих периодов есть следствие ошибки, допущенной Птолемеем при определении долготы апогея Солнца. Если положение апогея фиксировано относительно точки весеннего равноденствия, то два указанных периода равны. Ошибка Птолемея была исправлена в начале IX в. н.э. астрономами ал-Мамуна [Куртик, 1986, с. 116–122].

17. Дуги двух кругов различного диаметра «подобны» (ὁμοιοῦς) если определяющие их центральные углы равны.

18. В кн. III, гл. 3 показано, что модели с эксцентром и эпициклом взаимозаменяемы, если выполняются два условия: а) $r = e$ (радиус эпицикла равняется эксцентриситету); б) средние аномалии $\bar{\kappa}$ и $\bar{\alpha}$ или, что то же, средние скорости движения по долготе и по аномалии ω_λ и ω_α равны по абсолютной величине, но направлены в противоположные стороны. Эти условия выполняются в теории движения Солнца, однако в случае Луны, как показано в кн. IV, гл. 3, $|\omega_\lambda| > |\omega_\alpha|$ и, значит, $\bar{\kappa} > \bar{\alpha}$ при фиксированном Δt . Эквивалентность эпициклической и эксцентрической моделей будет сохранена, если: а) как и прежде, $r = e$; б) в эпициклической модели $\bar{\kappa} > \bar{\alpha}$; в) на эксцентре положение Луны относительно линии апсид определяется величиной $\bar{\alpha}$ (а не $\bar{\kappa}$, как было до сих пор), причем линия апсид сама вращается вокруг центра эклиптики в том же направлении, что и светило, со скоростью $\omega_\lambda > \omega_\alpha$, перемещаясь соответственно на угол $\bar{\kappa} - \bar{\alpha}$ относительно точки весеннего равноденствия за интервал Δt . Эквивалентность моделей доказывается Птолемеем для двух случаев: 1) $R_d = R_e$ (радиусы деферента и эксцентра равны); 2) $R_d \neq R_e$, но $\frac{r}{R_d} = \frac{e}{R_e}$.

19. В тексте — «диаметр»; такого рода обозначение встречается достаточно часто. — Примеч. И. Н. Веселовского.

20. Кн. IV, гл. 5.

21. Птолемей предполагает сначала, что движение Луны подчиняется простой эпициклической модели. Требуется определить ее параметры, т.е. отношение $\frac{r}{R}$

радиуса эпицикла к радиусу деферента и момент, когда Луна проходит через апогей эпицикла. Задача будет иметь единственное решение, если для трех моментов t_1, t_2, t_3 известны значения истинной долготы Луны $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, средней долготы $\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \bar{\lambda}_3$, средней аномалии $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_3$ и соответствующие приращения $\Delta\lambda_{12} = \lambda_2 - \lambda_1$, $\Delta\lambda_{23} = \lambda_3 - \lambda_2$, $\Delta\bar{\lambda}_{12} = \bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1$, $\Delta\bar{\lambda}_{23} = \bar{\lambda}_3 - \bar{\lambda}_2$, $\Delta\bar{\alpha}_{12} = \bar{\alpha}_2 - \bar{\alpha}_1$, $\Delta\bar{\alpha}_{23} = \bar{\alpha}_3 - \bar{\alpha}_2$. Средние долготы и средние аномалии Луны можно найти при помощи таблиц средних движений кн.IV, гл.4 по известным моментам t_1, t_2, t_3 ; истинные долготы определяются на основе лунных затмений. Птолемей при вычислении параметров эпициклической модели использует две тройки затмений, разделенные большим промежутком времени. Они дают (по его вычислениям) одно и то же значение максимального уравнения Луны $c_1 \max = \max |\lambda_c - \bar{\lambda}_c|$, но приводят к величине ω_a , отличающейся от той, которая получена в кн.IV, гл.3 с помощью лунных периодов.

22. Т.е. определяемого независимо от величины второго лунного неравенства.

23. «Первая», или «простая» — кинематическая модель движения Луны, описание которой приводит Птолемей, используется для нахождения средних скоростей Луны по долготе и аномалии и величины неравенства c_1 . В этой модели плоскость лунной орбиты, содержащая деферент NC , наклонена к плоскости эклиптики с центром в O под углом $i = 5^\circ$ (рис. 4-Е). Плоскость лунной орбиты вращается равномерно в направлении против последовательности знаков вокруг оси, проходящей через O перпендикулярно плоскости эклиптики. При этом линия узлов $\Omega \vartheta$ на эклиптике вращается в направлении против последовательности знаков со скоростью $\omega_\beta - \omega_\lambda \approx 0;3,11^\circ/d$, что равносильно периоду обращения 18,6 года. Центр эпицикла C на деференте равномерно движется в направлении последовательности знаков со скоростью ω_β . Луна M на эпицикле движется также равномерно со скоростью ω_a в обратном направлении. Таким образом, в этой схеме положения Луны в произвольный момент определяются тремя возрастающими равномерно углами: а) средней долготой Луны $\bar{\lambda} = \angle \hat{O}C'$, которая измеряется в плоскости эклиптики от точки весеннего равноденствия Υ до точки C' проекции центра эпицикла C на эклиптику; б) средним аргументом широты $\bar{w}' = \angle \hat{O}C$, отсчитываемым в плоскости наклонной орбиты Луны от наиболее северной точки деферента N ; в) средней аномалией $\bar{\alpha} = \angle \hat{C}M$, отсчитываемой от апогея эпицикла A . Кроме этих трех углов в лунной теории Птолемея имеет значение также угол $\bar{\eta} = \angle \hat{O}C'$ — средняя элонгация Луны (расстояние на эклиптике точки C' относительно среднего Солнца $\odot$).

24. Максимальная возможная погрешность в долготе, если пренебречь наклоном лунной орбиты, составит, согласно Птолемею, около $5'$ (кн.VI, гл.7, с.192); см. в этой связи также [НАМА, р.83, п.5].

25. -720, март 19; это самое древнее наблюдение из всех, используемых в «Альмагесте»; Мардокемпад — царь Мардук-апла-иддин (721-710 до н.э.), упоминаемый в Библии под именем Меродах Валадана (Ис. 39:1; Иер. 50:2).

Всего в «Альмагесте» приводятся сведения о 19 лунных затмениях, наблюдавшихся задолго до или в эпоху самого Птолемея. Они представляют интерес с точки зрения современной теории движения Луны. Описания Птолемея неоднократно рассматривались в современной астрономической и историко-астрономической литературе. Наилучший анализ наблюдений см. в [Britton, 1967; Ньютон, 1985]; там же, а также в [SA, App. A] см. полную библиографию вопроса; характеристики затмений, рассчитанные современными методами, см. в [Oppolzer, 1885; Ginzler, 1899; Neugebauer, 1931; Meeus, Mucke, 1979].

Приводим по [Britton, 1967, p.75] характеристики затмений, используемых Птолемеем, рассчитанные современными методами. Буквой В обозначен Вавилон, буквой А — Александрия, буквой Р — Родос, τ_0 и τ_1 — местное истинное время

средней и начальной фаз затмения, отсюда полудлительность $\frac{\Delta\tau}{2} = \tau_0 - \tau_1$; величина фазы затмения m дана в «дюймах» (диаметр лунного диска считается равным 12 «дюймам»; см. также коммент. 68 к кн. VI); долгота Солнца приближенная. Вероятная погрешность в определении моментов τ_0 и τ_1 , по Дж. Бриттону, составляет около $\pm(0;6 \div 0;5)^h$.

№	Дата, место	Средняя фаза (τ_0)	Начальная фаза (τ_1)	Величина фазы (m)	Долгота Солнца ($\lambda_\odot$)
1	– 720: III: 19 В	21; 49 ^h	19; 55 ^h	18,2''	351,5°
2	– 719: III: 8 В	23; 56	23; 14	1,5	340,7
3	– 719: IX: 1 В	20; 15	19; 3	6,1	150,9
4	– 620: IV: 22 В	5; 34	4; 43	2,1	24,4
5	– 522: VII: 16 В	23; 56	22; 35	6,1	106,6
6	– 501: XI: 20 В	0; 23	23; 35	2,1	231,9
7	– 490: IV: 25 В	22; 59	22; 20	1,7	28,5
8	– 382: XII: 23 В	8; 12	7; 18	3,0	267,0
9	– 381: VI: 18 В	21; 24	20; 3	5,9	80,5
10	– 381: XII: 12 В	23; 15	21; 30	18,2	256,2
11	– 200: IX: 22 А	19; 12	17; 42	8,5	176,0
12	– 199: III: 20 А	0; 59	23; 11	16,0	355,4
13	– 199: IX: 12 А	2; 32	0; 41	19,3	165,0
14	– 173: V: 1 А	1; 57	0; 39	7,4	35,7
15	– 140: I: 27 Р	21; 48	20; 57	2,8	304,5
16	+ 125: IV: 5 А	20; 53	20; 7	1,8	14,3
17	+ 133: V: 6 А	23; 5	21; 19	12,9	44,2
18	+ 134: X: 20 А	23; 5	21; 31	10,1	206,3
19	+ 136: III: 6 А	3; 29	2; 8	5,5	344,6

26. Истинные долготы Солнца и Луны в момент средней фазы лунного затмения различаются на 180° . Следовательно, если нам известна долгота Солнца, то известна и долгота Луны. Предварительно, однако, мы должны определить истинное время средней фазы затмения τ_0 . Однако в наблюдениях обычно фиксировали не момент средней фазы, а время первого τ_1 или последнего τ_2 касаний кругом земной тени лунного диска в сезонных часах истинного времени. Соответственно Птолемей находит: а) приближенную долготу Солнца $\lambda'_\odot$ по известной дате затмения; б) продолжительность ночи в равноденственных часах на широте места наблюдения при $\lambda_\odot = \lambda'_\odot$; в) τ_1 и τ_2 в равноденственных часах истинного солнечного времени; г) полудлительность затмения $\frac{\Delta\tau}{2}$; д) $\tau_0 = \tau_1 + \frac{\Delta\tau}{2} = \tau_2 - \frac{\Delta\tau}{2}$ в равноденственных часах местного истинного времени; е) τ_0 для меридиана Александрии. Полученное таким образом значение τ_0 используется для определения истинной долготы Солнца непосредственно, т.е. без учета уравнения времени. О возможных причинах неучета уравнения времени см. в [НАМА, р.64].

Рассмотрим подробнее вычисления Птолемея.

Дата наблюдения 27-й год эры Набонассара, тот 29.

А. Приближенная долгота Солнца (кн. III, гл. 2, 6)

Δt	$\Delta \bar{\lambda}_{\odot}$
18^y	$355;37,26^\circ$
8^y	$358;3,18^\circ$
28^d	$27;35,52^\circ$
$\sim 6^h$	$0;15^\circ$
$\Delta t \approx 26^y 28^d 6^h$	$741;32^\circ$

Вычитаем целые обороты $\Delta \bar{\lambda}'_{\odot} = 21;32^\circ$.

Расстояние Солнца от апогея: $\bar{\kappa} = 265;15^\circ + 21;32^\circ = 286;47^\circ$; уравнение Солнца $c \approx 2;15^\circ$, отсюда $\lambda'_{\odot} = \bar{\kappa} + c + \lambda_a = 286;47^\circ + 2;15^\circ + 65;30^\circ = 354;32^\circ = 24;32^\circ$ Рыб.

Б. Продолжительность ночи в равноденственных часах на широте Вавилона при $\lambda'_{\odot} \approx 354;32^\circ$ определяется при помощи таблиц времен восходов (кн. II, гл. 3) для

Родоса ($M = 14\frac{1}{2}^h$); поскольку это ночь, берем значения ρ для точки эклиптики, отстоящей от Солнца на 180° . Соответственно находим

$$\rho(24;34^\circ \text{Рыб}) = 356;37^\circ$$

$$\rho(24;34^\circ \text{Девы}) = 173;26^\circ$$

$$\Delta = 183;11^\circ$$

Отсюда продолжительность ночи $\frac{\Delta}{15^\circ} = 12;13^h$ (в тексте: 12^h ; поскольку дата затмения близка к равноденствию, Птолемей предполагает, что продолжительность дня и ночи одинакова).

В. Согласно Птолемею, момент восхода Луны совпадает с заходом Солнца; затмение началось, когда прошло уже «более часа» после восхода Луны. Выражение «более часа» интерпретируется им как $1\frac{1}{2}^h$, отсюда $\tau_1 = 4\frac{1}{2}$ равноденственным часам истинного времени до полуночи.

Г. Полудлительность затмения. Каким образом определялась эта величина, неизвестно; можно, однако, показать, что значение $\frac{\Delta \tau}{2} = 2^h$, принятое Птолемеем, в точности соответствует значению, вычисленному по таблицам лунных затмений кн. VI, гл. 8 (см. также коммент. 106, 107 кн. VI). В самом деле,

1) средняя аномалия Луны $\bar{\alpha}$ для момента τ_1 (приведение к меридиану Александрии в данном случае не влияет на конечный результат) (кн. IV, гл. 4):

Δt	$\Delta \bar{\alpha}$
18^y	$156;56^\circ$
8^y	$349;45^\circ$
28^d	$5;49^\circ$
7^h	$3;49^\circ$
$0;30^h$	$0;16^\circ$
$\Delta t = 26^y 28^d 7;30^h$	$516;35^\circ \rightarrow 156;35^\circ$

отсюда $\bar{\alpha} = 156;35^\circ + 268;49^\circ = 425;24^\circ \rightarrow 65;24^\circ$;

2) истинная часовая скорость движения Луны v_c для момента τ_1 (см. кн. VI, гл. 4 и коммент. 12 той же кн.); по таблицам лунного неравенства (кн. IV, гл. 10) находим $\Delta c(\alpha) = c(\alpha + 1^\circ) - c(\alpha) \approx 0,0388^\circ$, откуда $v_c = 0;32,56 - 0;32,40 \times 0,0388 = 0;31,40^\circ/\text{h}$;

3) движение Луны по долготе от момента первого контакта земной тени и лунного диска до начала полной фазы затмения; определяется согласно методике, изложенной в кн. VI, гл. 8–9 (см. также коммент. 98, 106, 107 к кн. VI): $q(\alpha) = 0;16,31$; $\eta'_a = 0;31;20^\circ$; $\eta'_p = 0;35,20^\circ$, откуда $\eta' = 0;31,20^\circ + (0;35,20^\circ - 0;31,20^\circ) \times 0;16,31 = 0;32,26^\circ$;

4) движение Луны по долготе за время от начала полной фазы до момента средней фазы $q(\alpha) = 0;16,31^\circ$; $\eta''_a = 0;25,4^\circ$; $\eta''_p = 0;28,16^\circ$; $\eta'' = 0;25,4^\circ + (0;28,16 - 0;25,4) \times 0;16,31 = 0;26^\circ$. Отсюда элонгация Луны в момент τ_1

$$\eta = \eta' + \eta'' = 0;58^\circ;$$

5) продолжительность затмения

$$\frac{\Delta\tau}{2} = \tau_0 - \tau_1 = \frac{13}{12} \frac{\eta}{v_c} = 1,98^{\text{h}} \approx 2^{\text{h}},$$

как указано в тексте. Отсюда находим момент средней фазы.

Д. Момент средней фазы

$$\tau_0 = \tau_1 + \frac{\Delta\tau}{2} = 21\frac{1}{2}^{\text{h}} \text{ до полуночи.}$$

Е. Положения Солнца в таблицах средних движений (кн. III, гл. 8) отсчитываются от полудня Александрии. Местное солнечное время затмения в Вавилоне поэтому должно быть приведено к меридиану Александрии. Используемая при этом временная разность $\Delta T = 50^{\text{m}}$ (правильное значение — $58,5^{\text{m}}$) соответствует долготной разности $12\frac{1}{2}^\circ$. В «Географии» применяется другое значение ΔT [РА, р. 191, п. 31].

Истинная долгота Солнца в момент τ_0 (Набонассара 27, тот 29, $8^{\text{h}}40^{\text{m}}$, полдень в Александрии)

Δt	$\Delta \bar{\lambda}_\odot$
18^{y}	$355;37,26^\circ$
8^{y}	$358; 3,18^\circ$
28^{d}	$27;35,52^\circ$
8^{h}	$0;19,43^\circ$
$0;40^{\text{h}}$	$0; 1,39^\circ$

$$\Delta t = 26^{\text{y}}28^{\text{d}}8;40^{\text{h}} \rightarrow 741;37,58^\circ \rightarrow 21;37,58^\circ$$

$\bar{\kappa} = 265;15^\circ + 21;38^\circ = 286;53^\circ$; $\bar{\lambda}_\odot = \bar{\kappa} + \lambda_a = 352;23^\circ$; $c = 2;15^\circ$ и $\lambda_\odot = \bar{\lambda}_\odot + c = 354;38^\circ = 24;38^\circ \text{ Рыб}$ (в тексте: $24;30^\circ \text{ Рыб}$; о возможных причинах расхождения см. в [Ньютон, 1985, с. 133 и след.; НАМА, р. 65; НА I, 431–435]).

27. –719, март 8/9; «палец» — $\frac{1}{12}$ диаметра лунного диска; см. также таблицу в коммент. 25.

28. Описание этого наблюдения отличается от других аналогичных. Птолемей приводит сразу же значение τ_0 — местное истинное время средней фазы затмения, не объясняя, каким путем оно было получено.

Отсюда истинная долгота Солнца в момент τ_0 (Набонассара 28, тот 18, 11; 10^h; полдень в Александрии)

Δt	$\Delta \bar{\lambda}_{\odot}$
18 ^y	355;37,26°
9 ^y	357;48,43°
17 ^d	16;45,21°
11 ^h	0;27, 6°
0;10 ^h	0; 25°

$$\Delta t = 27^y 17^d 11;10^h \rightarrow 730;39,1^\circ \rightarrow 10;24^\circ;$$

$\bar{\kappa} = 265;15^\circ + 10;39^\circ = 275;54^\circ$; $\bar{\lambda}_{\odot} = \bar{\kappa} + \lambda_a = 341;24^\circ$; $c = 2;21^\circ$, отсюда $\lambda_{\odot} = \bar{\lambda}_{\odot} + c = 341;24^\circ + 2;21^\circ = 343;45^\circ = 13;45^\circ$ Рыб (в тексте приведена аналогичная величина).

29. -719, сентябрь 1.

30. Расчеты производились согласно методике, описанной в коммент. 26. Птолемеи предполагает, что интервал от восхода Луны (равен заходу Солнца) до начала затмения равен $1/2^h$. Указанное значение $\Delta t = 3^h$ соответствует величине фазы затмения $m = 8''$, если производить вычисления по таблицам кн.VI, гл.8-9.

Убедимся в правильности последнего утверждения.

1. Средняя аномалия Луны в момент τ_1 (Набонассара 28, фаменот 14; 7^h, полдень, Вавилон; приведение к меридиану Александрии не влияет на конечный результат):

Δt	$\Delta \bar{\alpha}$
18 ^y	156;56°
9 ^y	78;28°
180 ^d	191;41°
14 ^d	182;54°
7 ^h	3;48°

$$\Delta t = 27^y 194^d 7^h \rightarrow 613;47^\circ \rightarrow 253;47^\circ$$

$\bar{\alpha} = 268;49^\circ + 253;47^\circ = 522;36^\circ \rightarrow 162;36^\circ$.

2. Истинная скорость движения Луны по долготе в $1/2^h$ для вычисленной величины $\bar{\alpha}$: $\Delta c = c(\alpha + 1^\circ) - c(\alpha) \approx 0;6^\circ$ (кн.IV, гл.10); $v_c = 0;32,56 + 0;32,40 \times \Delta c(\alpha) = 0;36,12^\circ/h$ (кн.VI, гл.4, коммент. 12).

3. Элонгация Луны η в момент τ_1 для $m = 8''$ (кн.VI, гл.8-9): $q(\alpha) = 0;58,24$; $\eta_a = 0;43,50^\circ$; $\eta_p = 0;49,25^\circ$, отсюда $\eta = \eta_a + (\eta_p - \eta_a) \cdot q(\alpha) = 0;49,16^\circ$.

4. Полудлительность затмения

$$\frac{\Delta \tau}{2} = \frac{13}{12} \frac{\eta}{v_c} = 1;28^h \approx 1,5^h \text{ (соответствует тексту).}$$

Отсюда средняя фаза затмения в Вавилоне имела место при $\tau_0 = \tau_1 + \frac{\Delta \tau}{2} = 8 1/2^h$ после полудня, или за $3 1/2^h$ до полуночи. Приведение к меридиану Александрии дает $\tau_0 = 3 1/2^h + 5/6^h = 4 1/3^h$ до полуночи. Отсюда истинная долгота

Солнца в момент τ_0 (Набонассара 28, фаменот 15; время — 7;40^h после полудня в Александрии)

Δt	$\Delta \bar{\lambda}_{\odot}$
18 ^y	355;37,25°
9 ^y	357;48,42°
180 ^d	177;24,51°
14 ^d	13;47,56°
7 ^h	0;17,14°
0;40 ^h	0; 1,39°

$$\Delta t = 27^y 194^d 7;40^h \rightarrow 904;57,47^\circ \rightarrow 184;57,47^\circ$$

$\bar{\kappa} = 184;58^\circ + 265;15^\circ = 450;13^\circ \rightarrow 90;13^\circ$, $\bar{\lambda}_{\odot} = \bar{\kappa} + \Delta \bar{\lambda}_{\odot} + \lambda_a = 155;43^\circ$, $c = -2;23^\circ$ и, значит, $\lambda_{\odot} = \bar{\lambda}_{\odot} + c = 153;20^\circ = 3;20^\circ$ Девы (в тексте: 3;15 Девы); полученное значение $\lambda_{\odot}$ меньше используемого Птолемеом на 0;5°; о возможных причинах расхождений см. в [НА I, 434–435; НАМА, р.65; Ньютон, 1985, с.133 и след.].

31. Моменты средних фаз лунных затмений определялись в истинном солнечном времени. Отсюда промежутки между затмениями истинного времени $\Delta t_{12} = t_2 - t_1 = 354^d 2;30^h$, $\Delta t_{23} = t_3 - t_2 = 176^h 20;30^h$. Но для определения средних движений Луны по долготе и аномалии необходимо знать соответствующие промежутки среднего времени, которые находим согласно методике, рассмотренной в кн. III, гл.9 согласно формуле $\Delta \bar{t} = \Delta t + \Delta \alpha - \Delta \bar{\lambda}$. Необходимые для нахождения $\Delta \bar{t}$ значения средней и истинной долгот Солнца вычислены в коммент. 26, 28, 30:

$$\bar{\lambda}_1 = 352;23^\circ, \quad \bar{\lambda}_2 = 341;24^\circ, \quad \bar{\lambda}_3 = 155;43^\circ,$$

$$\lambda_1 = 354;38^\circ, \quad \lambda_2 = 343;45^\circ, \quad \lambda_3 = 153;20^\circ.$$

Отсюда $\Delta \bar{t}_{12} = -10;59$; $\Delta \bar{t}_{23} = 174;19^\circ$. Прямые восхождения $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ определяем по таблице кн. II, гл.8, столбец «Прямая сфера» по истинной долготе Солнца: $\alpha_1 = 355;5^\circ$, $\alpha_2 = 345;3^\circ$, $\alpha_3 = 155;18^\circ$, отсюда $\Delta \alpha_{12} = -10;2^\circ$, $\Delta \alpha_{23} = 170;15^\circ$ и $\Delta \bar{t}_{12} = \Delta t_{12} + 0;57^\circ \approx \Delta t_{12} + 0;4^h = \Delta t_{12} + 1/15^h$; $\Delta \bar{t}_{23} = \Delta t_{23} - 4;4^\circ \approx \Delta t_{23} - 0;16^h$ (в тексте: $-0;18^h$) [НАМА, р.64–65; РА, р.651–652].

32. При определении средних движений Луны по долготе и аномалии за интервалы $\Delta \bar{t}_{12}$ и $\Delta \bar{t}_{23}$ Птолемей использует гиппарховы значения средних скоростей, которые еще должны быть уточнены в дальнейшем. Разность между точными и приближенными значениями в данном случае незначительна, поскольку интервалы времени малы. В этом состоит сильная сторона разработанного Гиппархом метода трех затмений: небольшие погрешности в значениях средних скоростей не влияют на точность определения параметров лунной орбиты.

33. Птолемей качественно определяет положение апогея и перигея лунного эпицикла относительно зафиксированных положений трех лунных затмений. «Дуга добавляет к среднему значению», если при данном $\Delta \alpha$ имеем $\Delta \bar{\lambda} > \Delta \lambda$, в противном случае «дуга отнимает от среднего движения». «Добавление» имеет место, если дуга средней аномалии $\Delta \bar{\alpha}$ лежит у перигея эпицикла, «отнимание» — если $\Delta \bar{\alpha}$ у апогея. Предполагается также, что если $\Sigma \Delta \bar{\alpha}_i = 360^\circ$, то соответствующая сумма центральных углов $\Sigma \delta_i = \Sigma(\Delta \lambda_i - \Delta \bar{\lambda}_i)$ равна нулю; детальный анализ процедуры Птолемея см. в [НАМА, р.74].

34. Птолемей решает следующую задачу. Известно, что в модели с эпициклом три положения Луны на эклиптике А, В, Г (рис. 4.4) характеризуются приращениями а) средней аномалии $\Delta\bar{\alpha}_1 = \widehat{BA} = 53;35^\circ$ и $\Delta\bar{\alpha}_2 = \widehat{AG} = 96;51^\circ$; б) центральных углов $\delta_1 = \widehat{E\Delta A} = 3;24^\circ$, $\delta_2 = \widehat{E\Delta G} = 0;37^\circ$. Требуется определить отношение радиуса эпицикла к радиусу деферента. Решение дается согласно следующей схеме.

1. Полагая $\Delta E = 120^P$, Птолемей определяет длины хорд ЕА, ЕГ и ГА по отношению к ΔE .

2. Полагая $2r = 120^P$, он определяет расстояние ΔE и хорду ЕГ по отношению к диаметру эпицикла $2r$.

3. Находит дугу ЕГ (по хорде ЕГ), а также дугу и хорду ВЕ.

4. Зная ΔE и ВЕ, определяет радиус деферента $R = \Delta K$ (рис. 4.6) по отношению к радиусу эпицикла $2r (= 120^P)$; затем, полагая $R = 60^P$, находит обратное отношение $\frac{r}{R}$, и в итоге $r = 5;13^P$.

Аналогичная процедура применяется также для определения параметров лунной орбиты по тройке лунных затмений, наблюдаемых самим Птолемеем. Подробный анализ см. в [Нейгебауэр, 1968, с.201–204; Delambre, 1817, II, р.147 и след.; НАМА, р.73–78; SA, р.172–177].

35. Подразумевается соотношение $В\Delta \cdot \Delta E = \Delta\Lambda \cdot \Delta M$ — следствие теоремы о касательной и секущей круга [Евклид, III, 36].

36. $\Delta\Lambda \cdot \Delta M + KM^2 = \Delta K^2$ [Евклид, II, 7].

37. 133, май 6. Сообщения Птолемея о лунных затмениях, наблюдавшихся им самим, отличаются от приведенных выше описаний вавилонских наблюдений. Птолемей не приводит величин (τ_1 или τ_2), зафиксированных непосредственно во время наблюдений, а дает сразу же значение τ_0 . О вычислении τ_0 см. коммент. 26, а также таблицу в коммент. 25.

38. 134, октябрь 20; см. также таблицу в коммент. 25.

39. 136, март 6; см. также таблицу в коммент. 25.

40. Указанные значения истинной долготы Солнца ($\lambda_1 = 13;15^\circ$ Тельца; $\lambda_2 = 25;10^\circ$ Весов; $\lambda_3 = 14;3^\circ$ Рыб) точно соответствуют моментам средних фаз ($t_1 = 879^y289^d11;15^h$, $t_2 = 881^y91^d11^h$, $t_3 = 882^y228^d16^h$ от начальной эпохи), если производить вычисления по таблицам Птолемея (кн. III, гл. 2, 6). При вычислении не учитывалось, по-видимому, уравнение времени [НА I, 437; Ньютон, 1985, с.133].

41. Здесь, как и выше (с.119 и коммент. 31), определяются интервалы среднего времени Δt по интервалам истинного солнечного времени Δt .

42. См. коммент. 32. Дальнейшие вычисления соответствуют методике, рассмотренной в коммент. 33, 34.

43. Если дуга эпицикла $\Delta\bar{\alpha}$ а) содержит меньше 180° , б) «прибавляет к долготе», т.е. приводит к неравенству $\Delta\lambda_\zeta > \Delta\bar{\lambda}_\zeta$, то она необходимо должна быть расположена вблизи перигея и поэтому не содержит апогей эпицикла.

44. См. коммент. 35.

45. См. коммент. 36.

46. -719, март 8 и 134, октябрь 20, см. также с.118, 123 и таблицу в коммент. 25.

47. Птолемей здесь принимает уравнение времени $E = -1/2^h$; точное значение, вычисленное по его же таблицам, $E = -28 1/2^m$ [Hamilton etc., 1987, р.59; РА, р.204, п.48].

48. Вычисления Птолемея содержат ошибки; точные значения приращения долготы и аномалии, вычисленные на основе гиппарховых значений средних скоростей (кн. IV, гл.3), за указанный период: $\Delta\bar{\lambda} = 224;47,12^\circ$, $\Delta\bar{\lambda} = 52;32,11$ [НАМА, р.79];

расхождение не является пренебрежимо малым, оно сказывается в дальнейшем при определении значений средних скоростей.

49. -719, март 8/9; см. с.118 и таблицу в коммент. 25.

50. Согласно Птолемею, уравнение времени $E \approx 0$; в действительности это не так. Интервал истинного времени $\Delta t = 27^y 17^d 11;10^h$; поскольку одна из его границ (t_1) совпадает с начальной эпохой t_0 , промежуток среднего времени можно определить по упрощенной формуле $\bar{\Delta t} = \Delta t + (\bar{\alpha} - 335;8^\circ) - (\bar{\lambda} - 330;45^\circ)$ (коммент. 76 к кн.III); соответственно находим $\bar{\lambda}(t_2) = 341;24^\circ$, $\lambda(t_2) = 343;45^\circ$, $\alpha(t_2) = 345;3^\circ$ (коммент. 28, 31) и $\bar{\Delta t} = \Delta t - 0;44^\circ \approx \Delta t - 0;3^h$. Полученное значение уравнения времени ($E = 0;3^h$) уменьшает среднюю долготу и аномалию Луны в момент t_0 по сравнению с принятыми Птолемеем на $0;1^\circ$.

51. При определении среднего движения по широте, согласно методу Гиппарха, известными считаются следующие величины: а) угловой диаметр Луны на среднем расстоянии $d_c = \frac{360^\circ}{650} = 0;33,14^\circ$; б) отношение диаметра земной тени $2u$ к диаметру

Луны d_c на среднем расстоянии $\frac{2u}{d_c} = 2;30$; в) наклон $i = 5^\circ$ орбиты Луны к плоскости эклиптики; г) моменты средних фаз t_1, t_2 (и, следовательно, интервал $\Delta t = t_2 - t_1$) и величины фаз m_1, m_2 двух затмений, наблюдавшихся вблизи одного узла; д) средняя аномалия Луны $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2$ и уравнение аномалии c_1, c_2 в моменты t_1, t_2 .

Кратко рассмотрим процедуру Гиппарха. Пусть на рис. 4-F NA — эклиптика, NB — орбита Луны, A — центр земной тени на эклиптике, B — центр Луны, N — узел лунной орбиты, $DC = m$ — величина затмения в угловых единицах. Отсюда расстояние между центром земной тени и центром Луны $AB = u + r_c - m$, а расстояние центра Луны

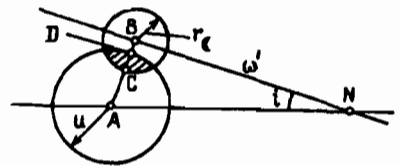


Рис. 4-F

относительно узла $BN = \frac{AB}{\operatorname{tg} i}$. Расстояние BN представляет истинный аргумент широты ω' , измеренный относительно узла лунной орбиты.

По известной аномалии $\bar{\alpha}$ и уравнению c можно найти положение центра эллипса в плоскости орбиты относительно узла, или средний аргумент широты $\bar{\omega}' = \omega' - c$. Таким образом в моменты средних фаз двух затмений t_1 и t_2 будут известны значения среднего аргумента широты $\bar{\omega}'_1$ и $\bar{\omega}'_2$.

Средняя скорость движения по широте определится отсюда по формуле

$$\bar{\omega}_\beta = \frac{360^\circ n + (\bar{\omega}'_2 - \bar{\omega}'_1)}{t_2 - t_1},$$

где n — число полных оборотов за интервал Δt . Метод Гиппарха обладает одним существенным недостатком: в нем предполагается, что величины d_c и u одинаковы в моменты t_1 и t_2 , что в принципе неверно и может приводить к разным значениям средней скорости $\bar{\omega}_\beta$ при использовании разных пар затмений. Этот недостаток устранен в методе Птолемея, рассмотренном ниже [НАМА, р.313–314]. Как показал Гамильтон, величина $\bar{\omega}_\beta$, принятая в «Канопской надписи», предшествует по времени «Альмагесту» и была получена Птолемеем на основе метода Гиппарха [Hamilton etc., 1987, р.57–60].

52. В кн.IX и XI, посвященных Меркурию и Сатурну, не содержится упоминаний о подобных исправлениях. Однако параметры движения этих планет, принятые в «Альмагесте» и «Канопской надписи», существенно отличаются как в числовом

отношении, так и с точки зрения формы. Согласно [Hamilton etc., 1987], «Канопская надпись» предшествует «Альмагесту». Не исключено поэтому, что исправление на самом деле имело место.

53. Движение по широте, согласно Птолемею, определяется аргументом широты ω' , измеряемым в плоскости лунной орбиты относительно ее наиболее северной точки N (рис. 4-G). Величина ω' связана с аргументом широты современной лунной теории, отсчитываемым от восходящего узла, простым соотношением $\omega' = \omega - 90^\circ$. В теории Птолемея необходимо различать средний аргумент широты $\bar{\omega}' = \widehat{NOC}$, определяющий положение центра эпицикла на деференте, и истинный аргумент широты $\omega' = \widehat{NOM}$, дающий положение самой Луны. Разность $\omega' - \bar{\omega}' = c$, где $c = (\lambda_c - \bar{\lambda}_c)$ — уравнение аномалии, или эпициклическая аномалия Луны, представленная в табличном виде в кн. IV, гл. 10. Средний аргумент широты изменяется линейно, согласно формуле $\bar{\omega}'(t) = \bar{\omega}'(t_0) + \bar{\omega}_\beta(t - t_0)$, где $\bar{\omega}'(t_0)$ — значение в начальную эпоху, $\bar{\omega}_\beta$ — средняя

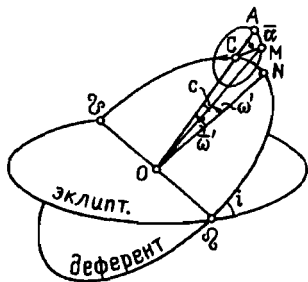


Рис. 4-G

скорость. Для построения теории, таким образом, необходимо знать два параметра: среднюю скорость $\bar{\omega}_\beta$ и начальное значение $\bar{\omega}'(t_0)$. Обе величины Птолемей находит в настоящей главе. Подробнее см. [НАМА, р.80–82, Fig. 72].

54. Птолемей, как и Гиппарх, при определении средней скорости $\bar{\omega}_\beta$ использует наблюдения лунных затмений. Согласно его методике, для определения $\bar{\omega}_\beta$ необходимо выбрать два затмения, разделенных большим промежутком времени, таких, что в моменты их средних фаз t_1, t_2 истинные аргументы широты Луны равны ($\omega'_1 = \omega'_2$). При этом

$$\bar{\omega}_\beta = \frac{360^\circ n + (\bar{\omega}'_2 - \bar{\omega}'_1)}{t_2 - t_1} = \frac{360^\circ n + (\omega'_2 - c_2) - (\omega'_1 - c_1)}{t_2 - t_1} = \frac{360^\circ n + (c_1 - c_2)}{t_2 - t_1},$$

где n — число полных оборотов за интервал $t_2 - t_1$; $\bar{\omega}'_1, \bar{\omega}'_2$ — средние аргументы широты; c_1, c_2 — значения эпициклического уравнения соответственно в моменты t_1, t_2 .

В методе Птолемея не нужно определять положения Луны относительно узлов, как это имеет место в методе Гиппарха, однако возникает другая трудность — выбор пары затмений с одинаковыми значениями истинного аргумента широты. Равенство $\omega'_2 = \omega'_1$ будет иметь место, если выполняются следующие четыре условия: а) величины фаз затмений равны ($m_1 = m_2$); б) затмения происходят у одного и того же узла (восходящего или нисходящего); в) во время затмений Луна затмевается с одной и той же стороны (северной или южной); г) в моменты средних фаз геоцентрические расстояния до Луны OM (рис. 4-G) равны. Последнее необходимо, чтобы из а) можно было сделать вывод о том, что оба затмения произошли на одинаковом расстоянии от узла. Подробнее см. [НАМА, р.80–82].

55. –490, апрель 25; Дарий I — ахеменидский царь, правивший с 522 по 486 г. до н.э.; «на 2 пальца», т.е. на две двенадцатые диаметра лунного диска; см. также таблицу в коммент. 25.

56. 125, апрель 5; см. также таблицу в коммент. 25.

57. Полагая $\bar{\omega}_\beta \approx 13;13,45,40^\circ/d$, находим приращение среднего аргумента широты за интервал $\Delta t = 224609^d$ между двумя затмениями: $\Delta \bar{\omega}'(\Delta t) = 8253 \times \times 360^\circ + 351^\circ$. Следовательно, затмения имели место вблизи одного и того же узла.

58. Значения аномалии Луны в моменты средних фаз $\alpha_1 = 100;19^\circ$ и $\alpha_2 = 251;53^\circ = -108;7^\circ$; положения Луны, таким образом, симметричны относительно линии апсид, и, значит, она находится приблизительно на одинаковом расстоянии от наблюдателя.

59. В обоих случаях уравнение времени вычислено с погрешностью около 4^m , но эта погрешность нейтрализуется в дальнейшем при вычислении интервала Δt между затмениями [РА, р.207, п.58].

60. Если использовать гиппархово значение средней скорости $\omega_\beta = 13;13,45,39,40,17,19^\circ/d$, то приращение среднего аргумента широты за интервал $\Delta t = 615^y 133^d 21;50^h \approx 224609^d$ (за вычетом целых оборотов) составит $\Delta\bar{\omega}' = -10;2^\circ$; наблюдения же самого Птолемея дают $\Delta\bar{\omega}' = c_1 - c_2 = -5;0^\circ - 4;53^\circ = -9;53^\circ$; разница $0;9^\circ$ пересчитывается на один день и прибавляется к гиппархову значению средней скорости.

61. -719, март 8/9, см. с.118, коммент. 27 и таблицу в коммент. 25.

62. -501, ноябрь 19/20; Камбиз — ахеменидский царь, правивший с 520 по 522 г. до н.э.; см. также таблицу в коммент. 25.

63. В моменты средних фаз каждого из затмений Луна находилась приблизительно в апогее эпицикла, поскольку аномалия $\alpha_1 = 12;24^\circ$ и $\alpha_2 = 2;44^\circ$. Затмения имели место у противоположных узлов, поскольку приращение среднего аргумента широты за интервал $\Delta t \approx 79880^d$ между затмениями $\Delta\bar{\omega}' = \omega_\beta \Delta t \approx 2935 \times 360^\circ + 160^\circ$.

64. Если два затмения удовлетворяют четырем сформулированным выше условиям (с.128 и коммент. 54) за исключением условия б), которое заменяется на противоположное (затмения происходят у противоположных узлов лунной орбиты), то для них можно записать соотношение (рис. 4.11)

$$AG = AZ + ZH + HG = 180^\circ,$$

где $AZ = AD + DZ = x + |c_1|$ — расстояние центра эпицикла Z относительно восходящего узла A в момент t_1 ; $ZH = \bar{\omega}_\beta \Delta t$ — приращение среднего аргумента широты за интервал $\Delta t = t_2 - t_1$; $HG = EG - HE = (x - |c_2|)$ — расстояние центра эпицикла H относительно нисходящего узла Г в момент t_2 ; $x = AZ = GE$ — расстояние Луны от узлов ее орбиты в моменты средних фаз затмений t_1 и t_2 . Птолемей соответственно находит $c_1 = -0;59^\circ$, $c_2 = -0;13^\circ$, $ZH = 160;4^\circ$; таким образом, имеем соотношение

$$(x + 0;59^\circ) + 160;4^\circ + (x - 0;13^\circ) = 180^\circ,$$

отсюда $x = 9;35^\circ$, $AZ = 10;34^\circ$, $HG = 9;22^\circ$.

65. О геометрическом методе вычисления простафереза, или уравнения аномалии s как функции аномалии α , см. кн.III, гл.5.

66. Данный фрагмент представляет единственное известное нам свидетельство о гиппарховом определении радиуса эпицикла r и эксцентриситета e лунной орбиты. Однако приведенные Птолемеем числа, по-видимому, искажены; они перевычислены Птолемеем и к тому же с погрешностью. Дж.Тумер показал, что Гиппарх при определении параметров лунной орбиты использовал значение радиуса деферента $R = 3438^p$ (вместо $R = 60^p$, используемого Птолемеем), которое позднее мы находим в средневековой индийской астрономии [Toomer, 1973]. Основанием для подобного деления, по-видимому, служит предположение о том, что радиус можно измерить в тех же единицах, что и окружность. Поскольку окружность содержит 360 частей, полагая $\pi \approx 3;8,30$, находим $R = 360^\circ/2\pi \approx 57;18' = 3438'$ [НАМА, р.299–300]. Если произвести деление точно, получаем $R : e = 3144 : 3272\frac{1}{2} \approx 60 : 6;15,11\dots$, и соответствующее значение $c_{\max} = 4;59^\circ$; $3122\frac{1}{2} : 247\frac{1}{2} \approx 60 : 4;45,21\dots$, и $c_{\max} = 4;33^\circ$. В

последнем отношении согласие со значением $c_{\max} = 4;34^\circ$, приведенным Птолемеем, будет полным, если вместо $3122\frac{1}{2}$ взять $3112\frac{1}{2}$ [РА, р.211, п.62]. Использование Гиппархом двух разных отношений r/R и e/R свидетельствует, возможно, о его неуверенности в постоянстве величины радиуса эпицикла или эксцентриситета; см. по этому поводу [НАМА, р.315].

Величина $e = 6;15^p$ была принята в несохранившейся книге Гиппарха «О размерах и расстояниях (Солнца и Луны)», выдержку из которой приводит Папп в его комментариях к «Альмагесту» [Rome, 1931, р.68; Toomer, 1967].

67. Неизвестно, кого в данном случае имеет в виду Птолемей.

68. Противоречивый результат, полученный Гиппархом, обусловлен, согласно Птолемею, не погрешностями наблюдений, а ошибками вычислений самого Гиппарха. Чтобы убедиться в этом, он определяет моменты средних фаз каждого из шести использованных Гиппархом лунных затмений в среднем солнечном времени на меридиане Александрии и находит по своим таблицам соответствующие значения долготы Солнца $\lambda_\odot$ и Луны λ_ζ . Затмение считается наблюдаемым точно, если выполняется соотношение $\lambda_\odot - \lambda_\zeta = \pm 180^\circ$. Совпадение теории и данных наблюдений служит здесь критерием истинности наблюдений. Указанное соотношение точно выполняется для каждого из шести затмений Гиппарха (согласно Птолемею, погрешность не превосходит $0;4^\circ$, на самом деле — $0;6^\circ$), что побудило Р.Ньютона предполагать подделку [Ньютон, 1985, с.124 и след.]. Однако вычисленные значения интервалов между затмениями не согласуются с теми, которые использовал Гиппарх. Птолемей не приводит подробных вычислений, однако найденные им значения интервалов между затмениями дают в первом случае $e \approx 5;16^p$, во втором $r \approx 5;13^p$, т.е. величины, близко согласующиеся с полученным им самим значением $r = 5;15^p$ [НАМА, р.317–318]. Последнее обстоятельство заставляет также подозревать здесь некоторую подгонку под желаемый результат.

69. –382, декабрь 23; это и два следующих наблюдения имеют двойную датировку — в астрономическом календаре Метона, в котором использовались месяцы гражданского афинского календаря [Toomer, 1974], и по эре Набонассара. Можно заключить поэтому, что «эра Набонассара» применялась греческими астрономами уже во времена Гиппарха. Здесь «со стороны летнего восхода», т.е. с северо-востока; см. также таблицу в коммент. 25.

70. Для каждого из шести затмений Птолемей находит: а) среднее солнечное время τ_0 средней фазы затмения в Александрии; б) соответствующие значения истинной долготы Солнца и Луны $\lambda_\odot$ и λ_ζ , сравнение которых позволяет оценить качество наблюдений. Рассмотрим вычисления Птолемея на примере первого затмения.

Дата затмения: Набонассара 366, тот 26; время начала затмения: $5\frac{1}{2}$ сезонного часа после полуночи.

1. Приближенная долгота Солнца (кн. III, гл. 2, 6):

Δt	$\Delta \bar{\kappa}$
360^y	$272;28^\circ$
5^y	$358;47^\circ$
25^d	$24;38^\circ$
$\sim 17^h$	$0;42^\circ$
$\Delta t \sim 365^y 25^d 17^h$	$656;35^\circ$
	$+ 265;15^\circ$
	$921;50^\circ \rightarrow 201;50^\circ$

Расстояние от апогея: $\bar{\kappa} = 201;50^\circ$; уравнение $c = 0;55^\circ$; средняя долгота $\bar{\lambda}_\odot = \bar{\kappa} + \lambda_a = 267;20^\circ$; истинная долгота $\lambda_\odot = \bar{\kappa} + \lambda_a + c = 268;15^\circ = 28;15^\circ$ Стрельца.

2. Продолжительность ночи в равноденственных часах на широте Вавилона (соответствует широте Родоса, где $M = 14\frac{1}{2}^h$) для установленного значения $\lambda_\odot = 28;15^\circ$ Стрельца. По таблице кн. II, гл. 8 находим времена восхода дуг эклиптики в градусах времени:

$$\rho(28;15^\circ \text{ Стрельца}) = 286;47^\circ,$$

$$\rho(28;15^\circ \text{ Близнецов}) = 69;24^\circ.$$

Разность времен восхода: $\Delta\rho = 217;23^\circ$.

Продолжительность ночи в равноденственных часах

$$\frac{\Delta\rho}{15^\circ} = 14;30 \approx 14\frac{1}{2}^h \text{ (текст: } 14\frac{2}{5}^h\text{)}.$$

Длина одного сезонного часа во временных градусах

$$\frac{\Delta}{12} = 18;7^\circ \text{ (текст: } 18^\circ\text{)}.$$

3. Истинное время начала затмения в Вавилоне (если принять птолемеёво значение для сезонного часа 18°)

$$\frac{5\frac{1}{2}^h \times 18^\circ}{15^\circ} = 6\frac{3}{5}^h,$$

или $18\frac{3}{5}^h$ после полудня, что соответствует $17\frac{3}{4}^h$ после полудня в Александрии, считая от полудня.

4. Полудлительность затмения в равноденственных часах:

а) Аномалия Луны $\bar{\alpha}$ в момент начала затмения τ_1 (таблице кн. IV, гл. 4):

Δt	$\Delta \bar{\alpha}$
360^y	$258;44^\circ$
5^y	$83;35^\circ$
25^d	$326;37^\circ$
17^h	$9;15^\circ$
$3/4^h$	$0;25^\circ$
$\Delta t = 365^y 25^d 17\frac{3}{4}^h$	$678;36^\circ$
	$+$
	$268;49^\circ$
$\bar{\alpha} =$	$947;25^\circ \rightarrow 227;25^\circ$

б) Истинная часовая скорость движения Луны v_c для установленных даты и времени τ_1 (кн. VI, гл. 4, коммент. 12). По таблице лунного неравенства (кн. IV, гл. 10) находим

$$c(227;25^\circ) = +3;55^\circ, \quad c(228;25^\circ) = +3;58^\circ,$$

$$\Delta c = c(\alpha + 1^\circ) - c(\alpha) = 0;0,3,$$

$$v_c = 0;32,56^\circ + 0;32,40^\circ \cdot \Delta c = 0;34,34^\circ/h.$$

в) Птолемей не приводит наблюдаемую величину затмения; если примем $m = 2''$, то по таблицам кн. VI, гл. 8 находим

$$\eta'_a = 0;16,59^\circ, \quad \eta'_p = 0;19,9^\circ, \quad q(\alpha) \approx 0;49,30;$$

элонгация Луны в начальный момент τ_1 :

$$\eta' = \eta'_a + (\eta'_p - \eta'_a) \cdot q(\alpha) \approx 0;26;13^\circ.$$

Отсюда полудлительность затмения

$$\frac{\Delta\tau}{2} = \frac{13}{12} \frac{\eta}{v_c} \approx 0,82^h,$$

а общая продолжительность

$$\Delta\tau = 1,6^h \text{ (в тексте: } 1\frac{1}{2}^h).$$

Если примем $m = 1''$, то аналогичные вычисления дают $\Delta\tau = 1,18^h$.

6. Истинное солнечное время средней фазы затмения в Вавилоне

$$\tau_1 + \frac{\Delta\tau}{2} = 1835^h + 34^h = 191\frac{1}{3}^h,$$

в Александрии

$$191\frac{1}{3}^h - 5\frac{1}{6}^h = 181\frac{1}{2}^h;$$

интервал от начальной эпохи птолемеевых таблиц $\Delta t = 365^y 25^d 181\frac{1}{2}^h$ истинного времени.

7. Среднее солнечное время средней фазы затмения определяется по формуле коммент. 76 кн. III. Соответственно находим в момент $\tau_1 + \frac{\Delta\tau}{2}$ среднюю долготу Солнца (кн. III, гл. 3) $\bar{\lambda}_\odot = 267;25^\circ$; истинную долготу $\lambda_\odot = 268;20^\circ$; прямое восхождение $\alpha = 268;11^\circ$. Отсюда

$$\Delta\bar{t} = \Delta t + (\alpha - 335;8^\circ) - (\bar{\lambda} - 330;45^\circ) = \Delta t - 3;37^\circ \approx$$

$$\approx \Delta t - \frac{1}{4}^h = 365^y 25^d 181\frac{1}{4}^h \text{ среднего времени.}$$

8. Истинные долготы Солнца и Луны в момент средней фазы затмения:

Δt	$\Delta \bar{\lambda}_\odot$	$\Delta \bar{\lambda}_\zeta$	$\Delta \bar{\alpha}$
360 ^y	272;28,32°	136;37,23°	258;44,52
5 ^y	358;47, 3	286;53,51	83;35,37
25 ^d	24;38,27	329;24,34	326;37,28
18 ^h	0;44,21	9;52,56	9;47,55
1/4 ^h	0; 0,37	0; 8,14	0; 8, 9
$\Delta \bar{t} = 365^y 25^d 181\frac{1}{4}^h$	$\begin{array}{r} 656;39 \\ + \\ 265;15 \\ \hline \bar{\kappa} = 921;54^\circ \rightarrow 201;54^\circ \\ c = +0;55^\circ \\ \lambda_\odot = \bar{\kappa} + c + \lambda_a = 268;19^\circ = \\ = 28;19^\circ \text{ Стрельца} \end{array}$	$\begin{array}{r} 762;57 \\ + \\ 41;22 \\ \hline \bar{\lambda}_\zeta = 804;19^\circ \rightarrow 84;19^\circ \\ \lambda_\zeta = \bar{\lambda}_\zeta + c = 88;15^\circ = \\ = 28;15^\circ \text{ Близнецов} \end{array}$	$\begin{array}{r} 678;54 \\ + \\ 268;49 \\ \hline \bar{\alpha} = 947;43^\circ \rightarrow 227;43^\circ \\ \text{Отсюда } c = 3;56^\circ. \end{array}$

Соотношение $\lambda_\odot = \lambda_\zeta + 180^\circ$ в указанный Гиппархом момент выполняется с точностью до 0;4°. Можно поэтому утверждать, основываясь на таблицах Птолемея,

что наблюдение, зафиксированное в работе Гиппарха, произведено точно. Такого рода вычисления должны были производиться в каждом из шести случаев.

71. –381, июнь 18; «от точки летнего восхода», т.е. от северо-востока; см. также таблицу в коммент. 25.

72. На самом деле разность истинных долгот Солнца и Луны, если производить вычисления по таблицам Птолемея, составляет здесь $0;6^{\circ}$ [НАМА, р.317, п.15].

73. –381, декабрь 12/13; далее Птолемей утверждает, что затмение началось «за $2\frac{1}{2}$ часа до полуночи», т.е. через $3\frac{1}{2}$ сезонных часа после ее начала. Чтобы устранить это противоречие, К.Манициус предлагает читать фразу «по истечении четырех часов [ночи]» как «когда четвертый час наступил» [НА I, 249 Апм. с)]; Дж.Тумер предлагает другое прочтение: «когда три часа [ночи] прошло» (заменяя δ на γ); во всех манускриптах, однако, стоит δ [РА, р.213, п.68]. См. также таблицу в коммент. 25.

74. В некоторых рукописях стоит $175;8^{\circ}$ — число, принятое Гейбергом [Hei I 344,5], но исправленное К.Манициусом и Дж.Тумером [НА I, 250; РА, р.213, п.70].

75. –200, сентябрь 22; см. также таблицу в коммент. 25.

76. На самом деле разность истинных долгот Солнца и Луны, если вычесть 180° , составляет здесь $0;2^{\circ}$ [НАМА, р.317, п.15].

77. Это число стоит в рукописях [Hei I 345,12]. Иделер, однако, считает, что его необходимо исправить на «54» (исправление принято К.Манициусом [НА I, 252]), поскольку год в цикле Калиппа начинается с летнего солнцестояния, и, стало быть, это затмение и предыдущее должны попадать в один год [Ideler, 1806, р.216–217]. Дж.Тумер, однако, оставляет «55», полагая, что Гиппарх, который использовал египетский календарь в рамках цикла Калиппа, начинал год не с летнего солнцестояния, а с 1 тот; в этом случае 55-й год захватывает 2-е и 3-е затмения из данной тройки [РА, р.214, п.72].

78. –199, март 20; см. также таблицу в коммент. 25.

79. На самом деле разность истинных долгот Луны и Солнца, если вычесть 180° , составила здесь $-0;3^{\circ}$, т.е. она на $0;4^{\circ}$ меньше полученной Птолемеем [НАМА, р.317, п.15].

80. –199, сентябрь 12; см. также таблицу в коммент. 25.

81. Действительная разность истинных долгот Солнца и Луны составляет здесь $0;3^{\circ}$ [НАМА, р.317, п.15].

82. Искаженная в греческом тексте фраза «и на половину с третью и десятой частью» восстановлена Дж.Тумером. При таком прочтении разности временных интервалов Птолемея и Гиппарха составляют

$$\text{II} - \text{I}: 6\frac{1}{6}^h - 6^h = 5\frac{1}{6}^h = \frac{1}{2}^h + \frac{1}{3}^h; \text{III} - \text{II}: 1\frac{1}{3}^h - 2\frac{5}{6}^h = 1\frac{1}{15}^h = \frac{1}{2}^h + \frac{1}{3}^h + \frac{1}{10}^h$$

[РА, р.215, п.75; НА I, 253, Апм. с); Toomer, 1973].

КНИГА ПЯТАЯ

1. Речь идет об открытой Птолемеем лунной эвекции, упоминавшейся выше, см. кн.IV, гл.5, с.109 и коммент. 15 к той же книге, а также кн.V, гл.2–3.

2. Примеры подобных наблюдений, выполненных Гиппархом и Птолемеем, приводятся в кн.V, гл.3, 5, кн.VII, гл.2.

3. Инструмент, описанный в настоящей главе, известен в современной литературе под названием «армиллярная сфера». Название, используемое Птолемеем ($\alpha\sigma\tau\rho\omicron\lambda\alpha\beta\nu\ \omicron\rho\gamma\alpha\nu\nu$), означает буквально «инструмент для взятия [положений] звезд». Этот инструмент, по-видимому, был известен уже Гиппарху. Помимо Птолемея, его описание приводит также Папп в комментариях к книге V «Альмагеста» [Rome, 1931] и Прокл в «Гипотезах» [Manitius, 1909]. Современная реконструкция инструмента, основанная на сведениях античных авторов, выполнена А.Ромом [Rome, 1927]. Принцип действия, конструктивные особенности и точностные характеристики инструмента рассмотрены на современном уровне М.Ю. Шевченко

и Влодарчиком [Шевченко, 1988, (1) и (2); Włodarczyk, 1987]. Историю армиллярной сферы от античности до времени Тихо Браге см. в [Nolte, 1922].

4. Схематическое изображение армиллярной сферы на рис. 5-А соответствует реконструкции А.Ромы и М.Ю.Шевченко. В квадратных скобках в тексте указаны номера кругов и осей инструмента, принятые на рис. 5-А, где кольцо 1 представляет инструментальную эклиптику; кольцо 2, жестко скрепленное с 1 под прямым углом, — колор солнцестояний; система колец 1-2 крепится диаметрально противоположными осями $d-d$ к кольцу 3, установленному внутри неподвижно закрепленного в плоскости небесного меридиана кольца 4; вращение кольца 3 внутри 4 позволяет совмещать ось $d-d$ с осью мира. К кольцу 2 осями $e-e$ (в зазоре между кольцами 4 и 2) крепятся кольцо 5, предназначенное для визирования на опорное светило, и одновременно кольцо 6 (внутри колец 1 и 2) для измерения широты; на внутренней поверхности кольца 6 соосно с ним установлено кольцо 7, несущее визиры $b-b$. Инструментальная эклиптика 1 и круг широты 6 имеют шкалы для считывания значений долготы и широты. На кольце 4 также, вероятно, имелась шкала для установки зависящего от широты места наблюдения наклона оси $d-d$, о которой Птолемей не упоминает. По сообщению Паппа, диаметр внешнего круга 4 составлял приблизительно один локоть (~44,4 см), а величина квадратного сечения круга — $1/30$ локтя (~1,4 см) [Rome, 1927, p.82]. Изображение армиллярной сферы Птолемея, выполненное в точном масштабе, см. в [Шевченко, 1988, с.170, рис. 1]; там же рассмотрены проблемы, связанные с градуировкой шкал инструмента. Номера кругов армиллярной сферы на рис. 5-А соответствуют принятым в указанной работе М.Ю.Шевченко.

5. Для ориентирования инструмента, согласно методике Птолемея, требуется знать предварительно долготу опорного светила (Солнца, Луны или звезды) в момент наблюдения. Устанавливая внешний круг 5 на соответствующее деление шкалы инструментальной эклиптики 1, поворачиваем систему колец 1-5 вокруг оси $d-d$, не сменяя их относительного положения, до тех пор, пока опорное светило не окажется в плоскости круга 5 и одновременно круга 1. Положение инструментальной эклиптики 1 в этот момент совпадает с положением небесной эклиптики, а нуль шкалы для отсчета долготы — с направлением на точку весеннего равноденствия.

Ориентирование инструмента по Солнцу возможно и без предварительного определения солнечной долготы. Для этого необходимо вращением вокруг оси $d-d$ совместить плоскость кольца 5 с направлением на Солнце и затем, вращая систему внутренних колец вокруг оси $e-e$, добиться аналогичного результата для инструментальной эклиптики. Птолемей, по-видимому, знал об этой возможности ориентирования астролябии [РА, p.219, п.4; p.224, п.11].

6. Буквально «расположенное над землей»; поскольку центр армиллярной сферы представляет центр Земли, ближайшее к глазу наблюдателя визирное отверстие будет поэтому «под Землей», а ему противоположное — «над Землей» [РА, p.219, п.6].

7. Рассматриваемая кинематическая модель призвана объяснить наряду с первым лунным неравенством также эвекцию. Основанием для ее введения служат данные наблюдений, показывающие, что: 1) в сизигиях второе неравенство (т.е. разность между наблюдаемым и вычисленным при помощи простой эпициклической модели положениями Луны) равно нулю; 2) в квадратурах оно минимально, или равно нулю, если Луна находится в апогее или в перигее эпицикла; 3) в квадратурах оно максимально, если Луна на эпицикле отстоит от апогея (перигея) на 90° ; 4) величина второго неравенства пропорциональна величине первого лунного неравенства. Наблюдаемые особенности движения Луны, согласно Птолемею, можно объяснить, предположив, что расстояние центра эпицикла относительно наблюдателя изменяется с течением времени так, что оно максимально в сизигиях и минимально в квадратурах.

Чтобы удовлетворить последнему требованию, Птолемей заменяет деферент, центр которого совпадает с центром эклиптики, как это принято в первой лунной модели (см. коммент. 23 к кн.IV), эксцентром, по которому перемещается центр

эпицикла. Плоский вариант рассматриваемой модели (без учета наклона лунной орбиты) представлен на рис. 5-В, где O — центр эклиптики (местонахождение наблюдателя), M — центр эксцента, $AMOP$ — линия апсид эксцента (где A — апогей, P — перигей), C — центр эпицикла, OY — направление на точку весеннего равноденствия. В модели Птолемея реализуются четыре равномерных вращения (три из них происходят вокруг центра эклиптики O и одно — вокруг центра эпицикла C): 1) плоскость эксцента вращается как единое целое вокруг точки O в обратном направлении со скоростью движения узлов $\omega_\beta - \omega_\lambda$; 2) Луна на эпицикле вращается

вокруг C в обратном направлении со скоростью приращения аномалии ω_α ; 3) центр эпицикла на эксцентре вращается вокруг O в прямом направлении со скоростью приращения аргумента широты ω_β ; 4) линия апсид эксцента вращается вокруг O в обратном направлении со скоростью $2\omega_\eta - \omega_\beta$.

Вращения, происходящие вокруг центра эклиптики O , отсчитываются от направления OY , считающегося неподвижным. Отсюда скорость движения центра эпицикла относительно OY составит $\omega_\beta - (\omega_\beta - \omega_\lambda) = \omega_\lambda$. Величина угла COA изменяется со скоростью $\omega_\beta + (2\omega_\eta - \omega_\beta) = 2\omega_\eta$, так что центр эпицикла за один месяц дважды оказывается в апогее (в сизигиях, когда элонгация Луны $\bar{\eta} = 0$ и $\bar{\eta} = 180^\circ$) и дважды в перигее (в квадратурах, когда $\bar{\eta} = 90^\circ$ и $\bar{\eta} = 270^\circ$) эксцента.

Требования наблюдений, таким образом, полностью выполнены. В самом деле, в сизигиях расстояние центра эпицикла от центра эклиптики $OC = OA = R$, как это имеет место в простой эпициклической модели, и поэтому для описания движения Луны по долготе достаточно одного неравенства c_1 ($c_2 = 0$). В квадратурах $OC = OP = R - 2e$ и соответственно $c_2 = 0$, когда Луна находится в апогее или перигее эпицикла ($\bar{\alpha} = 0$ или $\bar{\alpha} = 180^\circ$), и $c_2 = c_{2\max}$, когда Луна на эпицикле отстоит от апогея (перигея) на 90° ($\bar{\alpha} = 90^\circ$, или $\bar{\alpha} = 270^\circ$), при этом знаки c_1 и c_2 совпадают.

Согласно сформулированному самим Птолемеем принципу кинематического моделирования, видимая неравномерность движений светил должна представляться при помощи равномерных круговых движений. Но равномерным будет такое круговое движение, которое равномерно относительно центра круга (кн. III, гл. 3, с. 85). Однако в данной модели этот принцип не выполняется. Центр эпицикла C движется неравномерно относительно центра деферента M . Аналогичное нарушение имеет место в планетной теории Птолемея, в так называемой модели с эквантом, см. кн. IX, гл. 6 и коммент. 33 к кн. IX.

Всесторонний анализ птолемеевой модели движения Луны см. в [Идельсон, 1975, с. 209–214; Ньютон, 1985, с. 155–159; Нейгебауэр, 1968, с. 189–190; НАМА, р. 84–88; SA, р. 184–189; Petersen, 1969].

8. После слов «переносит апогей эксцента в Δ » нами опущены слова «и описывает вокруг центра Z эксцентр ΔH », как не имеющие смысла; в самом деле, ED не является радиусом эксцента и вращается вокруг E . По мнению Дж. Тумера, ошибка введена в текст при переписывании [РА, р. 221–222, п. 83].

9. Птолемей формулирует три условия, которым должны удовлетворять наблюдения Луны, используемые для определения величины второго неравенства: 1) в момент наблюдения Луна должна находиться на расстоянии около 90° от апогея или перигея эпицикла (в этом случае линия «наблюдатель—Луна» касается эпицикла и отклонение Луны от среднего положения максимально); 2) Луна должна находиться в квадратурах (расстояние центра эпицикла от наблюдателя при этом минимально);

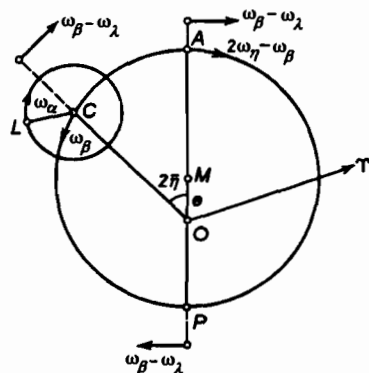


Рис. 5-В

3) параллакс Луны по долготе должен быть равен нулю; последнее условие будет выполнено, когда Луна находится в наивысшей точке эклиптики, где круг высоты, проходящий через светило, перпендикулярен эклиптике, и касательная к эклиптике параллельна линии горизонта; в этом случае видимая и истинная долготы Луны равны. При этом разность между измеренной долготой Луны и вычисленной по таблицам с помощью только первого неравенства дает максимум второго неравенства $c_{2\max}$. Для нахождения $c_{2\max}$ достаточно одного наблюдения Луны в квадратурах, удовлетворяющего перечисленным условиям, однако Птолемей приводит два таких наблюдения, произведенных Гиппархом и им самим.

10. 139, февраль 9. Анализ наблюдения см. в [Britton, 1967, p.142–143, Ньютон, 1985, с.151 и след.].

11. Три указанные величины получены, вероятно, на основе наблюдений. Во всяком случае, они отличаются от значений, вычисленных по таблицам Птолемея: долгота Солнца $\lambda_{\odot} = 318;44^{\circ}$ (ниже Птолемей приводит неверно определенное им значение $\lambda_{\odot}$, совпадающее с наблюдаемым), долгота кульминирующей точки эклиптики $\lambda(M) = 242;35^{\circ}$ (правило определения этой величины по известной $\lambda_{\odot}$, географической широте и времени см. кн. II, гл. 8–9).

Выше показано (см. коммент. 5), что инструментальная эклиптика астролябии могла ориентироваться по Солнцу без предварительного определения солнечной долготы, как того требует общая методика, изложенная в кн. V, гл. 1. Вероятно, именно этот способ ориентирования применялся в данном случае. Дж. Тумер, однако, считает, что величина $\lambda_{\odot}$ не наблюдалась, а была предварительно вычислена [РА, p. 224, п. 11].

12. Параллакс по долготе равен нулю, если круг высоты, проходящий через светило, перпендикулярен эклиптике. Этот угол, согласно методике Птолемея, можно найти по таблицам в кн. II, гл. 13 по трем параметрам: широте места наблюдения, долготе соответствующей точки эклиптики и расстоянию этой точки от меридиана, выраженному в равноденственных часах. В данном случае широта соответствует параллели Нижнего Египта; долгота $\lambda_{\zeta} = 219;40^{\circ}$; расстояние же от Луны до меридиана пропорционально разности «времен восхода» кульминирующей точки эклиптики и Луны и определяется по формуле $\Delta t = 0;4^h [\alpha(M) - \alpha(\zeta)]$, где долготу кульминирующей точки находим по долготу Солнца и времени наблюдения $\lambda(M) = 4^{\circ}$ Стрельца, а $\alpha(M) = 241;58^{\circ}$ и $\alpha(\zeta) = 217;11^{\circ}$ по таблице в кн. II, гл. 8; отсюда $\Delta t \approx 1;39^h$ к западу от меридиана (в тексте: $\sim 1\frac{1}{2}^h$). Величину угла, образованного кругом высоты и кругом эклиптики, находим далее по таблицам кн. II, гл. 13 двойной интерполяцией по времени и по долготу. Полученное значение ($83;5^{\circ}$) близко к 90° , и поэтому, как считает Птолемей, Луну можно считать находящейся в наивысшей точке эклиптики, где долготная составляющая параллакса равна нулю и, в результате, видимая долгота Луны равна истинной долготу. О. Нейгебауэр, однако, показал другим способом, что в действительности угол между кругом высоты и эклиптики составляет здесь $80;33^{\circ}$, общий параллакс $0;46^{\circ}$, а параллакс по долготу $0;8^{\circ}$ [НАМА, p. 91–92].

13. В данном случае уравнение времени $E \approx 0$.

14. Вычисления произведены верно, за исключением значения истинной долготы Солнца; по таблицам кн. III, гл. 3, 6 находим $\bar{\kappa} = 250;57^{\circ}$, $c = +2;17^{\circ}$; отсюда $\bar{\lambda}_{\odot} = 316;27^{\circ}$; $\lambda_{\odot} = 318;44^{\circ}$.

15. –127, август 5; в рукописях номер года в цикле Калиппа обозначен как 50 (ν'), но еще Иделер показал, что его необходимо изменить на 51 ($\nu a'$) [Britton, 1967, p. 132–134; НАМА, p. 92; Ideler, 1806, S. 217–218; РА, p. 224, п. 13; Ньютон, 1985, с. 152].

16. Перевод Дж. Тумера: «Скорость была такой, какой она должна быть в день 241» («The speed was [that of day] 241», или буквально «Истинное суточное движение было 241-м»). Число 241 здесь означает, по-видимому, не градусы, как принято в

переводах И.Н.Веселовского и К.Манициуса (последний интерпретирует его как аномалию и исправляет «241» на «259» [НА I, 266]), а номер дня в таблицах для нахождения истинного положения Луны по долготе за период 248 дней (~9 аномалистических месяцев), известный по клинописным источникам [АСТ, III, р.131, № 190] и упоминаниям в античной литературе [НАМА, р.810; Jones, 1983; РА, р.224, п.14].

17. При определении уравнения времени допущена ошибка; правильное значение $E = 0;16^h$ [НАМА, р.92–93].

18. Наблюдение Гиппарха может быть использовано для определения величины лунного неравенства, потому что выполняются три сформулированные выше (см. с.139 и коммент. 9) условия: 1) Луна находится в квадратуре ($\bar{\eta} = 86;15^\circ$) по данным Гиппарха и по вычислениям самого Птолемея; 2) Луна находится на расстоянии около 90° от апогея эпицикла ($\bar{\alpha} = 257;47^\circ$) по вычислениям Птолемея; 3) параллакс Луны по долготе равен нулю, как утверждает Гиппарх и что подтверждает также проверка Птолемея (вычисления не приводятся, но они безусловно производились, о чем свидетельствует упомянутое значение долготы кульминирующей точки эклиптики $\lambda(M) = 9^\circ$ Тельца). Расчеты О.Нейгебауэра показали, что третье условие здесь также выполнено [НАМА, р.92].

19. Определяется величина эксцентриситета лунной орбиты e , т.е. расстояние центра эксцента от центра эклиптики по отношению к радиусу. Ранее было показано, что если принять радиус эклиптики $AE = R = 60^p$, то радиус эпицикла $\Gamma\Theta = r = 5;15^p$, максимальное уравнение в квадратурах $c_{\max} = 7;40'' = \Theta\hat{E}\Gamma$. В квадратурах центр эпицикла совпадает с перигеем эксцента и расстояние до него от центра эклиптики $E\Gamma = R - 2e$. Из треугольника $\Theta E \Gamma$ в то же время находим $E\Gamma = \frac{r}{\sin c_{\max}} = 39;22^p$. Отсюда расстояние до перигея $R - 2e = 39;22^p$, эксцентриситет $e = 10;19^p$ и радиус эксцента $R - e = 49;41^p$.

Полученный результат позволяет оценить изменение геоцентрического расстояния до Луны, как его дает теория Птолемея. Наибольшее возможное расстояние $R_{\max} = R + r = 65;15^p$, наименьшее $R_{\min} = R - 2e - r = 34;7^p$, а их отношение $R_{\max} : R_{\min} \approx 2:1$. В таких пределах должны изменяться видимый диаметр лунного диска и параллакс Луны, что, однако, не выполняется в действительности. Птолемей, тем не менее, нигде не упоминает об этом противоречии, хотя трудно допустить, что он его не заметил. Несовершенство лунной модели Птолемея было устранено позднее в схеме двойного эпицикла, впервые встречающейся в трактате Ибн аш-Шатира (XIII–XIV вв. н.э.), а в европейской астрономии — у Коперника [Roberts, 1957; Коперник, О вращениях, кн.IV, гл.3, 8–9; Идельсон, 1975, с.214–215; Нейгебауэр, 1968, с.191–192; Neugebauer, 1968 (2); НАМА, р.88].

20. Положение точки $\bar{A}$ отсчета средней аномалии $\bar{\alpha}$ на эпицикле (рис. 5-С) определяется линией $BC\bar{A}$ (такой, что $OM = OB = e$), которая не совпадает с линией OCA' , проведенной из центра равномерного вращения O через центр

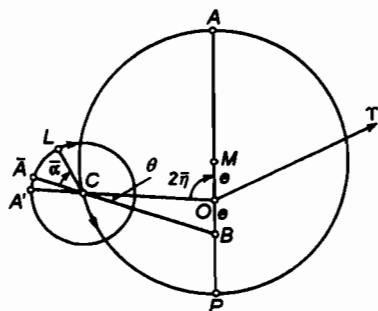


Рис. 5-С

эпицикла C . Линия $BC\bar{A}$ наклонена к OCA' , и в этом смысле эпицикл имеет «наклонение», или «просневсис» (πρόσνευσις). Величина «наклонения» характеризуется углом $\bar{A}CA'$. Аналогичный термин используется Птолемеем также в теории лунных затмений (кн.VI, гл.11–13, коммент. 122) в другом значении.

21. От величины угла $\bar{A}CA' = \theta$ (рис. 5-С).

22. В предыдущих главах рассмотрено движение Луны по долготе в сизигиях и квадратурах; в настоящей главе исследуется движение в октантах, когда величина удвоенной элонгации $2\bar{\eta} \approx 90^\circ$. Такой порядок рассмотрения повторяет, по-видимому, путь, пройденный Гиппархом, наблюдения которого цитирует Птолемей.

Положения Луны, вычисленные при помощи второй лунной модели, не согласуются в октантах с наблюдаемыми положениями. Согласие между теоретической схемой и наблюдением будет достигнуто, если изменить порядок отсчета средней аномалии $\bar{\alpha}$ на эпицикле. Отсчет следует вести от точки $\bar{A}$ эпицикла (см. рис. 5-С) такой, что линия $\bar{AC}$ пересекает линию апсид эксцентра AP всегда в одной и той же точке B , причем $BO = OM = e$. Соответственно точку $\bar{A}$ Птолемей называет «средним апогеем» в отличие от «истинного апогея», определяемого направлением OC из центра мира. Величина расхождения $\bar{A}$ и A' на эпицикле зависит от элонгации Луны $\bar{\eta}$; она максимальна в октантах и равна нулю в сизигиях и квадратурах. При этом Луна на эпицикле движется неравномерно относительно истинного апогея A' ; поэтому нужно различать среднюю аномалию $\bar{\alpha}(\bar{A}\hat{C}L)$ и истинную аномалию Луны $\alpha(A'\hat{C}L)$, см. ниже кн.V, гл.6.

23. Речь идет об октантах; максимальное расстояние от наблюдателя до Луны в модели Птолемея имеет место в сизигиях, минимальное — в квадратурах, среднее — в октантах, см. коммент. 19.

24. В этом положении небольшое изменение аномалии дает максимальное приращение долготы.

25. Речь идет, по-видимому, об армиллярной сфере, описание которой дано в кн.V, гл.1. Дж.Тумер, однако, полагает, что Гиппарх мог использовать также диоптр — инструмент, описанный Героном, который также позволял измерять угловые расстояния между светилами на больших кругах небесной сферы [РА, р.227, п.20; Ван-дер-Варден, 1959, с.145; НАМА, р.845].

26. -126, май 2; анализ наблюдения см. в [Britton, 1967, р.134; Ньютон, 1985, с.152 и след.].

27. Найденная Гиппархом поправка за параллакс близка к значению, определенному по таблицам Птолемея, $p_\lambda \approx 0;15,53^\circ$ [НАМА, р.92].

28. Измеренные Гиппархом величины $\lambda_\odot$ и λ_ζ и вычисленные самим Птолемеем значения $\bar{\lambda}_\odot$, $\lambda_\odot$, $\bar{\lambda}_\zeta$ и $\bar{\alpha}$ используются затем для определения положения на эпицикле точки $\bar{A}$ отсчета средней аномалии. Геометрические параметры модели, эксцентриситет $e = 10;19^p$ и радиус эпицикла $r = 5;15^p$ считаются при этом заданными. Птолемей последовательно находит: 1) расстояние центра эпицикла от наблюдателя BE (см. рис. 5.4); 2) разность истинной и средней Луны $c = H\hat{B}E = \lambda_\zeta - \bar{\lambda}_\zeta$; 3) угол ΘBH , фиксирующий расстояние Луны на эпицикле относительно истинного перигея Θ ; при этом оказывается, что найденное положение Луны не совпадает с вычисленным по таблицам средних движений, если отсчет вести от истинного апогея Z ; 4) положение на эпицикле «среднего перигея» M ; 5) отрезок EN , отсекаемый на линии апсид эксцентра продолжением радиуса эпицикла, проходящего через «средний перигей». Указанные вычисления Птолемей производит дважды по двум наблюдениям Гиппарха, выполненным в один и тот же год, и получает в каждом случае $NE \approx EA = e$. Как и во многих других случаях, здесь, по-видимому, простота и ясность геометрической модели имели для Птолемея большее значение, чем строгое согласование ее параметров с наблюдениями. Подробный анализ вычислительной процедуры см. [НАМА, р.88–91; SA, р.189–195]. Критический анализ используемых наблюдений и вычислений Птолемея с точки зрения возможности их подгонки для получения требуемой величины EN см. в [Ньютон, 1985, с.152–163].

29. -126, июль 7; анализ наблюдения см. в [Britton, 1967, р.135; Ньютон, 1985, с.153, коммент. 3].

30. Близость нулю долготной составляющей параллакса подтверждается вычислениями О.Нейгебауэра и Р.Ньютона [НАМА, р.92; *Ньютон*, 1985, с.153, коммент. 3].

31. Для указанного момента времени ($620^y 286^d 32^h$) по таблицам кн.IV, гл.4 находим $\bar{\lambda}_\zeta = 147;7^\circ$, $\bar{\alpha}_\zeta = 333;1^\circ$. Согласие с данными Птолемея будет иметь место, если возьмем не среднее, а истинное солнечное время; в этом случае $\bar{\lambda}_\zeta = 147;18^\circ$, $\bar{\alpha}_\zeta = 333;12^\circ$. Ошибка заметно влияет на конечный результат, не исключено поэтому, что она носит неслучайный характер [РА, р.230, п.23; *Ньютон*, 1985, с.163].

32. Правильное значение: $1;12 \times 120/5;15 = 27;25,43$. Птолемей, по-видимому, использовал здесь отношение не $1;12$, а $1;12,22$; последнее число дает $27;34,5$, и оно же получается в предшествующих вычислениях: $2;59 \times 46;31/120$ [РА, р.232, п.24].

33. Речь идет об определении величины лунного неравенства $c = \lambda_\zeta - \bar{\lambda}_\zeta$ в произвольный момент времени t . Параметры геометрической модели (эксцентриситет $e = 10;19^p$, радиус эксцента $R - e = 49;41^p$, радиус эпицикла $r = 5;15^p$) и величины средних движений $\bar{\lambda}_\zeta$, $\bar{\alpha}$, $\bar{\eta} = \bar{\lambda}_\zeta - \bar{\lambda}_\odot$ (гл.4, кн.IV) считаются заданными.

Рассматривается пример определения c для момента второго наблюдения Гиппарха (-126 , июль 7), используемого в гл.5. Птолемей последовательно находит (рис. 5.5): 1) геоцентрическое расстояние центра эпицикла $\rho = BE$ (определяется в гл.5); 2) расстояния BN центра эпицикла от точки N , фиксирующей на эпицикле положение «среднего апогея» M ; 3) расстояние по аномалии «среднего апогея» M от «истинного апогея» Z ($Z\hat{B}M = \theta$); 4) угол ZBN ; 5) элементы треугольника $НВЕ$ и на их основе $\angle EN = c$. Подробнее см. [НАМА, р.93; SA, р.193–195]. Величина $c = 1;26^\circ$, определенная геометрически, совпадает с оценкой, полученной ранее на основе измерений Гиппарха. Это совпадение имеет важное значение для обоснования правильности геометрической модели и принятых в ней параметров, но оно же ставит под сомнение достоверность наблюдений, приведенных Птолемеем, и выполненных им вычисления. В этой связи см. [*Ньютон*, 1985, с.159–163].

34. Кн.IV, гл.10.

35. Аргумент в столбцах 1 и 2 может иметь три значения: 1) удвоенной элонгации $2\bar{\eta}$, определяющей расстояние центра эпицикла от апогея эксцента; 2) истинной аномалии α , дающей положение Луны на эпицикле относительно истинного апогея (отсчитывается в обратном направлении); 3) истинного аргумента широты ω' , определяющего положение Луны в плоскости ее орбиты относительно наиболее северной точки. Значения функции в интервалах $0 + 90^\circ$, $270^\circ + 360^\circ$ аргумента даются через 6° , а в интервале $90^\circ + 270^\circ$ через 3° . Значения функции, соответствующие промежуточным значениям аргумента, определяются линейной интерполяцией.

36. В 3-м столбце приведены разности $c_3 = \alpha - \bar{\alpha}$ положений истинного и среднего апогеев на эпицикле (угол θ на рис. 5-С) как функция удвоенной элонгации $2\bar{\eta}$.

37. В 4-м столбце дается неравенство $c_4 = \lambda_\zeta - \lambda_\odot$ как функция истинной аномалии α при условии, что эпицикл находится в апогее эксцента (Луна в сизигиях); функция c_4 совпадает с неравенством c_1 , определенном в кн.IV, гл.10.

38. В 5-м столбце приводится разность $c_5 = c_2 - c_4$ между значениями неравенства, когда эпицикл находится в перигее (c_2) и апогее (c_4) эксцента (соответственно Луна в квадратурах и в сизигиях) как функция истинной аномалии α . В перигее

отношение расстояния от наблюдателя до центра эпицикла к радиусу эпицикла $\frac{R - 2e}{r} = \frac{39;22^p}{5;15^p} \approx \frac{60}{8}$ и соответствующая величина $c_{2\max} = 7;40^\circ$.

39. Величина лунного неравенства для промежуточных значений элонгации, когда Луна не находится в сизигиях или квадратурах, определяется, согласно Птолемею, по правилу, эквивалентному формуле $c(2\bar{\eta}, \alpha) = c_4(\alpha) + c_6(2\bar{\eta}) \times c_5(\alpha)$, где c_6 — коэффициент интерполяции, приведенный в столбце 6 таблицы как функция удвоенной элонгации $2\bar{\eta}$. В сизигиях $c_6 = 0$ и, следовательно, $c = c_4(\alpha)$, в квадратурах $c_6 = 1$ и $c = c_4(\alpha) + c_5(\alpha)$, для промежуточных значений $2\bar{\eta}$ имеем $0 < c < 1$, и действует приведенная выше формула [НАМА, р.94].

40. Приводится пример вычисления коэффициента c_6 для случая $\bar{\eta} = 60^\circ$. По определению, $c_6(2\bar{\eta}) = \frac{c_{\max}(2\bar{\eta}) - c_{4,\max}}{c_{5,\max}}$, где $c_{\max}(2\bar{\eta})$ — максимальное уравнение при произвольном значении элонгации $\bar{\eta}$, $c_{4,\max} = 5;1^\circ$ — максимум неравенства в сизигиях, $c_{5,\max} = 7;40^\circ$ — максимум неравенства в квадратурах. Для случая $\bar{\eta} = 60^\circ$ определяется расстояние до центра эпицикла $\rho = EB = 43;43^p$ и по нему и известной величине $r = 5;15^p$ находится $c_{\max}(120^\circ) = 6;54^\circ$; отсюда, согласно приведенной выше формуле, $c_6(120^\circ) = 0;42,38$ [НАМА, р.94–95].

41. Кн.I, гл.14.

42. Наблюдения, о которых упоминает Птолемей, частично приводятся в кн.V, гл.12, с.156–157.

43. Точность определения величин в таблице составляет в большинстве случаев $\pm 0;0,1$; однако имеются исключения. Так, погрешность в c_3 составляет $-3 + -4$ единицы последнего разряда для значений аргумента 123–129, 147–155 и 171–177. Величины c_5 для значений аргумента 6–54 превышают точные так, как будто они вычислялись при отношении $\frac{r}{R - 2e} = 0,136$ (вместо 0,133). Точность определения c_6 (до вторых шестидесятих) избыточна, так как погрешность по сравнению с истинным значением зачастую имеется уже в первом разряде; вероятно, поэтому в «Подручных таблицах» в этом столбце оставлен только первый разряд [РА, р.237, п.30].

44. Кн.IV, гл.3–4.

45. Истинная аномалия определяется по правилу, эквивалентному формуле

$$\alpha = \bar{\alpha} + c_3, \text{ если } 0^\circ \leq 2\bar{\eta} \leq 180^\circ,$$

$$\alpha = \bar{\alpha} - c_3, \text{ если } 180^\circ \leq 2\bar{\eta} \leq 360^\circ.$$

46. Долгота Луны в произвольный момент времени t определяется согласно формуле $\lambda_\zeta = \bar{\lambda}_\zeta \pm c$, где $\bar{\lambda}_\zeta$ — средняя долгота, c — лунное неравенство; знак неравенства зависит от значения истинной аномалии α .

47. В 7-м столбце приведены значения лунной широты β как функция истинного аргумента широты, определяемого согласно формуле $\omega' = \bar{\omega}' \pm c$, где $\bar{\omega}'$ — средний аргумент широты, c — полное лунное неравенство.

48. Рассмотрим два примера определения долготы и широты Луны Птолемею (кн.VII, гл.3).

1. Долгота и широта центра Луны в момент соединения Луны с южной частью Плеяд (кн.VII, гл.3, с.220).

Дата: Набонассара 840, тибби 2/3; среднее солнечное время $53\frac{1}{4}^h$ до полуночи

(92, ноябрь 29). Для указанной даты находим величины средних положений Луны (кн.IV, гл.4):

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\omega}'$	$\bar{\eta}$
t_0	41;22°	268;49°	354;15°	70;37°
810 ^y	37;24,6	222;10,57	217;37,21	234;19,54
18 ^y	168;49,52	156;56,14	156;50, 9	173;12,26
11 ^y	343;10,28	255;54,22	195;50,39	345;50,56
120 ^d	141; 9,57	127;47,52	147;31,19	22;53,22
1 ^d	13;10,34	13; 3,53	13;13,45	12;11,26
6 ^h	3;17,38	3;15,58	3;18,26	3; 2,51
1/4 ^h	0; 8,14	0; 8,10	0; 8,11	0; 7,36
839 ^y 121 ^d 61/4 ^h	748;32,49° $\bar{\lambda} = 28;32^\circ$	1048;6,26° $\bar{\alpha} = 328;6^\circ$	1088;44,50° $\bar{\omega}' = 8;45^\circ$	862;15,31° $\bar{\eta} = 142;15,31^\circ$ $2\bar{\eta} = 284;31^\circ$

В столбце 3 таблицы кн.V, гл.8 находим «наклонение» эпицикла $c_3(2\bar{\eta}) = -10;35^\circ$. Отсюда истинная аномалия $\alpha = \bar{\alpha} + c_3 = 317;31^\circ$. Беря в качестве аргумента значения истинной аномалии и удвоенной элонгации $2\bar{\eta}$, находим соответственно столбец 4 — $c_4(\alpha) = 3;10^\circ$, столбец 5 — $c_5(\alpha) = 1;36^\circ$, столбец 6 — $c_6(2\bar{\eta}) = 0;19,23$.

Отсюда величина лунного неравенства

$$c = +(c_4 + c_5 \times c_6) = +3;41^\circ,$$

долгота Луны

$$\lambda = \bar{\lambda} + c = 32;13^\circ \text{ (в тексте } 33;7^\circ),$$

истинный аргумент широты

$$\omega' = \bar{\omega}' + c = 12;26^\circ.$$

Значения широты дает столбец 7:

$$\beta(\omega') = +4;53^\circ \text{ (в тексте } +4;50^\circ).$$

См. также [Ньютон, 1985, с.234; РА, р.335, п.70].

II. Долгота и широта центра Луны в момент соединения Луны со звездой β Sco (кн.VII, гл.3, с.222).

Дата: Набонассара 454, фаофи 16/17; среднее солнечное время 32^h после полуночи (-294, декабрь 21). Определяем средние положения Луны (таблица кн.IV, гл.4):

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\omega}'$	$\bar{\eta}$
t_0	41;22°	268;49°	354;15°	70;37°
450 ^y	260;46,43	323;26, 5	320;54, 5	10;11, 3
3 ^y	28; 8,18	266; 9,22	86; 8,21	28;52, 4
30 ^d	35;17,29	31;56,58	36;52,49	5;43,20
15 ^d	197;38,44	195;58,29	198;26,24	182;51,40
15 ^h	8;14, 6	8; 9,56	8;16, 6	7;37, 9
1/6 ^h	0; 5,29	0; 5,26	0; 5,30	0; 5, 4
453 ^y 45 ^d 151/6 ^h	571;32,49° $\bar{\lambda} = 211;33^\circ$	1094;35,16° $\bar{\alpha} = 11;35^\circ$	1004;58,20° $\bar{\omega}' = 284;58^\circ$	305;57,20° $\bar{\eta} = 305;57^\circ$ $2\bar{\eta} = 251;54^\circ$

«Наклонение» эпицикла (столбец 3, таблица кн.V, гл.8)

$$c_3 = -13;3^\circ.$$

Отсюда величина истинной аномалии

$$\alpha = \bar{\alpha} + c_3 = 1;32^\circ,$$

величина лунного неравенства

столбец 4 — $c_4(\alpha) = 0;7^\circ,$

столбец 5 — $c_5(\alpha) = 0;4^\circ,$

столбец 6 — $c_6(2\bar{\eta}) = 0;36,14,$

$$c = -(c_4 + c_5 \times c_6) = -0;9^\circ.$$

Отсюда долгота Луны

$$\lambda = \bar{\lambda} + c = 211;24^\circ \text{ (в тексте: } 211;15^\circ),$$

истинный аргумент широты

$$\omega' = \bar{\omega}' + c = 284;49^\circ.$$

Широта Луны (таблица кн.V, гл.8, столбец 7)

$$\beta(\omega') = +1;17^\circ \text{ (в тексте } +1;20^\circ).$$

См. также [Ньютон, 1985, с.234; РА, р.337, п.82]. Другие примеры, поясняющие принятую в «Альмагесте» процедуру для определения долготы и широты Луны, см. в [НАМА, р.96–97; РА, р.652].

49. Эксцентрическая модель движения Луны совпадает с простой эпициклической моделью в сизигиях, когда средняя элонгация $\bar{\eta} = 0$ или 180° . Однако задача предвычисления времени и обстоятельств видимости затмений связана с определением моментов истинных сизигий и истинных элонгаций Солнца и Луны. Солнечные затмения, например, очень чувствительны к изменениям расстояния от наблюдателя до Луны. Требуется поэтому показать, что изменения, которые вносит эксцентр, не влияют на точность расчетов, связанных с затмениями.

Второй важный аспект проблемы имеет методологический характер. При определении средних скоростей движения Луны и их значений в начальную эпоху, а также радиуса эпицикла Птолемей использовал лунные затмения в соединении с простой эпициклической моделью. Необходимо показать поэтому, что переход к эксцентрической модели не влияет на величины этих параметров. Подробнее см. [НАМА, р.98–99].

50. Из таблицы кн.V, гл.8, столбца 3 следует, что наибольшее расхождение на эпицикле истинного и среднего апогеев $c_{3\max} = 13;9^\circ$. Этой величиной можно пренебречь, когда Луна находится на эпицикле на расстоянии $\pm 90^\circ$ от апогея, так как она не изменит заметно величину неравенства.

51. Птолемей анализирует две экстремальные ситуации, когда эксцентрическая модель дает максимум расхождения с простой эпициклической моделью при определении моментов истинных сизигий.

В первом случае Луна находится в квадратурах эпицикла на расстоянии около $\pm 90^\circ$ от апогея, причем величина средней элонгации максимальна. Поскольку это затмение, $\lambda_\odot = \lambda_\zeta$ и $\bar{\eta} = \bar{\lambda}_\zeta - \bar{\lambda}_\odot = c_\odot - c_\zeta$. Максимальная элонгация соответствует максимуму величины $c_\odot - c_\zeta = \bar{\eta} = 5;1^\circ + 2;23^\circ = 7;24^\circ$. Во втором случае Луна в момент затмения расположена в перигее эпицикла, где $\lambda_\zeta = \bar{\lambda}_\zeta$ (отсюда $c_\zeta = 0$) и наибольшая элонгация $\bar{\eta} = c_\odot = 2;23^\circ$.

52. Таким образом показано, что: 1) расстояние от наблюдателя до Луны ($\rho = \text{ВМЕ} = 59;36^p$ вместо $\rho = \text{ЕА} = 60^p$) существенно не изменилось; 2) неравенство

возросло на $0;2^\circ$, что эквивалентно (если принять для среднесуточного приращения элонгации величину $v_\zeta - v_\odot \approx 12^\circ/d \approx 1/2^\circ/h$) временной разности $0;4^h \approx 1/16^h$.

53. Отношения сторон в подобных треугольниках ZBE и BAN (рис. 5.9): $BZ : ZE = BA : AN$ и $BZ : BE = BA : BN$.

54. Как и в предыдущем случае, здесь показано, что: 1) расстояние от наблюдателя до Луны ($\rho = BE = 59;58^p$ вместо $\rho = AE = 60^p$) осталось практически неизменным; 2) неравенство возросло на величину $\Delta c = 0;4^\circ$, что эквивалентно временной разности $0;8^h \approx 1/8^h$.

55. Кн. IV, гл. 1 и коммент. 2, рис. 4-A.

56. Обоснование этого положения см. в кн. V, гл. 15.

57. Описание процедуры Гиппарха для нахождения расстояний до Солнца и Луны содержится также в комментариях Паппа к соответствующему месту «Альмагеста». Папп пишет: «Так Гиппарх, сомневаясь не только в том, какова величина параллакса Солнца, но и имеет ли оно параллакс вообще, предположил в первой книге [сочинения] «О размерах и расстояниях», что Земля подобна точке сравнительно с размерами сферы Солнца. И сначала он предположил, используя затмение, которое он привел, что оно имеет минимальный параллакс, а затем больший параллакс. Отсюда отношения лунных расстояний получились различными. В книге I «О размерах и расстояниях» он берет следующее наблюдение: затмение Солнца, которое в районе Геллеспонта было полным, так что не было видно ни одной его части, но в Александрии Египетской было затемнено четыре пятых диаметра. С его помощью он находит в книге I, считая радиус Земли равным единице, что наименьшее расстояние Луны равно 71, а наибольшее — 83. Отсюда среднее равно 77... Затем опять же в книге II «О размерах и расстояниях» он показывает многочисленными рассуждениями, принимая радиус Земли равным единице, что наименьшее расстояние Луны равно 62, среднее — $67\frac{1}{3}$, расстояние же до Солнца равно 490. Ясно, что наибольшее расстояние от Луны будет $72\frac{2}{3}$; цит. по [Toomer, 1974, p. 126–127].

Н. Сverdлов показал, что в основе методики Гиппарха для определения солнечного расстояния лежат следующие пять допущений: а) Солнце и Луна имеют одинаковые видимые диаметры, когда Луна находится на среднем расстоянии от Земли; б) видимый диаметр Луны на среднем расстоянии укладывается в полной окружности 650 раз (отсюда $2r_e = 0;33,14^\circ$); в) диаметр земной тени превышает диаметр Луны на среднем расстоянии в $2\frac{1}{2}$ раза; г) при определении расстояния до Луны по расстоянию до Солнца (или наоборот) Гиппарх использовал методику, описанную в кн. V, гл. 15 «Альмагеста»; д) расстоянию до Солнца, равному $490r_e$, соответствует параллакс $7'$, который Гиппарх принимал в качестве наименьшего фиксируемого при визуальных наблюдениях [Sverdlow, 1969].

Метод Гиппарха реконструирован также Тумером [Toomer, 1974], который показал, что в сообщениях Паппа и Птолемея речь идет о солнечном затмении — 189, март 14 [Oppolzer, 1889, № 2420], хорошо известном античным астрономам [НАМА, р. 316, п. 9]. Полагая параллакс Солнца равным нулю, Гиппарх с помощью этого затмения в книге I указанной работы определил наименьшее возможное расстояние до Луны ($71r_e$). Два других расстояния (среднее и максимальное) легко определить, если известен радиус лунного эпицикла. В книге II Гиппарх принял параллакс равным его максимальному возможному значению ($7'$), при котором он может быть зафиксирован визуально, и нашел наименьшее возможное расстояние до Солнца $490r_e$ и наибольшее возможное до Луны $67\frac{1}{3}r_e$ (у Паппа обозначенное как «среднее»). Затем Гиппарх показал, что с увеличением расстояния до Солнца (а это в принципе возможно, так как параллакс Солнца может быть меньше $7'$) расстояние до Луны стремится к постоянной величине $59r_e$, и, таким образом, определил пределы изменения расстояния до Луны. В «Альмагесте» (кн. V, гл. 13) величина $59r_e$ используется в качестве среднего расстояния до Луны.

Анализ методики Гиппарха см. также в [НАМА, р. 325–329; SA, р. 203–204].

58. Описание параллактического инструмента приводит также Папп в комментариях к соответствующему месту «Альмагеста». Современные реконструкции см. [Price, 1957, p.589–590; Rome, 1927; 1931, 70–75]. В средневековой европейской астрономии этот инструмент был известен под названием трикетрум (triquetrum).

59. Рис. 5-D заимствован с небольшими изменениями из [РА, p.245, Fig. G], как наиболее соответствующий тексту «Альмагеста». Обозначения на нем: 1 — вертикальная линейка, 2 — визирная линейка, 3 — измерительная планка, 4 — основание, a, b — визирные приспособления, d — отвес, $e - e$ — полуденная линия.

60. Если «локоть», о котором упоминает Птолемей, соответствует «малому локтю» (44,4 см), употреблявшемуся в Египте, то длина шкалы cf составляет 177,6 см, а ее $1/60$ часть — 30 мм, если же речь идет о так называемом «царском локте» (52,5 см), то $cf = 210$ см, $1/60cf \approx 35$ мм.

61. Ось c , по-видимому, жестко фиксировала положение стержня 2 так, что он не мог вращаться под действием собственного веса [РА, p.246, п.42].

62. Между стержнями 1 и 2 имелся, по-видимому, зазор для тонкого стержня 3. Длина стержня 3 не превосходит длину шкалы на стержне 1, так как последняя использовалась для измерения величины fm . Максимальное зенитное расстояние, измеряемое на инструменте, составляло, таким образом, около 60° . А.Ром считает, что это ограничение было сделано специально, чтобы избежать влияния рефракции, но это объяснение кажется маловероятным. Ограничение зенитного расстояния имело, по-видимому, другие причины. Параллактический инструмент использовался Птолемеем для наблюдения Луны в меридиане на широте Александрии. Максимальное зенитное расстояние 60° было достаточным для проведения подобных наблюдений [РА, p.246, п.43].

63. Широта Луны может быть определена непосредственно по ее зенитному расстоянию в момент кульминации, если круг широты, проходящий через ее центр, находится в плоскости меридиана, что будет иметь место, если выполнены следующие два условия: а) узлы лунной орбиты совпадают с точками равноденствий; б) долгота Луны $\lambda_\zeta = 90^\circ$ или 270° .

64. В треугольнике cfm имеем $cf = cm = 60^p$, $fm = \text{crd } z$, где $z = \widehat{fcm}$ — зафиксированное зенитное расстояние. После определения длины fm в частях шкалы $cf = 60^p$ зенитное расстояние находим по таблице хорд кн.I, гл.11.

65. Согласно Дж.Тумеру, такого рода измерения могли быть произведены либо летом 126, либо весной 145 г. Обе даты отстоят друг от друга на полпериода $(182\frac{1}{2}^y : 2 = 91\frac{1}{2}^y)$, в течение которого лунные узлы проходят эклиптику от даты наблюдения Птолемеем прохождения Луны через меридиан (октябрь 135 г.; кн.V, гл.13) вблизи зимнего солнцестояния, когда широта Луны была максимальной [РА, p.247, п.44; Ньютон, 1985, с.186–187].

66. Вычисления производились согласно формуле

$$(\varphi - \epsilon) - z = \beta,$$

где φ — широта Александрии, ϵ — наклон эклиптики к экватору, z — зенитное расстояние, β — широта Луны [НАМА, p.101].

Принятое Птолемеем значение широты Александрии $\varphi = 30;58'$ соответствует отношению 5:3 длины гномона к его полуденной тени в Александрии в дни равноденствий, о котором сообщает Витрувий (Архит., IX, 7). О других значениях широты Александрии, встречающихся в работах Птолемея, см. в [НАМА, p.101, п.1]. Правильное значение широты Александрии $\varphi = 31;13'$.

67. О зависимости суточного параллакса Луны от зенитного расстояния z см. в кн.V, гл.17.

68. 135, октябрь 1.

69. Достоверность этого наблюдения вызывает сомнения. Р.Ньютон считает его подделкой, так как погрешность здесь составляет около $\frac{3}{4}$ диаметра Луны. Полученное в результате значение параллакса и вычисленное с его помощью значение расстояния до Луны в квадратурах согласуется со средним расстоянием в

сизигиях $R = 59r_{\odot}$, которое было известно еще Гиппарху. Приведенное измерение, таким образом, подтверждает кинематическую модель, грубо ошибочную в том, что касается определения расстояний [Ньютон, 1985, с.188–192; Newton, 1973]. В этой связи см. также [НАМА, р.101–103; РА, р.251, п.49].

70. Поскольку Луна находится вблизи зимнего солнцестояния и ее долгота $\lambda_{\odot} \approx 270^\circ$; см. коммент. 63.

71. Согласно формуле

$$z = \varphi - \delta - \beta,$$

где $\delta = -23;49^\circ$ — склонение точки эклиптики с долготой $\lambda_{\odot} = 273;10^\circ$, определенное по таблицам кн.І, гл.15; $\varphi = 30;58^\circ$ — широта Александрии; $\beta = 4;59^\circ$ — вычисленная широта Луны.

72. Точные вычисления дают $K\Delta\Delta = 39;49,31r_e \approx 39;50r_e$ [НАМА, р.102, п.4].

73. Точные вычисления дают $R = 60;24r_e$. [Ньютон, 1985, с.189; НАМА, р.102].

Среднее расстояние до Луны в сизигиях $R = 59r_e$, полученное Птолемеем, совпадает с минимально возможным расстоянием, которое нашел Гиппарх, см. коммент. 57. Можно думать поэтому, что исходными для определения величины R было измерение параллакса Луны в сизигиях по результатам наблюдения солнечного затмения. Наблюдения же зенитного расстояния Луны в настоящей главе призвано только подтвердить хорошо известное из работы Гиппарха значение R [РА, р.251, п.49; Toomer, 1974, р.131, п.25].

74. В некоторых арабских рукописях и согласно общему смыслу текста гл.14 начинается в этом месте [РА, р.251, п.50]. Перевод И.Н. Веселовского следует греческому тексту в издании Гейберга.

75. Об этом методе определения видимого диаметра Солнца, критиковавшемся Гиппархом, сообщает Папп [РА, р.252, п.51; Rome, 1931, р.87–89]. В день равноденствия Солнце пересекает линию горизонта под углом $90^\circ - \varphi$. Наблюдатель фиксирует величину Δt — время восхода Солнца, измеренное водяными часами. Диаметр Солнца определяется затем согласно формуле $d_{\odot} = \Delta t \cos \varphi$ [НАМА, р.103, п.1].

76. Инструмент (рис. 5-Е), о котором в данном случае идет речь, состоял из длинного стержня 1 со шкалой, по которому перемещался ползун 3, несущий мишень (в тексте: призму). На рис. 5-Е приведены три варианта такой мишени: круглая 4, призматическая 5, с двумя отверстиями 6. Во время измерения мишень устанавливали таким образом, чтобы ее сечение казалось равным сечению светила, если смотреть от начала стержня через визирное отверстие 2. Описание инструмента приводят Папп [Rome, 1931, р.90–92] и Прокл [Manitius, 1909, с.126–130]; похожее приспособление использовал также Архимед при измерении видимого диаметра Солнца [Архимед, 1961, с.360 и след.]. По поводу данного инструмента см. также [Dicks, 1954; НАМА, р.103, п.2; Price, 1959, р.591]. Реконструкция инструмента, приведенная на рис. 5-Е, принадлежит С.В. Житомирскому.

77. Таким образом, согласно Птолемею, видимые диаметры Солнца и Луны в сизигиях совпадают ($d_{\odot} = d_{\odot}$), когда Луна находится на наибольшем расстоянии $R + r$ от наблюдателя. Н.Свердлов показал, что аналогичное равенство Гиппарх принимал для среднего расстояния Луны в сизигиях [Sverdlow, 1969]. Допущение Гиппарха делало возможным кольцеобразное затмение Солнца; Птолемей, по-видимому, отрицал такую возможность [НАМА, р.104; РА, р.252, п.53; SA, р.208, п.4].

78. Здесь, по-видимому, речь идет о принятой Гиппархом величине $d_{\odot} = 360^\circ/650 = 0;33,14^\circ$, о которой сообщается в кн.ІV, гл.9 «Альмагеста» (с.127). Значение, полученное самим Птолемеем для максимального расстояния $d_{\odot} = 0;31,20^\circ$, действительно меньше гиппархова, но для среднего расстояния ($d_{\odot} = 0;33,20^\circ$) оно фактически совпадает с величиной Гиппарха [РА, р.252, п.54].

79. -620, апрель 22; Набопалассар (626-605 до н.э.) — вавилонский царь, основатель Нововавилонской династии.

80. Отсюда уравнение времени $E = -0;15^h$; правильное значение $E = -0;20^h$ [НАМА, р.104, п.5; РА, р.253, п.57].

81. Расстояние Луны от наблюдателя максимально, так как она находится в сизигиях вблизи апогея эпицикла; расстояние от нисходящего узла $90^\circ - 80;40' = 9\frac{1}{3}^\circ$.

82. -522, июль 16/17. Сохранилась клинописная табличка, в которой сообщается об этом затмении. В переводе А.Закса она звучит следующим образом: «Год VII, месяц IV, ночь четырнадцатого, $1\frac{2}{3}$ двойных часов ночи, «полное» лунное затмение имело место, когда лишь небольшая часть [диска оставалась незатемненной]»; цит. по [РА, р.253, п.58]. В клинописной записи время затмения совпадает с современной оценкой, а величина расходится как с современной, так и с птолемеевской, см. также [Ньютон, 1985, с.196, 205-206].

83. В некоторых рукописях стоит $18;11'$; вычисления дают $18;10'$.

84. Правильное значение $27;54'$; погрешность объясняется, вероятно, тем, что Птолемей использовал здесь значение времени $10\frac{1}{6}^h$ вместо правильной величины $9\frac{5}{6}^h$ [РА, р.254, п.60].

85. Положение центра Луны L и земной тени B относительно узлов для средней фазы лунных затмений приведены на рис. 5-F, где наклон орбиты $i = 5^\circ$, расстояние Луны от узлов $\Delta\omega'_1 = 9;20'$, $\Delta\omega'_2 = 7;48'$; $b_1, b_2 (= LB)$ — расстояния между центром

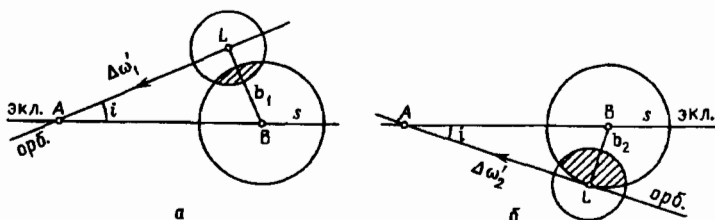


Рис. 5-F

Луны и центром земной тени; величины затмений $m_1 = 3$, $m_2 = 6$. В основе метода

лежит соотношение $\frac{\Delta m}{12} d_\zeta = \Delta b$, где $\Delta m = m_2 - m_1$, $\Delta b = b_2 - b_1$, т.е. здесь предполагается, что разность величин двух затмений пропорциональна разности расстояний между центрами Луны и земной тени в моменты средних фаз. Соответственно Птолемей находит из треугольника ALB , который считался, по-видимому, сферическим [НАМА, р.107], $b_1 = 0;48,30'$, $b_2 = 0;40,40'$. Отсюда $d_\zeta = 0;7,50' = 0;31,20'$. Второе затмение позволяет определить радиус земной тени $s = b_2 = 0;40,40' \approx 2\frac{3}{5} r_\zeta = 0;40,44'$. Аналогичная процедура используется Птолемеем в кн. VI, гл. 5 для определения видимого диаметра Луны в сизигиях на минимальном расстоянии от наблюдателя. Критический анализ метода Птолемея см. в [НАМА, р.104-108; Ньютон, 1985, с.196-198; СА, р.207-209].

86. Расстояния между светилами настолько велики, что прямые AE и GE , а также AN и NG (см. рис. 5.12) касаются сферических поверхностей Солнца, Луны и Земли таким образом, что отрезки AG , EN и KM , соединяющие точки касания, с минимальной ошибкой можно считать диаметрами Солнца, Луны и Земли.

87. Следовательно, на максимальном расстоянии Луны от наблюдателя видимые диаметры Солнца и Луны одинаковы; это предположение лежит в основе метода.

88. Поскольку углы малы, дуги везде можно заменить хордами.

89. В предыдущей главе показано, что радиус земной тени на максимальном расстоянии Луны в сизигиях в $2\frac{3}{5}$ раза больше радиуса самой Луны.

90. Поскольку $N\Theta$ — средняя линия трапеции $\Theta\PР\Sigma$.

91. Имеем отношения

$$\frac{r_e}{H\Sigma} = \frac{N\Gamma}{H\Gamma} = \frac{N\Delta}{\Theta\Delta} = \frac{N\Delta}{N\Delta - N\Theta},$$

отсюда

$$N\Delta = \frac{N\Theta}{r_e - H\Sigma} r_e = \frac{64;10}{1 - 0;56,49} r_e \approx 1210r_e.$$

92. Аналогичным образом

$$\frac{r_e}{\Pi\P} = \frac{N\Xi}{\Xi\P} = \frac{N\Xi}{N\Xi - \Pi\Xi},$$

отсюда

$$N\Xi = \frac{\Pi N}{r_e - \Pi\P} r_e = \frac{64;10}{1 - 0;45,38} r_e \approx 268r_e.$$

93. Птолемей не указывает точно, но в данном случае речь идет о среднем расстоянии Солнца. Отсюда находим, зная эксцентриситет орбиты Солнца $e = 1/24$, минимальное и максимальные расстояния:

$$R_{\min} = R - e = R - 1/24R = 1159;35r_e,$$

$$R_{\max} = R + e = R + 1/24R = 1260;25r_e.$$

Такие же значения приводит Птолемей в «Планетных гипотезах» [Goldstein, 1967, p.7] и получает Папп в своих комментариях к «Альмагесту» [Rome, 1931, p.107–108]. В «Гипотезах» Прокла и в его комментариях к платоновскому «Тимею» приводятся ошибочные значения; так, величина $R = 1210r_e$ определяется им в «Гипотезах» как максимальное расстояние до Солнца [НАМА, p.110, п.11; SA, p.212, п.6].

94. В действительности расстояние до Солнца составляет около $24\,000r_e$, а радиус Солнца около $111\frac{1}{2}r_e$; следовательно, при определении этих величин Птолемей ошибся в 20 раз. Причина ошибки коренится, по-видимому, в самой методике, согласно которой расстояние до Солнца

$$R = \frac{N\Theta}{r_e - H\Sigma} r_e,$$

где $N\Theta = 64;10$, а $r_e - H\Sigma$ — малый делитель; небольшие погрешности в определении $r_e - H\Sigma$ могут привести поэтому к существенным погрешностям в R . Чтобы получить правильное расстояние при помощи этой формулы, достаточно уменьшить величину $r_e - H\Sigma$ на $0;3$; при этом диаметр Луны на максимальном расстоянии станет меньше солнечного и, следовательно, будет возможно кольцеобразное затмение Солнца. Кольцеобразные затмения наблюдались античными астрономами, но Птолемей, по-видимому, ничего об этом не знал. Подробнее см. в [НАМА, p.110–111].

95. Определение объемов небесных тел — традиционная задача античной астрономии. Объемы светил вычислял Гиппарх, а позднее Теон Смирнский (ок. 100 н.э.) и Халкий (ок. 300–350 н.э.) [РА, p.257, п.6]. В «Планетных гипотезах» Птолемей вычисляет объемы всех планет по отношению к объему Земли [Goldstein, 1967, p.9].

96. В гл.17 определяется параллакс Солнца и Луны по высоте $p = z' - z$, где z' — зенитное расстояние светила, которое должно наблюдаться визуально при установленном соотношении размеров орбиты и радиуса Земли; z — зенитное расстояние, вычисленное в предположении, что размеры Земли ничтожно малы по

сравнению с орбитой светила. Кинематические модели движения Солнца и Луны позволяют для произвольного момента времени определить геоцентрическое расстояние светила КА (см. рис. 5.13) и с его помощью величину z' . С другой стороны, таблица кн. II, гл. 13 позволяет найти для того же момента времени величину z по известной долготе светила, часовому углу и географической широте места наблюдения.

97. Таким образом, согласно Птолемею, изменение расстояния Солнца относительно наблюдателя не влияет на величину солнечного параллакса. Аналогичным образом ранее было принято (кн. V, гл. 14), что видимый угловой диаметр Солнца не меняется при его движении по эксцентрической орбите.

98. Параллакс как функция высоты z определяется для четырех основных значений геоцентрического расстояния Луны в сизигиях:

$$\text{I. } R + r = 59r_e + 5;10r_e = 64;10r_e \text{ (Луна в апогее эпицикла);}$$

$$\text{II. } R - r = 59r_e - 5;10r_e = 53;50r_e \text{ (в перигее эпицикла);}$$

в квадратурах:

$$\text{III. } R - 2e + r = 38;43r_e + 5;10r_e = 43;53r_e \text{ (в апогее эпицикла);}$$

$$\text{IV. } R - 2e - r = 38;43r_e - 5;10r_e = 33;33r_e \text{ (в перигее эпицикла),}$$

где $59r_e$ — среднее расстояние в сизигиях; $38;43r_e$ — среднее расстояние в квадратурах; $5;10r_e$ — радиус эпицикла лунной орбиты, см. кн. V, гл. 13.

Приведенные вычисления позволяют заключить: Птолемей безусловно знал о том, что принятая им модель движения Луны дает изменение расстояния до Луны

$\frac{R+r}{R-2e-e} \approx 2$, хотя он нигде прямо об этом не говорит. См. по этому поводу также коммент. 19.

99. Точность определения величин параллакса в случаях III и IV с этого момента огрубляется на один разряд. Это связано, вероятно, с тем, что Птолемей не придавал особого значения параллаксу в квадратурах, который не влияет на предвычисление солнечных затмений [РА, р. 260, п. 69].

100. Столбец 1 таблицы гл. 18 содержит значения аргумента от 0° до 90° с интервалом 2° . В данном случае в качестве аргумента для функций, представленных в столбцах 2–5, выступает зенитное расстояние z . Обозначим, следуя О. Нейгебауэру [НАМА, р. 112–115], функции в столбцах 2–6 соответственно через c_2, c_3, c_4, c_5, c_6 . Тогда c_2 — это

параллакс Солнца; c_3, c_5 — параллакс Луны для случаев I, III; $c_4,$

c_6 — превышение параллакса Луны в перигее эпицикла над соответствующим значением в апогее; величины параллакса для случаев II и IV определяются суммированием: $c_3 + c_4$ и $c_5 + c_6$.

101. Столбец 7 содержит интерполяционные коэффициенты c_7 как функцию истинной аномалии α . С помощью c_7 величина параллакса в сизигиях определяется согласно формуле

$$p_s(z, \alpha) = c_3(z) + c_7(\alpha) \times c_4(z).$$

Поскольку $|\alpha|$ изменяется от 0° до 180° , а аргумент в таблице от 0° до 90° , то, чтобы получить $c_7(\alpha)$, необходимо взять в качестве аргумента $\frac{|\alpha|}{2}$.

Конкретные величины $c_7(\alpha)$ определяются из соотношения (рис. 5-G)

$$c_7(\alpha) = \frac{EA - EP}{AP} = \frac{(R+r) - EP}{2r} = \frac{65;15 - EP}{10;30},$$

где EA — расстояние до апогея в сизигиях; EP — расстояние до Луны при произвольных α ; $AP = 2r$ — максимально возможная разность расстояний для апогея

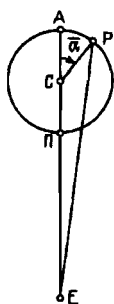


Рис. 5-G

и до Луны. Значения EP для конкретных α определяются по правилу, эквивалентному формуле

$$EP^2 = (r \cos \alpha + R)^2 + (r \sin \alpha)^2.$$

Значения $c_7(\alpha)$ изменяются в пределах $0 \leq c_7(\alpha) \leq 1$; при $\alpha = 0$ ($c_7 = 0$) имеем случай I: $p_s = c_3(z)$; при $\alpha = 180^\circ$ ($c_7 = 1$) — случай II: $p_s = c_3 + c_4$.

102. Т.е. от величины $2r = 10;30^p$.

103. Кн.V, гл. 7, коммент. 38.

104. В столбце 8 приведены интерполяционные коэффициенты $c_8(\alpha)$, аналогичные по смыслу коэффициентам $c_7(\alpha)$. Параллакс Луны в квадратурах как функция зенитного расстояния z и истинной аномалии α определяется согласно формуле

$$p_Q(z, \alpha) = c_5(z) + c_8(\alpha) \times c_6(z).$$

В таблице значению аргумента $\frac{|\alpha|}{2}$ в столбце 1 соответствует значение функции $p_Q(\alpha)$.

Конкретные значения $c_8(\alpha)$ определяются согласно описанному выше правилу с той разницей, что в квадратурах расстояние до апогея эпицикла $EA = R - 2e + r = 44;37^p$, а расстояние до Луны $EP^2 = (r \cos \alpha + R - 2e)^2 + (r \sin \alpha)^2$. Величины c_8 , как и c_7 , изменяются в пределах $0 \leq c_8 \leq 1$; при $\alpha = 0^\circ$ ($c_8 = 0$) имеем случай III: $p_Q = c_5(z)$; при $\alpha = 180^\circ$ ($c_8 = 1$) — случай IV: $p_Q = c_5 + c_6$.

105. В столбце 9 приведен интерполяционный коэффициент c_9 для определения параллакса Луны при произвольном значении средней элонгации $\bar{\eta}$.

Общая формула параллакса как функции трех переменных такова:

$$p(z, \alpha, \bar{\eta}) = p_s(z, \alpha) + c_9(\bar{\eta}) [p_Q(z, \alpha) - p_s(z, \alpha)].$$

Множитель при c_9 всегда положителен, так как $p_Q > p_s$.

Величина $c_9(\bar{\eta})$ определяется как отношение разности расстояний от наблюдателя до Луны в сизигиях ($\bar{\eta} = 0$) и при произвольной элонгации $\bar{\eta}$ к максимально возможному изменению расстояний $2e = 20;38^p$.

Элонгация изменяется в пределах $0^\circ \div 360^\circ$. Однако функция $c_9(\bar{\eta})$ обладает симметрией, позволяющей использовать значения аргумента от 0 до 90° , приведенные в столбце (1). При этом

если $0 \leq \bar{\eta} \leq 90^\circ$, то $\eta' = \bar{\eta}$,

если $90^\circ \leq \bar{\eta} \leq 180^\circ$, то $\eta' = 180^\circ - \bar{\eta}$,

если $180^\circ \leq \bar{\eta} \leq 270^\circ$, то $\eta' = \bar{\eta} - 180^\circ$,

если $270^\circ \leq \bar{\eta} \leq 360^\circ$, то $\eta' = 360^\circ - \bar{\eta}$,

где η' — значения аргумента в столбце 1, дающие значения функции $c_9(\bar{\eta})$. Подробнее см. [НАМА, р.114].

106. Значения функций c_7 , c_8 , c_9 определялись геометрически для значений аргумента α и $\bar{\eta}$ с интервалом 12° . Значения функции для промежуточных значений аргумента вычислялись линейной интерполяцией.

107. В таблицу внесены исправления согласно [РА, р.264, п.73].

108. Определяется в виде разности $\Delta t = \alpha(\mathbb{C}) - \alpha(M)$, где $\alpha(\mathbb{C})$, $\alpha(M)$ — «времена восхода» соответственно точек эклиптики с долготой, равной долготе центра Луны, и кульминирующей точки эклиптики по таблице кн.II, гл.8 для широты места

наблюдения; долгота кульминирующей точки $\lambda(M)$ может быть вычислена по известной долготе Солнца $\lambda_{\odot}$, широте φ и времени t согласно методике кн. II, гл. 9, см. также коммент. 65 к кн. II.

109. Зенитное расстояние z точки эклиптики с долготой λ , находящейся на расстоянии Δt от меридиана на широте φ , а также угол γ , образуемый эклиптической и кругом высоты, проходящим через эту точку, определяется по таблицам кн. II, гл. 13, см. также коммент. 75 к кн. II. В дальнейшем Птолемей считает зенитное расстояние z и угол γ заданными, если известны указанные параметры. Определенное таким путем зенитное расстояние выступает в роли аргумента таблицы параллакс кн. V, гл. 18.

110. «Параллакс по высоте» в «Альмагесте» нигде специально не определяется, однако он служит основой для нахождения составляющих параллакса «по широте» и «по долготе», вычисляемых многократно. Правила его определения рассмотрены выше в коммент. 101–102, 104–105; здесь же мы разберем один числовой пример.

Определим параллакс Луны «по высоте» для момента соединения Луны со Спикой в 454 г. Набонассара, месяц тиб, день 5 (–293, март 9/10), наблюденного Тимохарисом в Александрии (кн. VII, гл. 3, с. 221). Местное истинное время соединения: 4 равноденственных часа до полуночи; для этого момента, по определению Птолемея,

$$\lambda_{\odot} = 15^{\circ} \text{ Рыб}, \lambda_{\zeta} = 21;21^{\circ} \text{ Девы}, \beta_{\zeta} = -15/6^{\circ}.$$

Проверим его вычисления.

1. Долгота кульминирующей точки эклиптики. Интервал времени после полудня $8^h \times 15^{\circ} = 120^{\circ}$. «Время восхода» в прямой сфере точки эклиптики с долготой $\lambda_{\odot}$ (кн. II, гл. 8): $\alpha(15^{\circ} \text{ Рыб}) = 346;13^{\circ}$. Сумма двух величин: $466;13^{\circ} \rightarrow 106;13^{\circ}$. По таблице кн. II, гл. 8 находим точку эклиптики, «время восхода» которой в прямой сфере соответствует полученной величине: $\alpha(115;46^{\circ}) = 106;13^{\circ}$. Отсюда $\lambda(M) = 115;46^{\circ} = 15;46^{\circ} \text{ Рака}$ (текст: 15° Рака).

2. Расстояния Луны от меридиана (таблица кн. II, гл. 8) $\Delta t = \alpha(\zeta) - \alpha(M) = \alpha(21;21^{\circ} \text{ Девы}) - \alpha(15;46^{\circ} \text{ Рака}) = 172;4^{\circ} - 106;13^{\circ} = 65;51^{\circ} = 4;23^h$ к востоку от меридиана.

3. Зенитное расстояние Луны определяем по таблице кн. II, гл. 13 для параллели Нижнего Египта интерполяцией соответствующих значений для Девы и Весов по времени и по долготе для аргументов $\Delta t = 4;23^h$ и $\lambda_{\zeta} = 21;21^{\circ} \text{ Девы}$.

Δt	λ		
	0° Девы	0° Весов	$21;21^{\circ} \text{ Девы}$
4^h	58;21	64;28	62;42
5^h	71;15	77; 6	72;25

Отсюда $z = 67;34^{\circ}$.

4. Истинная аномалия α и средняя элонгация $\bar{\eta}$ (таблица кн. IV, гл. 4).

Δt	$\Delta \bar{\alpha}$	$\Delta \bar{\eta}$
450^y	$323;26,5^{\circ}$	$10;11,3^{\circ}$
3^y	266; 9,22	28;52, 4
120^d	127;47,52	22;53,22
4^d	52;15,35	48;45,46
8^h	4;21,17	4; 3,48
$\Delta t = 453^y 124^d 8^h$	774;0,11^{\circ}	114;46,3^{\circ}

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_0 + \Delta\bar{\alpha} = 774;0^\circ + 268;49^\circ = 1042;49^\circ \rightarrow 322;49^\circ,$$

$$\bar{\eta} = \bar{\eta}_0 + \Delta\bar{\eta} = 70;37^\circ + 114;46^\circ = 185;23^\circ; 2\bar{\eta} = 370;46^\circ \rightarrow 10;46^\circ,$$

$$c_3(2\bar{\eta}) = 1;35^\circ; \alpha = \bar{\alpha} + c_3(2\bar{\eta}) = 322;49^\circ + 1;35^\circ = 324;24^\circ.$$

5. Для аргумента $z = 67;34^\circ$ в столбцах 3–6 таблицы гл.18, находим

$$c_3 = 0;49,47^\circ; c_4 = 0;9,37^\circ; c_5 = 1;12,45^\circ; c_6 = 0;23,7^\circ;$$

для аргумента $\left(\frac{360^\circ - \alpha}{2}\right) = 17;48^\circ$ в столбцах 7–8 той же таблицы:

$$c_7(\alpha) = 0;5,14, \quad c_8(\alpha) = 0;5,2;$$

для аргумента $\eta' = \bar{\eta} - 180^\circ = 5;23^\circ$ (столбец 9):

$$c_9(\bar{\eta}) = 0;0,40.$$

6. Параллакс в сизигиях

$$p_s = c_3 + c_7 c_4 = 0;49,47^\circ + 0;5,14 \times 0;9,37^\circ \approx 0;50,35^\circ;$$

параллакс в квадратурах

$$p_Q = c_5 + c_8 c_6 = 1;12,45^\circ + 0;5,2^\circ \times 0;23,7^\circ \approx 1;14,41^\circ;$$

общий «параллакс по высоте»

$$p = p_s + c_9(p_Q - p_s) = 0;50,35^\circ + 0;0,40 \times (1;14,41^\circ - 0;50,35^\circ) \approx 0;51^\circ.$$

111. Таблица кн. II, гл. 13.

112. Таблица хорд кн. I, гл. 11.

113. Рассмотрен упрощенный метод для нахождения составляющих параллакса «по долготе» p_λ и «по широте» p_β . В основе метода лежат следующие три допущения:

1) все треугольники считаются плоскими; 2) круги высоты, проходящие через центр Луны и ее проекцию кругом широты на эклиптику, параллельны; 3) параллакс вычисляется для проекции центра Луны на эклиптику, что равнозначно допущению $\beta_\zeta = 0$. При этих условиях

$$p_\lambda = p \cos \gamma, \quad p_\beta = p \sin \gamma,$$

где p — параллакс по высоте; γ — угол, образуемый эклипстикой и кругом высоты, проходящим через точку проекции Луны на эклиптику; подробнее см. [НАМА, р. 115–116; SA, р. 218–219].

Рассчитаем составляющие параллакса для рассмотренного выше наблюдения Тимохариса (см. коммент. 110).

1. По таблицам кн. II, гл. 13 для параллели Нижнего Египта интерполяцией значений Девы и Весов по времени и долготе для аргументов $\Delta t = 4;23^h$ к востоку и $\lambda_\zeta = 21;27^\circ$ Девы находим «восточный угол» γ .

Δt	λ		
	0° Девы	0° Весов	21;21° Девы
4 ^h	172;10	169;47	170;28
5 ^h	172;28	172;21	172;23

Отсюда $\gamma = 171;12^\circ$.

2. Определение долготной и широтной составляющих параллакса. Поскольку $\gamma > 90^\circ$, найдем $\gamma' = 180^\circ - \gamma = 8;48^\circ$. Аргументы таблицы хорд в кн. I, гл. 11: $2\gamma' = 17;36^\circ$, $180^\circ - 2\gamma' = 162;24^\circ$ и соответствующие им хорды $\text{Crd } 2\gamma' = 18;21^p$, $\text{Crd } (180^\circ - 2\gamma') = 118;35^p$. Отсюда

$$p_\lambda = p \frac{\text{Crd } (180^\circ - 2\gamma')}{120^p} = 0;51^\circ \times \frac{118;35^p}{120^p} \approx 0;50^\circ,$$

$$p_\beta = p \frac{\text{Crd } 2\gamma'}{120^p} = -0;51^\circ \times \frac{18;21^p}{120^p} \approx -0;8^\circ.$$

(текст: $p_\lambda = 0;44^\circ$, $p_\beta = -0;10^\circ$).

114. В рассмотренном примере (коммент. 113) точка зенита расположена на меридиане севернее кульминирующей точки эклиптики, поэтому параллакс «по широте» сдвигает светило к югу ($p_\beta < 0$); параллакс «по долготе», напротив, увеличивает долготу Луны ($p_\lambda > 0$), поскольку выполнены два условия: $p_\beta < 0$ и $\gamma > 90^\circ$.

115. Предвычисление солнечных затмений — основная задача, где применяется птолемеевская теория лунного параллакса. Точностные характеристики теории параллакса определяются поэтому требованиями теории затмений.

116. До настоящего времени не существует удовлетворительной реконструкции метода, применявшегося Гиппархом для уточнения составляющих лунного параллакса [НАМА, р.322–325; РА, р.268, п.82]. Здесь мы имеем едва ли не единственный пример в «Альмагесте», где Птолемей позволяет себе осуждающую реплику по отношению к Гиппарху.

117. Речь идет об углах, образуемых кругом широты и кругом высоты, проходящими через центр Луны. Таким образом, Птолемей, чтобы получить более точное значение параллакса, отказывается от второго и третьего условий, лежащих в основе рассмотренного выше (коммент. 113) упрощенного метода. По мнению О.Нейгебауэра [НАМА, р.116], это исправление не дает существенного выигрыша в точности, а приводит скорее к обратному результату, однако Дж.Тумер оспаривает этот вывод [РА, р.273, п.87].

118. Когда эклиптика проходит через зенит и широта Луны максимальна, ее зенитное расстояние $z = \beta_{\max} = 5^\circ$. Точка В совпадает с зенитом, так что для нас верно $z = 0$ и $p(z = 0) = 0$. Параллакс Луны для $z = 5^\circ$ определяется по таблице гл.18, столбцы 5 и 6 (эти столбцы дают наибольшую величину разности) $p(5^\circ) = 0;7,30^\circ + 0;2,5^\circ = 0;9,35^\circ \approx 0;10^\circ$, как указано в тексте. Максимальная широта

Луны при солнечном затмении составляет $1\frac{1}{2}^\circ$ (сумма видимых радиусов Луны и Солнца (по $\frac{1}{4}^\circ$) и наибольшего параллакса в соединении (около 1°)), см. кн. VI, гл.6. Отсюда максимальная разница между значениями параллакса на эклиптике и лунной орбите составит (столбцы 3 и 4 таблицы параллакса, аргумент $z = 1\frac{1}{2}^\circ$): $p(1\frac{1}{2}^\circ) = 0;1,25^\circ + 0;0,18^\circ = 0;1,43^\circ$, что близко к приведенной величине [РА, р.271, п.85; НА I, S.447].

119. Таблица хорд кн. I, гл.11.

120. Смысл описываемой процедуры поясняется на рис. 5-Н ([НАМА, р.1238, Fig. 106], где АГ — эклиптика, Z — зенит, Е — центр Луны; $BE = \beta$ —

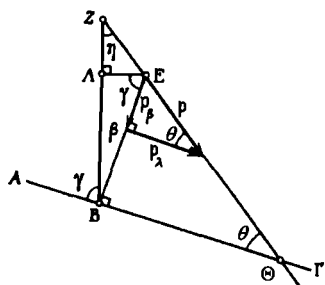


Рис. 5-Н

круг широты, $ZB = z$ и $ZΘ$ — круги высоты. Дано: угол $ABZ = \gamma$, зенитное расстояние z и широта β . Требуется определить угол $BΘE = \theta$ и с его помощью составляющие параллакса. Процедура вычислений такова:

1) из прямоугольного треугольника ВАЕ находим $BA = \beta \sin \gamma$; $AE = \beta \cos \gamma$ и затем $AZ = z - \beta \sin \gamma$;

2) из прямоугольного треугольника ZAE находим зенитное расстояние центра Луны

$$ZE = \sqrt{AZ^2 + AE^2}$$

и угол η из отношения

$$\sin \eta = \frac{AE}{ZE};$$

3) отсюда угол $\theta = \gamma - \eta$ и составляющие параллакса определяются согласно формулам

$$p_\lambda = p \cos \theta; \quad p_\beta = p \sin \theta.$$

Таким образом Птолемей устраняет огрубляющие условия 2 и 3, принятые в упрощенном методе (коммент. 113), но сохраняет допущение 1 (треугольник BZΘ считается плоским). Но так как «основание» треугольника BE мало (не более $\beta_{\max} = 5^\circ$), то оно не вносит большой погрешности в определяемые величины [PA, p.273, п.8; НАМА, p.116]. Однако точный метод, по-видимому, ни разу не использовался самим Птолемеем в «Альмагесте».

КНИГА ШЕСТАЯ

1. См. таблицу средних движений Луны кн.IV, гл.8

2. Среднесуточное приращение элонгации $\omega_\eta = 12;11,26,41...^\circ/d$ (кн.IV, гл.3); интервал времени, на который среднее новолуние предшествовало начальной эпохе, $70;37^\circ$
 $\frac{70;37^\circ}{\omega_\eta} \approx 5;47,33^d$; момент следующего новолуния в месяце тот $29;31,50^d - 5;47,33^d = 23;44,17^d$, где $29;31,50^d = \bar{m}$ — средняя продолжительность синодического месяца.

3. Установив дату среднего соединения в месяце тот 1 года Набонассара, все остальные даты Птолемей определяет последовательным суммированием продолжительности синодического месяца по правилу, эквивалентному формуле

$$t_{n+1} = t_n + \bar{m}.$$

Аналогичным образом ниже определяются даты последовательных оппозиций. В той же таблице приведены значения трех параметров, необходимые для предвычисления затмений: средней аномалии Солнца $\bar{\kappa}$, отсчитываемой от апогея солнечной орбиты, средней аномалии Луны $\bar{\alpha}$ и аргумента широты $\bar{\omega}'$ для установленных моментов средних соединений и оппозиций.

4. Целая часть числа представляет номер дня в месяце, на который приходится сизигия, дробная — часть суток, прошедшую после полудня до момента сизигии. Такая система обозначений, встречающаяся в «Альмагесте» только в таблицах гл.3 этой книги, широко используется Птолемеем в «Подручных таблицах» [Halma, 1822–1825; PA, p.246, п.4].

5. Речь идет о 25-летнем лунно-солнечном цикле: 25 египетских годов равны 309 синодическим месяцам, известном в Египте уже в середине I тыс. до н.э. [Parker, 1950, p.12–23, а также НАМА, p.563–565]. Этот цикл позволяет построить таблицы таким образом, чтобы дата первой сизигии в каждом цикле не выходила за пределы месяца тот [SA, p.222]. В данном случае имеется в виду соотношение $25^y \times 365^d - 0;2,47,5^d = 29;31,50,8,20^d \times 309^m$.

6. Имеются в виду приращения $\Delta\bar{\kappa}$, $\Delta\bar{\alpha}$ и $\Delta\bar{\omega}'$ за один синодический месяц.

7. Каждый год в 25-летнем цикле может содержать 12 или 13 сизигий одного типа, в зависимости от того, на какую дату приходится первая сизигия в году. Две последовательные сизигии (первые в году) могут поэтому отстоять друг от друга на 12 или 13 синодических месяцев. Определим, следуя О.Нейгебауэру, величины

$365^d - 12\bar{m} = \bar{e} = 10;37,58,20^d$ и $13\bar{m} - 365^d = \bar{m} - \bar{e} = 18;53,51,48^d$. Прибавление величины $12\bar{m}$ сдвигает дату первой сизигии в году относительно предыдущей на $\bar{e}$ дней назад, а величина $13\bar{m}$ — на $\bar{m} - \bar{e}$ дней вперед. Основываясь на этой закономерности, можно рассчитать даты первых сизигий для остальных 24 годов цикла, следующих за годом I, полагая, что в первый год цикла соединение произошло в начале месяца, а оппозиция — на $\bar{m}/2$ дня позднее. По установленным датам определяются далее соответствующие значения $\bar{k}$, $\bar{\alpha}$ и $\bar{\omega}'$. Подробнее см. [НАМА, р.120–121].

8. Приведенные здесь предельные значения аргумента широты, отсчитываемые от узлов ($\omega = 90^\circ$ и $\omega = 270^\circ$), для которых возможно наступление затмений Солнца и Луны, обосновываются в гл.5.

9. Общее правило для определения дат средних сизигий можно сформулировать следующим образом: если требуется найти первую сизигию для года $N = (25n + 1) + k$, где N — номер года по эре Набонассара, n , k — целые числа (причем $k \leq 24$), то необходимо к дате, которую дает таблица сизигий для первых годов 25-летнего цикла $(25n + 1)$, прибавить дату из таблицы для отдельных годов для года k ; если сумма окажется меньше 30^d , дата относится к месяцу тот, в противном случае к месяцу фаофи.

П р и м е р. Определить даты средних оппозиций для года 882 по эре Набонассара. По таблицам гл.3 находим

$$\begin{array}{ll} 876^y: & \text{тот } 8;20,54^d \\ 6^y: & 24;47,40^d \end{array}$$

Набонассара 882 II 3;8,34

Чтобы определить время первой оппозиции в этом году, необходимо из полученной даты вычесть величину $29;31,50^d$; все остальные даты находим прибавлением этой же величины, кроме месяцев IV и XI, где, согласно таблице Птолемея для месяцев, нужно прибавить $29;31,51^d$.

Номер сизигии	Номер месяца	Момент оппозиции
1	882 I	3;36,44
2	II	3; 8,34
3	III	2;40,24
4	IV	2;12,15
5	V	1;44, 5
6	VI	1;15,55
7	VI	30;47,45
8	VII	30;19,35
9	VIII	29;51,25
10	IX	29;23,15
11	X	28;55, 5
12	XI	28;26,56
13	XII	27;58,46

Другие примеры предвычисления дат средних сизигий с помощью таблиц Птолемея см. в [НАМА, р.121–122; РА, р.654].

10. Птолмей говорит об определении среднего времени по истинному, однако в данном случае должна иметь место обратная операция: истинное время определяется по среднему, см. кн.III, гл.9.

11. Момент истинной сизигии t_s (когда $\lambda_\zeta = \lambda_\odot$) определяется по вычисленному моменту средней сизигии $\bar{t}_s$ ($\bar{\lambda}_\zeta = \bar{\lambda}_\odot$). Для момента $\bar{t}_s$ должны быть вычислены истинные долготы λ_ζ и $\lambda_\odot$, а затем элонгация Луны $\eta = \lambda_\zeta - \lambda_\odot$ (в соединении) или $\eta = \lambda_\zeta - (\lambda_\odot - 180^\circ)$ (в оппозиции). Промежуток времени между истинной и средней сизигиями определяется соотношением

$$-\Delta t = \frac{\eta}{v_\zeta - v_\odot},$$

где $v_\odot$, v_ζ — скорости движения Солнца и Луны по долготе. Полагая $\frac{v_\odot}{v_\zeta} = \frac{1}{13}$, находим

$$-\Delta t = \frac{\eta}{v_\zeta \left(1 - \frac{v_\odot}{v_\zeta}\right)} = \frac{13}{12} \frac{\eta}{v_\zeta} = \left(\eta + \frac{1}{12} \eta\right) \frac{1}{v_\zeta}.$$

Величина Δt прибавляется к $\bar{t}_s$, если в момент средней сизигии $\lambda_\odot > \lambda_\zeta$ ($\lambda_\odot - 180^\circ > \lambda_\zeta$) (истинная сизигия еще не наступила), в противном случае Δt должна вычитаться из $\bar{t}_s$.

12. Скорость Луны по долготе существенно меняется с течением времени. Поэтому в формуле для определения интервала времени Δt между истинной и средней сизигиями должна фигурировать истинная скорость, а не средняя. Согласно Птолемею, величина истинной скорости

$$v_\zeta = 0;32,56 + 0;32,40 \times \Delta c(\alpha), \text{ } ^\circ/\text{h},$$

где первое слагаемое есть средняя часовая скорость Луны по долготе ω_λ , второе — произведение средней часовой скорости по аномалии ω_α (кн.IV, гл.4) на приращение лунного неравенства $\Delta c(\alpha) = c(\alpha + 1^\circ) - c(\alpha)$ для соответствующего значения α (см. там же); поскольку максимум неравенства имеет место при $\bar{\alpha} = 96^\circ$, имеем $\Delta c < 0^\circ$, если $\bar{\alpha} < 96^\circ$ или $\bar{\alpha} > 264^\circ$, и $\Delta c > 0^\circ$, если $96^\circ < \bar{\alpha} < 244^\circ$ [НАМА, р.122–123; SA, р.225–226]. Подробный анализ соотношений, приведенных в коммент. 11, 12, см. в [Куртик, 1997].

П р и м е р. Определить время истинной оппозиции для 882 г. Набонассара, месяц хойак.

Момент средней оппозиции в этом месяце $\bar{t}_{\text{оп}} = 2;12,15^d$ (коммент. 9).

Соответствующие значения $\bar{\kappa}$ и $\bar{\alpha}$ находим по таблицам в гл.3:

	$\bar{\kappa}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\omega}$
876 ^y	59;45,36	233;43,26	255;26,22
6 ^y	22;58,47	136;15,11	140;17,41
882 ^y II	82;44,23°	9;58,37°	35;44, 3°

Найденные величины, как и в коммент. 9, относятся ко второй оппозиции года. Даты следующих оппозиций находим последовательным суммированием $\Delta \bar{\kappa}$ и $\Delta \bar{\alpha}$ за один синодический месяц:

	$\Delta \bar{\kappa}$	$\Delta \bar{\alpha}$	$\Delta \bar{\omega}$
882 ^y II	82;44,23	9;58,37	35;44, 3
III	111;50,46	35;47,37	66;24,17
IV	140;57, 9	61;36,38	97; 4,31

Уравнение Солнца (кн.III, гл.6): $c_{\odot} = c(\bar{\kappa}) = -1;33^{\circ}$. Лунное уравнение (кн.IV, гл.10): $c_{\zeta} = c(\alpha) = -4;12,16^{\circ}$, $c(\alpha + 1^{\circ}) = -4;14,56^{\circ}$. Для средней оппозиции, когда $\bar{\lambda}_{\zeta} = \bar{\lambda}_{\odot} - 180^{\circ}$, имеем соотношение

$$\eta = \lambda_{\zeta} - (\lambda_{\odot} - 180^{\circ}) = c_{\zeta} - c_{\odot} = -4;12^{\circ} + 1;33^{\circ} = -2;39^{\circ}.$$

Приращение неравенства Луны

$$\Delta c(\alpha) = c(\alpha + 1^{\circ}) - c(\alpha) = -0;2,40^{\circ}.$$

Истинная скорость движения Луны

$$v_{\zeta} = 0;32,56 - 0;32,40 \times 0;2,40^{\circ}/h = 0;31,29^{\circ}/h.$$

Интервал между истинной и средней оппозициями

$$\Delta t = -\frac{13}{12} \frac{\eta}{v_{\zeta}} = \frac{13}{12} \frac{2;39^{\circ}}{0;31,29^{\circ}/h} \approx 5;28^h.$$

Поскольку в момент средней оппозиции $\lambda_{\odot} - 180^{\circ} > \lambda_{\zeta}$ ($\eta < 0$), величина Δt прибавляется к определенному ранее моменту средней оппозиции $\bar{t}_{\text{ор}}$. Отсюда $t_{\text{ор}} = 2;25,55^d$; истинная оппозиция в месяце хойаке в 882 г. Набонассара будет иметь место во 2-й день месяца в 10;22^h после полудня.

Другие примеры предвычисления истинных сизигий, согласно методике Птолемея, см. в [НАМА, р.123–124; РА, р.654].

13. Кн.V, гл.14, с.161–162.

14. В перигее Луна имеет наибольший видимый диаметр; предельные значения аргумента широты, для которых возможны затмения, будут в этом случае наибольшими.

15. –173, апрель 30/май 1; Филометор — эллинистический царь Птолемей VI Филометор (180–145 до н.э.). См. также таблицу в коммент. 25 к кн.IV.

16. Проверку вычислений Птолемея см. в [НА I, 350, Anm. b)].

17. Принятое уравнение $c_{\zeta} = -1;33^{\circ}$ соответствует аномалии $\bar{\alpha} = 163;40^{\circ}$ при условии, если использовалась простая лунная гипотеза (таблица кн.IV, гл.10). Точные вычисления по таблице кн.V, гл.9 дают $c_{\zeta} = -1;29^{\circ}$; расстояние Луны от узла при этом получается равным 8;22° вместо принятых 8;20° [РА, р.283, п.20].

18. –140, январь 27/28. Это затмение наблюдалось Гиппархом, чему имеется подтверждение в гл.8 этой книги, с.200; см. также таблицу в коммент. 25 к кн.IV.

19. Принятое Птолемеем значение полудлительности $\frac{\Delta \tau}{2} = 1/2^h$ приблизительно в два раза меньше определенного по его же таблицам (гл.8) [НА I, 450; Ньютон, 1985, с. 204–205; Fotheringham, 1920, р.579; РА, р.284, п.23].

20. Величина лунного неравенства $c_{\zeta} = -0;8^{\circ}$ здесь также (см. коммент. 7) определена на основе простой гипотезы по таблицам кн.IV, гл.10 для $\bar{\alpha} = 178;46^{\circ}$. Точные вычисления (по таблице кн.V, гл.9) дают $c_{\zeta} = -0;3^{\circ}$ и расстояние Луны от узла 10;42° вместо 10;36° [РА, р.284, п.22].

21. Через полюсы наклонного круга лунной орбиты.

22. Положения центра Луны и центра тени относительно узлов для каждого из затмений показаны на рис. 6-А. Метод вычислений аналогичен процедуре, используемой в кн.V, гл.14 для определения наименьшего видимого диаметра Луны (коммент. 85 к кн.V). В данном случае

$$\Delta \omega'_3 = 8;20^{\circ}, \quad \Delta \omega'_4 = 10;36^{\circ},$$

$$m_3 = 7'', \quad m_4 = 3''.$$

Из треугольника BAL по известным $\Delta\omega'$ и углу i определяется расстояние центра Луны L от центра тени B :

$$b_3 = 0;43,3^\circ, \quad b_4 = 0;54,50^\circ.$$

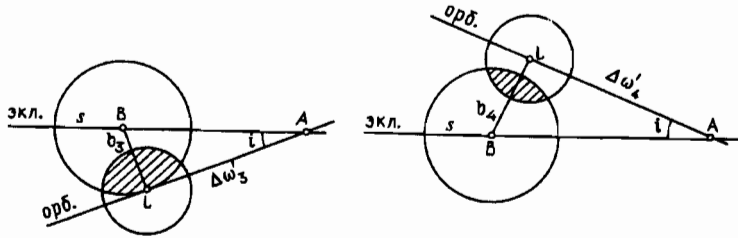


Рис. 6-А

Приращение величины затемненной части диска в частях диаметра

$$\Delta m = \frac{7-3}{12} d_{\zeta} = \frac{1}{3} d_{\zeta},$$

а соответствующее ему изменение расстояния центра Луны от центра тени

$$\Delta b = b_4 - b_3 = 0;11,47^\circ.$$

Отсюда

$$d_{\zeta} = 3 \times 0;11,47^\circ \approx 0;35,20^\circ.$$

23. Радиус тени, согласно данным Птолемея,

$$s = b_4 - \frac{1}{4} d_{\zeta} = 0;54,50^\circ - \frac{1}{4} \times 0;35,20^\circ = 0;46^\circ;$$

теоретическое значение $s = 2 \frac{2}{3} r_{\zeta} = 0;45,56^\circ$.

24. Определяется предельная широта Луны, для которой возможно солнечное затмение. Видимый радиус Солнца, как показано в кн.V, гл.14, равен видимому радиусу Луны ($0;15,40^\circ$) при ее максимальном удалении от наблюдателя. Отсюда

$$|\beta_{\max}| \leq r_{\odot} + r_{\zeta\max} = 0;15,40^\circ + 0;17,40^\circ = 0;33,20^\circ.$$

25. Имеется в виду устье реки Днепр.

26. Условия наблюдаемости солнечных затмений существенным образом зависят от положения наблюдателя на поверхности Земли относительно оси конуса лунной тени. Поэтому при определении «пределов затмений» должен учитываться параллакс, заметно влияющий на величину $\beta_{\max}$ и ω' . С учетом параллакса $\omega' = (p_{\beta} + 0;33,20^\circ)11;30 + p_{\lambda}$. Птолемей ограничивается семью климатами от Мероэ ($\varphi = 16\frac{1}{2}^\circ$) до устьев Борисфена ($\varphi = 48\frac{1}{2}^\circ$), определяя для них максимальные значения p_{β} и p_{λ} . Для Мероэ $p_{\beta} = 0;8^\circ$ к северу, $p_{\lambda} = 0;30^\circ$, когда соединение происходит в районе Льва—Близнецов; для Борисфена $p_{\beta} = 0;58^\circ$ к югу, $p_{\lambda} = 0;15^\circ$, когда соединение — в Скорпионе—Рыбах. Проверка показывает, что величины p_{β} вычислены Птолемеем правильно, в то время как p_{λ} содержат необъяснимые ошибки. Соответственно Птолемей рассматривает два крайних случая: а) Луна расположена к югу от эклиптики и имеет максимальную широтную составляющую p_{β} к северу; б) Луна — к северу от эклиптики, южная компонента p_{β} максимальна. Выбор указанных окрестностей солнцестояний связан, по-видимому,

с двумя крайними положениями эклиптики относительно зенита: наиболее северным (Солнце в Раке), дающим наибольшее параллактическое смещение к северу, и самым южным (Солнце в Скорпионе), при котором имеет место максимальное смещение к югу [НАМА, р.126–129; SA, р.228–230].

27. $1;31^\circ \approx 0;33,20^\circ + 0;58^\circ$. Пусть (на рис. 6-В) ΔA — эклиптика, $\Delta \Gamma$ — орбита Луны, ω — видимое расстояние Луны от узла, β — широта, $i = 5^\circ$ — наклон орбиты. Треугольник $\Delta \Gamma A$ считается плоским; соответственно находим

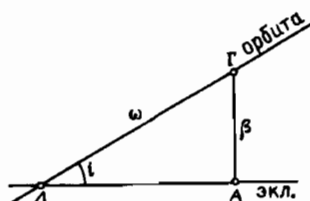


Рис. 6-В

$$\omega = 11;30 \times \beta;$$

коэффициент при β определяется по таблице хорд (кн. I, гл. 11) из отношения

$$\frac{120^p}{\text{Crd } 10^\circ} = 11;28 \approx 11;30,$$

[НА I, 450–451; НАМА, р.125].

Истинное расстояние центра Луны от узла определяется далее согласно формуле

$$\omega' = \omega + p_\lambda.$$

28. От значений истинного аргумента широты ω' Птолемей переходит к средним значениям $\bar{\omega}'$, поскольку их определение проще. Чтобы получить $\bar{\omega}'$, значения ω' , определенные выше, нужно увеличить на величину $x = AM$ — расстояние по долготе между истинным и средним соединениями (рис. 6-С). В момент истинной сизигии, когда $\lambda_\odot = \lambda_\zeta$, средние долготы Солнца и Луны могут различаться самое большее на величину $\Delta = c_\odot + c_\zeta = 2;23^\circ + 5;1^\circ = 7;24^\circ$. Двигаясь по эклиптике, точка $\bar{\zeta}$ догоняет $\bar{\odot}$. Отсюда

$$\begin{aligned} x &= c_\odot + \Delta \frac{v_\odot}{v_\zeta} + \Delta \frac{v_\odot^2}{v_\zeta^2} + \dots \approx c_\odot + \Delta \left[\frac{v_\odot}{v_\zeta} + \left(\frac{v_\odot}{v_\zeta} \right)^2 \right] = \\ &= 2;23^\circ + 7;24^\circ \left[\frac{1}{13} + \left(\frac{1}{13} \right)^2 \right] \approx 2;23^\circ + 0;34^\circ + 0;3^\circ = 3;0^\circ. \end{aligned}$$

Здесь Птолемей суммирует ряд бесконечной геометрической прогрессии, ограничиваясь двумя ее членами; при этом отношение скоростей Солнца и Луны

$$\frac{v_\odot}{v_\zeta} = \frac{1}{13}, \text{ а } \frac{1}{13} + \left(\frac{1}{13} \right)^2 \approx \frac{1}{12}. \text{ Подробнее см. [НА I, 451; НАМА, р.125–126; SA, р.224, а также Куртик, 1997].}$$

29. Средний аргумент широты, отсчитываемый от узла,

$$0^\circ \leq |\bar{\omega}'| \leq 17;41^\circ + 3^\circ = 20;41^\circ, \text{ если } \beta > 0,$$

$$0^\circ \leq |\bar{\omega}'| \leq 8;22^\circ + 3^\circ = 11;22^\circ, \text{ если } \beta < 0.$$

Отсюда находим возможные пределы изменения $\bar{\omega}'$ для солнечных затмений; для восходящего узла ($\bar{\omega}' = 270^\circ$)

$$270^\circ - 11;22^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 270^\circ + 20;41^\circ, \text{ или}$$

$$258;38^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 290;41^\circ,$$

для нисходящего узла ($\bar{\omega}' = 90^\circ$)

$$90^\circ - 20;41^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 90^\circ + 11;22^\circ, \text{ или}$$

$$69;19^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 101;22^\circ.$$

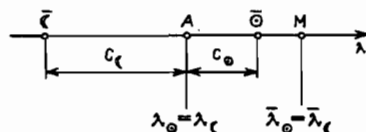


Рис. 6-С

30. Птолемей приводит теоретическую величину радиуса тени s (см. коммент. 23), вместо вычисленной на основании наблюдений ($0;46^\circ$). Предпочтение теории перед наблюдениями в целом свойственно подходу Птолемея, но в данном случае оно оправдывается еще и характером самих вычислений, поскольку теоретическая величина расширяет допустимую область изменения ω' .

31. Определяются предельные значения среднего аргумента широты для лунных затмений. Птолемей находит предельное значение расстояния центра Луны от центра тени

$$|\beta_{\max}| \leq 0;17,40^\circ + 0;45,56^\circ = 1;3,36^\circ,$$

предельные значения истинного аргумента широты, отсчитанные от узлов,

$$|\omega'| \leq 11;30 \quad \beta_{\max} = 12;12^\circ.$$

Переходим к среднему аргументу широты:

$$|\bar{\omega}'| = |\omega' + 3^\circ| \leq 15;12^\circ.$$

Отсюда допустимая область изменения $\bar{\omega}'$ для восходящего узла ($\bar{\omega}' = 270^\circ$)

$$270^\circ - 15;12^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 270^\circ + 15;12^\circ$$

или

$$254;48^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 285;12^\circ,$$

для нисходящего узла ($\bar{\omega}' = 90^\circ$)

$$90^\circ - 15;12^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 90^\circ + 15;12^\circ$$

или

$$74;48^\circ \leq \bar{\omega}' \leq 105;12^\circ.$$

32. Таблица кн. VI, гл. 3, столбец 5.

33. Задача, сформулированная Птолемеем, в том, что касается лунных затмений, решалась в вавилонской астрономии при помощи «сароса» (коммент. 7 к кн. IV) — периода, содержащего 33 шестимесячных и 5 пятимесячных интервалов между затмениями. Сохранились клинописные списки затмений, в которых приведены даты затмений для всего «сароса» [НАМА, р. 525–526]. Птолемей о «саросе» в этой связи не упоминает, но идея периодичности затмений была известна античным астрономам задолго до Птолемея [НАМА, р. 321–322]. Так, например, Плиний (Естеств. история, II, 57) приписывает Гиппарху установление пятимесячного интервала для лунных затмений, а также семи- и одномесячных интервалов для солнечных затмений, но не во всякой местности. Возможно поэтому, что настоящая глава включает, по крайней мере частично, изложение теории Гиппарха [НАМА, р. 129].

34. Рассуждения Птолемея поясняются на рис. 6-D, который мы заимствовали из [РА, р. 288, Fig. H]. Во время затмения, как лунного, так и солнечного, средняя Луна должна находиться в пределах затменной зоны AB или CD своей орбиты. Затмение в какую-либо сизигию возможно, если приращение среднего аргумента широты $\Delta\bar{\omega}'$ за время, прошедшее от исходной сизигии,

во время которой наблюдалось затмение, не выводит среднюю Луну за эти пределы. Для лунного затмения такая ситуация будет иметь место, если $149;36^\circ \leq \Delta\bar{\omega}' \leq 210;24^\circ$; в этом случае найдется по крайней мере одна точка $M \in AB$ (или CD) такая, что $M + \Delta\bar{\omega}' \in CD$ (или AB). Для солнечных затмений

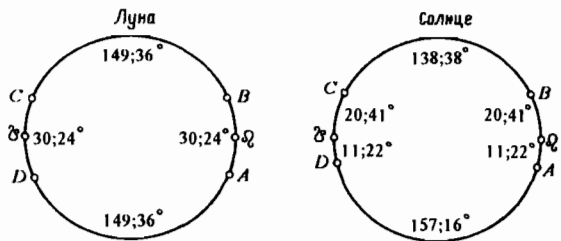


Рис. 6-D

$138;38^\circ \leq \Delta\bar{\omega}' \leq 202;44^\circ$ (если $M \in AB$) и $157;16^\circ \leq \Delta\bar{\omega}' \leq 221;22^\circ$ ($M \in CD$). Приращение среднего аргумента широты за 6 месяцев (таблица кн.VI, гл.3, столбец 5) $\Delta\bar{\omega}' = 184;1,25^\circ$ удовлетворяет всем этим требованиям.

35. Продолжительность синодического месяца определяется, согласно Птолемею, по правилу, эквивалентному формуле

$$m = \bar{m} \left(1 + \frac{v_\odot}{v_\zeta} \right),$$

где $\bar{m}$ — средняя продолжительность месяца, m — истинная продолжительность, $v_\odot$, v_ζ — истинные скорости движения Солнца и Луны по долготе; величина m будет наибольшей, если $v_\odot$ максимальна, а v_ζ минимальна.

36. Приращения $\Delta\bar{\lambda}$ и $\Delta\bar{\alpha}$ за 5 средних месяцев определяются по табл. кн.VI, гл.3, столбцы 3–4; движения по долготе Солнца за пятимесячный интервал будет наибольшим, если дуга $\Delta\bar{\lambda}$ симметрична относительно перигея орбиты и перигей находится в ее середине; тогда значение солнечной аномалии для первой сизигии $\bar{\kappa}_1 = 180^\circ - 145;32/2 = 107;14^\circ$, для второй сизигии $\bar{\kappa}_2 = 180^\circ + 145;32/2 = 252;46^\circ$; соответствующее уравнение (табл. кн.III, гл.6) $c_\odot = \pm 2;19^\circ$; приращение истинной долготы $\Delta\lambda_\odot = \Delta\bar{\lambda} + 4;38^\circ$; истинные долготы Солнца $\lambda_1 = 170;25^\circ \approx 20^\circ$ Девы, $\lambda_2 = 320;35^\circ \approx 20^\circ$ Водолея.

Движение Луны по долготе будет наименьшим, если дуга $\Delta\bar{\alpha}$ (превышение аномалии над пятью полными оборотами) симметрична относительно апогея эпицикла и апогей находится в ее центре; значение лунной аномалии для первой сизигии $\bar{\alpha}_1 = 64;32^\circ$, для второй сизигии $\alpha_2 = 360^\circ - 64;32^\circ = 295;28^\circ$; уравнение (табл. кн.IV, гл.10) $c_\zeta = \pm 4;20^\circ$; приращение истинной долготы: $\Delta\lambda_\zeta = \Delta\bar{\lambda} - 8;40^\circ$ [НАМА, р.130].

37. Приращение элонгации за пятимесячный интервал $\Delta\lambda_\odot - \Delta\lambda_\zeta = 4;38^\circ + + 8;40^\circ = 13;18^\circ$. За время, которое потребуется Луне, чтобы пройти эту дугу, Солнце продвинется по долготе на $13;18/12 = 1;6^\circ$, см. коммент. 11, 28.

38. Таблица для месяцев кн.VI, гл.3, столбец 5.

39. В моменты сизигий Луна находится приблизительно на среднем расстоянии, поскольку $\bar{\alpha} \approx 65^\circ$. Предельная широта Луны на среднем расстоянии, при которой возможно затмение, определяется как полусумма широт для наибольшего и наименьшего расстояний. В наибольшем расстоянии $\beta_{\max} = r_\zeta + s = 0;15,40^\circ + + 23\frac{1}{2} \times 0;15,40^\circ = 0;56,24^\circ$ (с.161–162 и коммент. 85 кн.V), в наименьшем — $\beta_{\min} = 1;3,36^\circ$ (коммент. 31). Отсюда $|\beta_{\max}| \leq (1;3,36 + 0;56,24):2 = 1^\circ$; предельное расстояние Луны от узлов $|\omega| \leq 11;30\beta = 11;30^\circ$ (коммент. 27); дуга $BC = 180^\circ - 2 \times 11;30^\circ = 157;0^\circ$.

40. См. коммент. 35; продолжительность синодического месяца будет минимальной, если скорость Солнца наименьшая, а Луны наибольшая.

41. Приращение средней долготы $\Delta\bar{\lambda}$ и средней аномалии $\Delta\bar{\alpha}$ определяется по таблице кн.VI, гл.3, столбцы 3–4. Движение Солнца по долготе за 7 месяцев будет наименьшим, если дуга $\Delta\bar{\lambda}$ симметрична относительно апогея; в этом случае солнечная аномалия $\bar{\kappa}_{1,2} = \pm 101;52^\circ$, уравнение $c_\odot = \pm 2;21^\circ$, приращение истинной

долготы $\Delta\lambda_\odot = \Delta\bar{\lambda} - 4;42^\circ$; истинные долготы $\lambda_1 = 65;30^\circ + \frac{1}{2}(203;45^\circ - 4;42^\circ) = 15;1,30^\circ$ Девы, $\lambda_2 = 65;30^\circ - \frac{1}{2}(203;45^\circ - 4;42^\circ) = 25;58,30^\circ$ Водолея [РА, р.292, п.41]. Движение Луны по долготе будет наибольшим за интервал в 7 месяцев, если она проходит апогей эпицикла в середине 4-го месяца; при этом аномалия в сизи-

гии $\bar{\alpha}_{1,2} = \pm \frac{1}{2} \Delta \bar{\alpha} = \pm 90;21^\circ$, если считать от перигея эпицикла; уравнение $c_\zeta = \pm 4;59^\circ$; приращение истинной долготы $\Delta \lambda_\zeta = \Delta \bar{\lambda} + 9;58^\circ$. За семимесячный интервал элонгация изменится на величину $\Delta \lambda_\zeta - \Delta \lambda_\odot = 14;40^\circ$.

42. Вычисления следуют процедуре, рассмотренной в коммент. 36–39; за семь месяцев минимальной продолжительности Луна, стартовав из точки А, пройдет по орбите дугу АМ, большую дуги ABCD (рис. 6-D). Положение второй сизигии оказывается поэтому за пределами дуги CD, что делает затмение невозможным.

43. С.185.

44. Максимальная широта Луны на среднем расстоянии, при которой еще возможно затмение, равна сумме радиуса Солнца ($r_\odot = 0;15,40^\circ$, кн.VI, гл.5, с.183) и радиуса Луны ($r_\zeta = 0;16,40^\circ$), который в свою очередь равен полусумме радиусов Луны на максимальном ($0;15,40^\circ$) и минимальном ($0;17,40^\circ$) расстояниях, т.е. $|\beta_{\max}| \leq 0;15,40^\circ + (0;17,40^\circ + 0;15,40^\circ) : 2 = 0;32,20^\circ$. Отсюда предельное значение аргумента широты, отсчитанное от узла, $|\omega| \leq 11;30 \times 0;32,20^\circ = 6;11,50^\circ \approx 6;12^\circ$ (коммент. 27); величины дуг BC и DA (рис. 6-D), на которых не происходят затмения, $\Delta \omega = 180^\circ - 2 \times 6;12^\circ = 167;36^\circ$ [РА, р.290, п.34].

45. Применяется формула, связывающая значения аргумента широты и широты вблизи узлов:

$$\Delta \beta = \frac{\Delta \omega}{11;30} = 0;44,26 \approx 0;45^\circ.$$

46. Из контекста и согласно ряду рукописей ясно, что здесь должно быть не «наибольшее пятимесячие», а «период из 5 средних месяцев таких, что...» [РА, р.290, п.35].

47. См. выше с.185 и коммент. 37.

48. Действительно,

$$(13;18^\circ + \frac{1}{2} \times 13;18^\circ) : 13;10,34^\circ/d = (13;18^\circ + 1;6^\circ) : 13;10,34^\circ/d = 1^d 2;14^h,$$

см. с.185 и коммент. 38.

49. Продолжительность 5 средних месяцев, согласно таблице в гл.3, столбец 2, равна $147;39,11^d = 147^d 15;40^h$, которые Птолемей округляет до $147^d 15;34^h$.

50. Чтобы параллакс был наибольшим, предполагается, что первое затмение произошло вблизи горизонта, а второе 5 месяцев спустя в меридиане. В моменты затмений Солнце имело долготы соответственно $\lambda_1 = 20^\circ$ Девы, $\lambda_2 = 20^\circ$ Водолея и середина дуги совпадала с перигеем, см. коммент. 37.

51. Поскольку $\Delta \bar{\omega}'$ за пять месяцев после вычитания целых оборотов будет меньше 180° , Луна в каждом из затмений в рассматриваемой ситуации будет находиться к югу от эклиптики и иметь параллакс одного знака в каждом случае меньше $0;45^\circ$. Увеличение $\Delta \bar{\omega}'$ между затмениями за счет параллакса, таким образом, не может достичь требуемой величины $0;45^\circ$, поскольку параллаксы вычитаются.

52. Суммарный параллакс для наблюдателя на экваторе меньше требуемой величины $0;45^\circ$, однако уже в следующем климате ($M = 12\frac{1}{2}^h$), он будет больше $0;45^\circ$ и, значит, для всех точек, лежащих к северу, возможны два солнечных затмения с интервалом 5 месяцев, так как при движении к северу южный параллакс возрастает. Вычисления Птолемея проанализированы Паппом [Rome, 1931, p.225–229], см. также [НАМА, р.131–132, РА, р.291, п.39].

53. С.186; дуга ABCD (рис. 6-D) на среднем расстоянии без учета параллакса равна $180^\circ + 2 \times 6;12^\circ = 192;24^\circ$, см. также коммент. 44.

54. Предельные значения аргумента широты $\Delta \bar{\omega}' = 208;47^\circ - 92;24^\circ = 116;23^\circ$, что соответствует $\Delta \beta = \frac{\Delta \bar{\omega}'}{11;30} = 1;25^\circ$, см. коммент. 27.

55. См. коммент. 41.

56. С.186; дуга, которую проходит Луна по своей орбите за время между средним и истинным соединениями, делится на среднесуточную скорость по долготе $(14;40' + \frac{1}{12} \times 14;40') : 13;10,34' / d = 1^d 4;56^h \approx 1^d 5^h$.

57. Параллакс к северу в северном полушарии имеет максимум на экваторе. Полагая зенитное расстояние $z = 24^\circ$ (наибольшее зенитное расстояние эклиптики в меридиане на земном экваторе), по таблице кн.V, гл.18 находим суммарный параллакс (лунный минус солнечный) на среднем расстоянии

$$p = p_s - c_2 = 0;22,6^\circ + \frac{1}{2} \times 0;4,18^\circ - 0;1,9^\circ = 0;23,6^\circ,$$

что соответствует тексту [РА, р.292, п.43].

58. Параллакс по широте к северу возрастает с увеличением географической широты, и если для параллели Родоса суммарный параллакс точек эклиптики с долготами λ_1 и λ_2 $(0;46' + 0;46' = 1;32')$ больше величины $1;25'$, то при движении к северу он будет еще больше, и, значит, возможны два солнечных затмения с интервалом 7 месяцев.

59. Два затмения с интервалом в 1 месяц возможны лишь в том случае, если обе сизигии окажутся в пределах одной и той же затменной дуги AB или CD (рис. 6-D). Вероятность этого события проверяется в предельной ситуации, когда дуга AB (CD) имеет максимальную величину, а приращение долготы за один месяц — минимальную. Оба эти условия, однако, не могут быть выполнены одновременно, поскольку увеличение дуг AB (CD) происходит за счет параллакса, который имеет максимум при минимальном расстоянии Луны, когда она находится в перигее эписцикла, а минимальное приращение долготы имеет место, когда обе сизигии симметричны относительно перигея.

60. Приращения $\Delta \bar{\lambda} = 29;6'$; $\Delta \bar{\alpha} = 25;49'$; $\Delta \bar{\omega} = 30;40'$ определены по таблице в гл.3 для месяцев. Поскольку длина месяца наименьшая, пройденная Солнцем дуга $\Delta \bar{\lambda}$ симметрична относительно апогея и апогей находится в ее центре; отсюда $\bar{\kappa}_{1,2} = 14;33'$; уравнение (таблица кн.III, гл.6) $c_\odot = \pm 0;34'$; приращение истинной долготы $\Delta \lambda_\odot = \Delta \bar{\lambda} - 1;8'$.

Дуга на эписцикле $\Delta \bar{\alpha}$ симметрична относительно перигея; $\alpha_{1,2} = 180^\circ \pm \pm \frac{1}{2} \Delta \bar{\alpha}$, уравнение (таблица кн.IV, гл.10) $c_\zeta = \pm 1;14'$, приращение истинной долготы $\Delta \lambda_\zeta = \Delta \bar{\lambda} + 2;28'$. Дуга эклиптики между двумя истинными соединениями короче дуги между средними соединениями на величину $\Delta \lambda_\zeta - \Delta \lambda_\odot = 3;36'$. За время, которое Луна затратила бы на прохождение этой дуги, Солнце продвинется на эклиптике на величину $\frac{3;36'}{12} = 0;18'$, которая суммируется с величиной $1;8'$. Таким образом, истинное движение Солнца по долготе за наименьший месяц $\Delta \lambda_\odot = \Delta \bar{\lambda}_\odot - 1;26'$ и прибавление аргумента широты $\Delta \omega' = \Delta \bar{\omega}' - 1;26' = 29;14'$.

61. При наименьшем расстоянии Луны без учета ее параллакса $|\beta_{\max}| \leq \leq 0;33,20 \approx 0;33'$ (с.183); Птолемей удваивает эту величину, поскольку речь идет о двух затмениях. Предельное значение аргумента широты относительно узлов $|\omega| \leq 29;14/2 = 14;37'$, отсюда $|\beta_{\max}| \leq \frac{13;37'}{11;30} \approx 1;16'$; удвоенная разность величин $2 \times (1;16' - 0;33') \approx 1;26'$ (в тексте: $1;27'$) должна компенсироваться параллаксом [НАМА, р.133; РА, р.293, п.46].

62. Поскольку Луна находится по разные стороны от эклиптики в каждую из сизигий.

63. В самом деле, по таблице кн.V, гл.18, столбцы 2, 3, 4, 7 находим суммарный параллакс Луны и Солнца в сизигиях при $z = 90^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$, $p = p_s - c_2 = = c_3 + c_4 \times c_5 - c_2 = 0;53,34' + 1 \times 0;10,17' - 0;2,51' = 1;1'$.

64. Αντίθωνον , буквально «противоземных», т.е. среди людей, живущих на противоположной стороне Земли к югу от экватора, так называемых «антиподов». См. в этой связи [Райт, 1988, с.58–60].

65. Здесь, очевидно, ошибка переписчика, поскольку нижний возможный предел лунного параллакса на экваторе на самом деле равен нулю [РА, р.294, п.47].

66. Наибольший параллакс по широте на экваторе будет иметь место при прохождении через меридиан, когда $z = 24^\circ$ (наибольшее расстояние эклиптики от экватора) и $\alpha = 180^\circ$. Соответственно по таблице кн.V, гл.18 находим суммарный параллакс Солнца и Луны: $p_s - c_2 = c_3 + c_7 \times c_4 - c_2 = 0;22,6^\circ + 1 \times 0;4,18^\circ - 0;1,9^\circ = 0;25,15^\circ$.

67. На самом деле два частных солнечных затмения с интервалом в 1 месяц возможны [Михайлов, 1945, с. 22–23]. Ошибка Птолемея обусловлена неточностями, допущенными при определении видимых размеров Луны и Солнца.

68. Величину фазы затмения Птолемей измеряет в «пальцах» ($\delta\alpha\kappa\tau\upsilon\lambda\omicron\iota$) — двенадцатых частях диаметра светила, которым соответствуют «дюймы» современной теории затмений [Михайлов, 1945, с. 59]. В рассматриваемой таблице значения аргумента широты (в столбцах 1 и 2) вычислены на основании величин фазы затмения (в столбце 3), возрастающих последовательно на один «палец», или на $1/12$ часть диаметра светила.

69. С.161–162 и коммент. 85 в кн.V.

70. Предельное значение аргумента широты относительно узла на максимальном расстоянии $\Delta\omega' = 0;31,20^\circ \times 11;30 = 6;0^\circ$, см. коммент. 27.

71. Приращение аргумента широты, соответствующее изменению величины фазы затмения в 1 «палец», $\Delta\omega'_0 = \frac{\beta_{\max}}{12} 11;30 \approx 0;30^\circ$.

72. Величина фазы затмения $m = 12$ «пальцев» имеет место, когда широта Луны с момента начала затмения уменьшилась на угловую величину $d = d_\odot$ (для солнечного затмения) и $d = d_\zeta$ (для лунного) относительно значения $\beta_{\max}$. Наибольшая возможная величина фазы определяется по правилу, эквивалентному формуле

$$m_{\max} = 12 \frac{\beta_{\max}}{d};$$

$m > 12$ соответствуют полной фазе затмения. В данном случае

$$m_{\max} = 12 \cdot \frac{0;31,20^\circ}{2 \times 0;15,40^\circ} \approx 12''.$$

Если определить, следуя О.Нейгебауэру, понятие «погружения» как угловое расстояние μ от края затмившегося светила до ближайшей к его центру точки тени в

момент середины затмения, то величина фазы $m = \frac{12\mu}{d} = \frac{6\mu}{r}$, где $d = d_\odot$ для солнечного и $d = d_\zeta$ для лунного затмений [НАМА, р.135].

73. В четвертой колонке таблицы приводится расстояние по долготе η (приблизительно равное приращению аргумента широты), которое Луна проходит от момента первого касания с диском Солнца до момента середины затмения (дуга $ВГ = Г\Delta$ на рис. 6.3 и 6-Е).

74. С.183 и коммент. 22.

75. Предельная широта Луны

$$r_\zeta + r_\odot = 0;17,40^\circ + 0;15,40^\circ = 0;33,20^\circ;$$

соответствующее значение аргумента широты, отсчитанного от узла,

$$\Delta\omega' = \beta_{\max} \times 11;30 = 6;23^\circ.$$

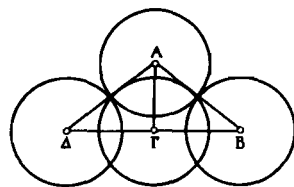


Рис. 6-Е

76. Максимум величины фазы затмения

$$m_{\max} = 12 \frac{\beta_{\max}}{d_{\odot}} = 12 \frac{0;33,20^{\circ}}{2 \times 0;15,40^{\circ}} \approx 12;46''$$

(в тексте 12;48). Приращение $\Delta\omega'$, соответствующее величине 0;46: $\Delta\omega' = 0;46 \times 0;30^{\circ} \approx 0;23^{\circ}$ (в тексте: 0;24°). См. также [НА I, 375; РА, р.296, п.53].

77. С.162 и коммент. 85 к кн.V.

78. Предельная широта Луны $\beta_{\max} = r_{\odot} + s = 0;15,40^{\circ} + 0;40,44^{\circ} = 0;56,24^{\circ}$; соответствующее значение аргумента широты, отсчитанное от узла, $\Delta\omega' = \beta_{\max} \times 11;30 \approx 10;48,36^{\circ}$.

79. С.182–184 и коммент. 22–23.

80. $\beta_{\max} = r_{\odot} + s = 0;17,40^{\circ} + 0;45,56^{\circ} = 1;3,36^{\circ}$, отсюда $\Delta\omega' = \beta_{\max} \times 11;30 = 12;11^{\circ}$.

81. В этой таблице $\Delta\omega'_0 = \frac{\beta_{\max}}{12} \times 11;30 = \frac{0;35,20^{\circ}}{12} \times 11;30 = 0;33,52^{\circ} \approx 0;34^{\circ}$, см. также коммент. 71.

82. Наибольшая возможная величина лунного затмения при максимальном расстоянии

$$m_{\max} = 12 \times \frac{1;3,36^{\circ}}{0;35,20^{\circ}} = 21;36'';$$

соответственно для $\Delta m = 0;36''$ находим $\Delta\omega' = 0;30^{\circ} \times 0,36 = 0;18^{\circ}$ (в таблице 0;18°).

83. В четвертом столбце таблицы даны перемещения Луны по долготе η'_a , η'_p от момента первого касания диска Луны и края тени до момента начала полной фазы (дуги ВГ или ЕЗ на рис. 6-Г); колонка 5 содержит перемещения Луны по долготе η''_a и η''_p от момента начала полной фазы до середины затмения (дуги ГД = ДЕ на рис. 6-Г), ср. коммент. 74.

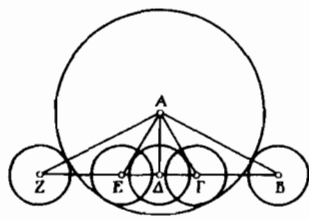


Рис. 6-Г

84. При определении величин в таблицах затмений приняты следующие два допущения: 1) все треугольники считаются плоскими и соответственно дуги — прямыми; 2) момент середины затмения совпадает с моментом истинной сизигии, когда $\lambda_{\odot} = \lambda_{\text{ц}}$, т.е. фактически не учитывается наклон лунной орбиты.

85. Здесь необходим другой рисунок, на котором $AB \neq AG$ и $BG \perp AB$. В этом случае, когда Солнце находится в точке В, а Луна на прямой АГ, моменту истинной сизигии будет соответствовать точка Д, а середине затмения — точка Г [НА I, 452–453; РА, р.297, п.54].

86. Кн.I, гл.16 и таблица кн.II, гл.8 для «прямой сферы».

87. Птолемей принимает приблизительно $BD = \frac{BA}{11;30} \approx 1$ и $\Delta A = \sqrt{12^2 - 1} \approx 11;58$, отсюда $\Gamma D \approx 0;2^{\circ}$. Такова будет максимальная погрешность в долготе вследствие неучета наклона лунной орбиты. По оценке О.Нейгебауэра, однако, максимум разности $\Gamma D \approx 6'$ [НАМА, р.83, п.53], а согласно Дж.Тумеру $6\frac{1}{2}'$ при $\omega = 45;3^{\circ}$ и $i = 5^{\circ}$; если же произвести расчеты для $\omega = 12^{\circ}$, наибольшего аргумента широты, при котором возможно затмение (как это делает Птолемей), то $\Gamma D \approx 0;2,40^{\circ}$ [РА, р.298, п.55].

88. См. также рис. 6-Е; (рис. 6-Е и 6-Г, на которых Солнце, Луна и тень изображены кругами, заимствованы из [РА, р.299–300, Fig. K, L]).

89. С.161–162 и коммент. 85 кн.V.

90. С.190–191 и коммент. 75.

91. С.191 и коммент. 78.

92. $17;40^\circ + 45;56^\circ = 63;36$ (с.191).

93. Речь идет о полных лунных затмениях.

94. $15 \text{ пальцев} = 15 \frac{d_\zeta}{12} = d_\zeta + \frac{d_\zeta}{4}$.

95. С.191, 193.

96. С.191, 193.

97. $63;36 - (35;20 + 8;50) = 19;26$.

98. Это сложное место Дж.Тумер переводит следующим образом: «Чтобы иметь удобный способ для нахождения частей разности [между величинами, определенными с помощью первой и второй таблиц] для положений Луны на эпицикле, не совпадающих с наибольшим и наименьшим расстояниями ([что мы получаем] посредством [интерполяционного] метода шестидесятих), мы поместили вслед за вышеуказанными таблицами еще одну маленькую таблицу. Она содержит, как аргумент, положения [по аномалии] на эпицикле и [как функцию] соответствующие значения шестидесятих, которые должны использоваться [как интерполяционные коэффициенты], применяемые всякий раз к разности [значений], выведенных из первой и второй таблиц затмений. Мы уже определяли величины этих шестидесятих для таблицы лунного параллакса (кн.V, гл.18): они помещены в седьмой колонке [этой таблицы], так как эпицикл должен находиться в апогее эксцентра, чтобы соответствовать [случаю] сизигий» [РА, р.301–302].

Величины фаз затмений m и элонгации η как для частной, так и для полной фаз затмения для произвольных значений аномалии α определяются по правилу, эквивалентному формулам

$$m = m_a + q(\alpha) \cdot (m_p - m_a),$$

$$\eta = \eta_a + q(\alpha) \cdot (\eta_p - \eta_a),$$

где m_a , η_a — значения для максимального расстояния Луны в апогее, m_p , η_p — для минимального расстояния в перигее, вычисленные с помощью первых двух таблиц; $|q(\alpha)| \leq 1$ — интерполяционный коэффициент, о котором в данном случае идет речь; подробнее см. [НАМА, р.134; СА, р.233–234].

99. Указанные пределы для π получены Архимедом в трактате «Об измерении круга» [Архимед, 1964, с.266–271].

100. Птолемею здесь допущена вычислительная ошибка. Радиус Солнца $r_\odot = 0;15,40^\circ$, радиус Луны на среднем расстоянии $r_\zeta = 0;16,40^\circ$ (коммент. 45),

отсюда $ZH = 12 \times \frac{0;16,40^\circ}{0;15,40^\circ} \approx 12;46''$ [НА I, 385, Ант. b); РА, р.302, п.61].

101. $\frac{1}{2} (12 + 12;20) - 3 = 9;10$.

102. В треугольнике $EA\Theta$ имеем $EK^2 = AE^2 - AK^2$ и $K\Theta^2 = A\Theta^2 - AK^2$, вычитая, находим $A\Theta^2 - AE^2 = K\Theta^2 - EK^2 = (K\Theta + EK)(K\Theta - EK) = E\Theta(K\Theta - EK)$ [НА I, 386; РА, р.303, п.62].

103. Диаметр тени $ZH = BD \times 23\frac{1}{2} = 0;31,12$, отсюда $EK\Theta = \frac{1}{2} (12 + 32;12) - 3 = 18;36^p$.

104. См. коммент. 102.

105. Таблицы затмений содержат ряд ошибок, относительно которых не всегда ясно, какие из них принадлежат Птолемею, а какие внесены переписчиками. Исправления, принятые в издании Дж.Тумера [РА, р.305, п.63], учтены в настоящем издании.

106. Моменты начала τ_1 и окончания τ_2 лунного затмения определяются по известному моменту истинной оппозиции t_0 и полудлительности затмения $\frac{\Delta\tau}{2}$ согласно

формулам $\tau_1 = t_0 - \frac{\Delta\tau}{2}$, $\tau_2 = t_0 + \frac{\Delta\tau}{2}$. Полудлительность $\frac{\Delta\tau}{2} = \tau' + \tau''$, где τ' — время погружения в тень или выхода из нее, τ'' — половина длины полной фазы. Величины τ' и τ'' определяются по правилу, эквивалентному формулам

$$\tau' = \frac{13}{12} \frac{\eta'}{v_{\zeta}}, \quad \tau'' = \frac{13}{12} \frac{\eta''}{v_{\zeta}},$$

где η' , η'' — расстояния по долготе, которые проходит Луна за промежутки τ' и τ'' (столбцы 4 и 5 таблицы лунных затмений, см. также коммент. 84), v_{ζ} — истинная скорость движения Луны по долготе как функция $\bar{\alpha}$ (коммент. 12).

107. П р и м е р. Определить параметры лунного затмения для 882 года Набо-
нассара, месяц хойак (кн.IV, гл.6, с.123).

1. Момент средней оппозиции $\bar{t}_0 = 2;12,15^d$, соответствующие значения $\bar{\alpha} = 61;37^\circ$, $\bar{\omega} = 97;5^\circ$ (коммент. 9).

2. Поскольку $\bar{\omega}$ находится в установленных пределах затмений (кн.VI, гл.3, с.179), лунное затмение возможно.

3. Момент истинной оппозиции $t_0 = \bar{t}_0 + \Delta t = 2;25,55^d$, т.е. 10;22^h после полудня 2 хойака, поскольку $\Delta t = 0;13,40^d = 5;28^h$ (коммент. 12).

4. Средний аргумент широты и средняя аномалия в момент истинной оппозиции

$$\bar{\omega} = 97;5^\circ + 0;33,4^\circ/h \times 5;28^h = 100;6^\circ,$$

$$\bar{\alpha} = 61;37^\circ + 0;32,40^\circ/h \times 5;28^h = 64;36^\circ.$$

Уравнение Луны (кн.IV, гл.10)

$$c_{\zeta} = -4;20^\circ.$$

Истинный аргумент широты в момент истинной оппозиции

$$\omega' = 100;6^\circ - 4;20^\circ = 95;46^\circ.$$

5. Величина затмения. Для $\omega' = 95;46^\circ$ по таблице кн.VI гл.8 находим $m_a = 10''$, $m_p = 11,5''$; для $\bar{\alpha} = 64;36^\circ$ $q(\alpha) = 0;16,9$. Отсюда

$$m = 10 + 0;16,9 \times (11,5 - 10) = 10,4'' \text{ (коммент. 98).}$$

Поскольку $m < 12$, затмение частное (пример предвычисления полного лунного затмения см. в коммент. 26 к кн.IV).

6. Полудлительность затмения. Для тех же значений ω' и $\bar{\alpha}$, интерполируя, находим

$$\eta'_a = 0;47,35^\circ; \quad \eta'_p = 0;56,26^\circ, \quad q(\alpha) = 0;16,9.$$

Элонгация Луны в момент τ_1

$$\eta' = 0;47,35^\circ + 0;16,9 \times (0;56,26 - 0;47,35) = 0;49,58^\circ.$$

Поскольку Δt невелико, используем v_{ζ} для момента средней оппозиции (коммент. 12).

Полудлительность

$$\frac{\Delta\tau}{2} = \Delta\tau' = \frac{13}{12} \frac{\eta'}{v_{\zeta}} = \frac{13}{12} \frac{0;49,58^\circ}{0;31,29^\circ/h} \approx 1;43^h.$$

7. Моменты начала и окончания затмения

$$\tau_1 = 10;22^h - 1;43^h = 9;39^h \text{ после полудня,}$$

$$\tau_2 = 10;22^h + 1;43^h = 0;5^h \text{ после полуночи.}$$

Другие примеры предвычисления лунных затмений согласно методике Птолемея см. в [НАМА, р.138–139; РА, р.654, № 11; НА I, 453–454].

108. Приращение среднего аргумента широты за интервал $\Delta t = 211438^d 23^h$ между двумя затмениями, о которых сказано ниже, $\Delta \bar{\omega} = \omega_p \Delta t = 7770 \times 360^\circ + 0;3,12^\circ$, если использовать гиппархово значение средней скорости, и $\Delta \bar{\omega} = 7770 \times 360^\circ + 0;11,40^\circ$, если взять величину Птолемея, см. кн.IV, гл.3, с.108–109, кн.IV, гл. 9, с.129, а также [РА, р.309, п.66].

109. Речь идет о затмениях –719, март 8 и –140, январь 27, которые Птолемей использует в кн.IV, гл.6, с.118, кн.IV, гл.9, с.129 и кн.VI, гл.5, с.182.

110. Согласно вычислениям Птолемея, в момент средней фазы первого затмения $\bar{\alpha} = 12;24^\circ$, $c_\zeta = -0;59^\circ$ (с.130), в момент средней фазы второго затмения $\bar{\alpha} = 178;46^\circ$, $c_\zeta = -0;8^\circ$ (с.182).

111. Равенство величин фаз двух затмений не свидетельствует еще о равенстве расстояний от узлов. Для $t = 3''$ по таблице кн.IV, гл.8 для лунных затмений находим $\omega'_a = 279;18^\circ$ в наибольшем расстоянии и $\omega'_p = 280;30^\circ$ — в наименьшем; разность $\omega'_p - \omega'_a = 1;12^\circ = 1\frac{1}{5}^\circ$.

112. Наибольшая погрешность, возникающая из-за неучета аномалии Луны и неодинаковости расстояний в моменты средних фаз двух затмений, равна $\frac{7}{8}^\circ + 1\frac{1}{5}^\circ \approx 2^\circ$; но в данном случае две указанные величины вычитаются, отсюда $1\frac{1}{5}^\circ - \frac{7}{8}^\circ = 0;20^\circ$ [НАМА, р.314]. Процедура Гиппарха для определения средней скорости движения Луны по широте рассмотрена также в кн.IV, гл.9 и в коммент. 54, 60 той же книги.

113. Кн.II, гл.13 и кн.V, гл.18–19.

114. При определении момента видимого соединения по истинному вводится поправка за параллакс. Пусть в момент истинного соединения долготная составляющая лунного параллакса равна p_λ ; это означает, что истинное соединение не совпадает с видимым, которому соответствует другое значение зенитного расстояния и, значит, другое значение p'_λ . Птолемей определяет разность $e = p'_\lambda - p_\lambda$ и затем находит так называемый «эпипараллакс» $e' = e + x$, в котором слагаемое x может быть найдено из отношения $\frac{x}{e} = \frac{e}{p_\lambda}$. Величина полной поправки за параллакс составит

при этом $p = p_\lambda + e' = p_\lambda + (p'_\lambda - p_\lambda) + \frac{(p'_\lambda - p_\lambda)^2}{p_\lambda}$ [РА, р.311, п.71].

115. Кн.V, гл.19, с.170–171.

116. Здесь, очевидно, имеется в виду отношение аргумента широты, отсчитанного от узла, к широте при $i = 5^\circ$, которое во всех остальных случаях принято равным $11;30$, см. коммент. 27.

117. Таким образом методика предвычисления параметров солнечного затмения по известной дате (год, месяц) и месту наблюдения можно представить следующей схемой. Последовательно определяем:

- 1) момент среднего соединения $\bar{t}_s$ и связанные с ним параметры $\bar{\alpha}$ и $\bar{\omega}$;
- 2) величину $\bar{\omega}$, которая позволяет сделать вывод о принципиальной возможности затмения;
- 3) момент истинного соединения t_s и соответствующие величины ω и $\bar{\alpha}$;
- 4) момент видимого соединения (совпадает с моментом средней фазы затмения) и соответствующие величины λ , ω , α ; при этом последовательно находим:
 - а) уравнение времени,
 - б) местное время истинного соединения,
 - в) поправку за параллакс p (коммент. 114),
 - г) промежуток $\Delta t = \frac{p}{v_\zeta}$ — от истинного до видимого соединения;

5) параллакс Луны по широте для момента видимого соединения и соответствующую поправку $p_\beta \times 11;30$ для уточнения ω ;

6) величину фазы и продолжительность затмения.

В «Альмагесте» не содержится данных о наблюдениях солнечных затмений. Пример предвычисления солнечного затмения (364, июнь 16), согласно методике Птолемея, дается Теоном Александрийским в его комментариях к «Альмагесту» [Rome, 1950] и в «Малом комментарии» к «Подручным таблицам» [Tihon, 1976]. Этот же вычислительный пример рассмотрен Дж. Тумером [РА, р.654–657].

118. Имеется в виду случай, когда $\tau_0 - \tau_1 \neq \tau_2 - \tau_0$; неравенство этих промежутков объясняется не изменением скоростей Солнца и Луны во время затмения, которое несущественно (с.200), а разностью величин параллаксов в моменты τ_1 , τ_0 и τ_2 .

119. Таблица кн.V, гл.18, столбец 3.

120. Вычисления Птолемея носят иллюстративный характер. Наибольшая продолжительность солнечного затмения, согласно таблице в гл.8, составляет 2^h , поэтому здесь принято $\frac{\Delta\tau}{2} = 1^h$. Параллакс максимален вблизи горизонта, поэтому $z = 90^\circ$ для момента τ_2 . Наибольшее возможное приращение зенитного расстояния за 1^h

равно 15° , поэтому изменение z за время $\frac{\Delta\tau}{2}$ от начала затмения до его середины и от середины до конца затмения равно 15° . Аналогичным образом принято, что параллакс по долготу равен полному параллаксу. Чтобы быть последовательным, Птолемей должен был бы взять величины параллакса для максимального расстояния, поскольку в этом случае получаемые разности больше [РА, р.313, п.75]. Поскольку параллаксы в моменты τ_1 , τ_0 и τ_2 не равны, неодинаковыми будут и пройденные Луной угловые расстояния за промежутки от начала до середины и от середины до окончания затмения; соответствующую разность Луна пройдет со средней скоростью за время $0;3,30^\circ : 0;32,56^\circ/h = 0;6,22^h \approx 1/9^h$.

121. Кн.II, гл.9.

122. В настоящей главе рассматривается математическая процедура, которая ставит в соответствие каждому лунному или солнечному затмению с параметрами τ_0 , $\frac{\Delta\tau}{2}$, m ряд точек горизонта. Предполагаемая цель вычислений — предсказание погоды. Солнце и Луна в античной науке рассматривались в качестве возможного источника предсказаний задолго до Птолемея (см. [Россиус, 1992, с.88, 89]).

Настоящая схема есть рационализация древних методов. Точки горизонта, выделяемые при помощи затмений, задают направление ветра, определяющего погоду в данной местности [НАМА, р.141–142, 999].

«Наклонение» или «направление» затмения в тексте обозначается тем же термином (πρόσνευσις), который использовался выше при определении второго лунного неравенства, см. кн.V, гл.5 и коммент. 20.

123. Для определения точек горизонта, связанных с затмением, необходимо вычислить два угла: а) расстояние η восходящей или заходящей точек эклиптики относительно линии восток–запад, так называемую «восходную амплитуду» (на рис. 6-G, где E — точка востока, $\eta = EN$); б) угол σ , образуемый эклипкой и дугой круга, проходящего через центр Луны и центр Солнца или центр тени; рис. 6-G заимствован из [НАМА, р.1244, Fig. 123].

124. Наблюдения такого рода производились ранее визуально, и достигаемая при этом точность удовлетворяла предсказателей. Схема Птолемея формализует эту процедуру, делая ненужным наблюдение.

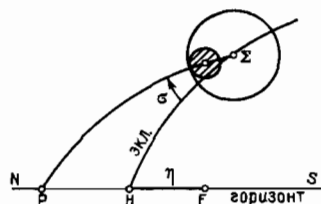


Рис. 6-G

125. Фраза «если оно не является полным», по мнению Дж.Тумера, должна быть опущена как не имеющая смысла [РА, р.314, п.78].

126. На протяжении лунного затмения выделяются пять моментов, имеющих предзнаменательное значение: начало и окончание частной и полной фаз и середина затмения; угол σ и дуга PE вычисляются лишь для этих пяти моментов.

127. Восемь направлений на линии горизонта (север—юг, восток—запад, точки восхода и захода в дни летнего и зимнего солнцестояний) выделялись в античной астрономии уже во времена Аристотеля [Метеор., II, 6]; о греческой системе наименования ветров, связываемых с этими направлениями, см. [Rehm, 1916].

128. Кн. II, гл. 2.

129. Речь, по-видимому, идет об углах, образуемых эклипкой и кругом высоты, вычисленных с интервалом в один знак в таблице в кн. II, гл. 13, которые, однако, не используются в настоящей главе.

130. Т.е. величину угла η (рис. 6-Г) для восходящих и заходящих точек эклиптики с долготами, соответствующими началам знаков зодиака, для каждого из семи климатов; о способе определения этих углов см. кн. II, гл. 2, с. 35 и коммент. 7, а также [НАМА, р. 37–38, п. 7; SA, р. 101–102].

131. Кроме надписей, перечисленных Птолемеем, на лучах во внутреннем круге диаграммы приводятся также названия ветров, не поместившиеся на рис. 6.7: на линии с надписью «юг» — нот, «Водолей—Стрелец» — либонот, «Рыба—Скорпион» — либиес, «Весы—Овен» — зсфир, «Дева—Телец» — япиг, «Лев—Близнецы» — фраский, «север» — апарктий, «Близнецы—Лев» — борей, «Телец—Дева» — кайкий, «Овен—Весы» — апелиот, «Скорпион—Рыба» — эвр, «Стрелец—Водолей» — эвронот. Круглая диаграмма, как утверждает сам Птолемей, есть видоизменение прямоугольной таблицы.

132. Определяется угол σ (рис. 6-Н) как функция величины фазы затмения m . В расчетах Птолемей пренебрегает наклоном лунной орбиты, считая широту Луны постоянной на протяжении всего затмения. Пусть на рис. 6-Н АВ — эклиптика, ГЕ — лунная орбита,

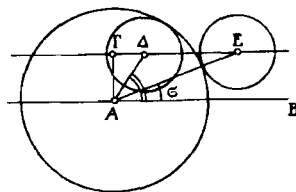


Рис. 6-Н

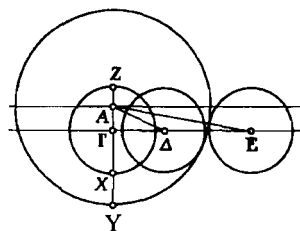


Рис. 6-И

А — центр тени, Е, Δ — центры Луны в начальные моменты частной и полной фаз, тогда искомый угол $\sigma = \widehat{BAE} = \widehat{AEG}$ или $\sigma = \widehat{BAD} = \widehat{ADG}$ и $\sin \sigma = \frac{AG}{AE}$ или

$\sin \sigma = \frac{AG}{AD}$, причем $AE = s + r_{\odot}$, $AD = s - r_{\odot}$, $AG = s + r_{\odot} - \mu$, где μ — погружение, определенное в коммент. 72.

Значения σ в таблице определялись по правилу, эквивалентному этим формулам [НАМА, р. 142–143, 244, Fig. 124].

133. $AE = r_{\odot} + r_{\odot} = 0;15,40^{\circ} + 0;16,40^{\circ} = 0;32,20^{\circ}$.

134. $AE = s + r_{\odot} = 0;43,20^{\circ} + 0;16,40^{\circ} = 1^{\circ}$, $AD = s - r_{\odot} = 0;43,20^{\circ} - 0;16,40^{\circ} = 0;26,40^{\circ}$.

135. По определению (рис. 6-И), $AD = s - r_{\odot}$ и $ZY = 18''$, или, что то же, $ZY = 3r_{\odot}$; отсюда $AG = s - 2r_{\odot}$, $AD - AG = (s - r_{\odot}) - (s - 2r_{\odot}) = r_{\odot}$ и $AG = AD - r_{\odot} = 0;26,40^{\circ} - 0;16,40^{\circ} = 0;10^{\circ}$.

136. Столбец 1 содержит величины фаз затмений; столбец 2 — угол между эклипкой и дугой, проходящей через центры Луны и Солнца в моменты начала и окончания солнечного затмения; столбец 3 — величины того же типа, что в

столбце 2, но для лунного затмения; столбец 4 — угол σ для моментов начала и окончания полной фазы лунного затмения (рис. 6-G).

137. В таблице учтены исправления, сделанные Дж.Тумером [РА, р.318, п.86].

138. В настоящей главе даются правила для отсчета величин угла σ на линии горизонта относительно восходящей N и заходящей Δ точек эклиптики (см. рис. 6-K и 6-L соответственно для затмений Луны и Солнца). Предварительно необходимо определить моменты начала и окончания частной и полной фаз и середины затмения (согласно методике, изложенной в кн. VI, гл.9-10) и соответствующие долготы восходящей и заходящей точек эклиптики (кн. II, гл.9, с.56); откуда угол σ определяется при помощи круглой диаграммы [рис. 6.7], интерполяцией значений для двух соседних знаков зодиака в соответствующем климате.

139. Обозначим, следуя О.Нейгебауэру, фазы лунного затмения: 1 — первый контакт, 2 — начало полной фазы, 3 — середина затмения, 4 — конец полной фазы, 5 — последний контакт; для солнечного затмения фазы 2, 3 и 4 совпадают. Номера фаз, о которых в данном случае идет речь, внесены в текст в квадратных скобках и отмечены на рис. 6-K и 6-L.

Птолемей рассматривает сначала тривиальный случай, когда широта Луны равна нулю и, следовательно, угол $\sigma = 0$ и расстояние $PE = HE = \eta$ (рис. 6-G, 6-K и 6-L). Фазы 1 и 4 лунного затмения отнесены к восточному горизонту, поскольку

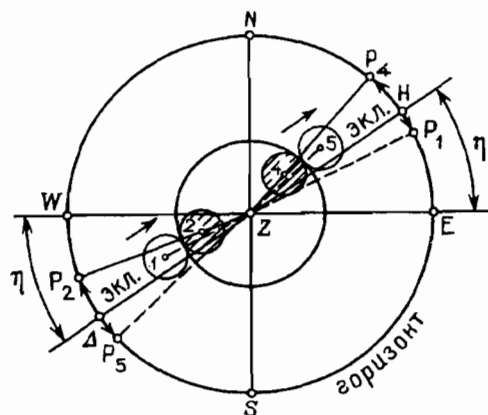


Рис. 6-K

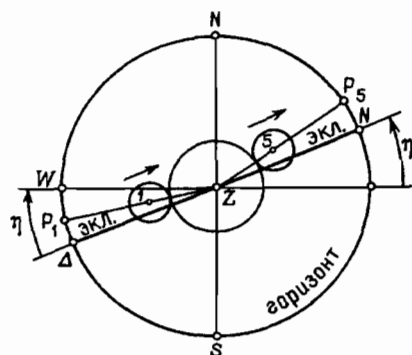


Рис. 6-L

первый контакт с тенью, как и начало выхода из тени, наблюдаются на восточной стороне лунного диска; фазы 2 и 5 отнесены к западному горизонту, так как последний освещенный участок и последний затемненный видны на западном крае диска; для солнечного затмения соотношение обратное: фаза 1 отнесена к западу, поскольку при первом контакте затемняется западная часть солнечного диска, фаза 5 — к востоку, где наблюдается последний участок затемнения [НАМА, р.143 — 145]. Указанные соотношения носят не математический, а качественный характер, что в общем не свойственно подходу Птолемея.

140. Таким образом, согласно Птолемею, $PE = \eta + \sigma$ (рис. 6-G), что в принципе неверно, так как дуга RH в общем случае не равна σ . Птолемей здесь сознательно упрощает метод вычислений, чтобы избежать трудностей, связанных с необходимостью решать сферический треугольник PZH .

141. Правила определения положений точек P на горизонте по вычисленным значениям дуг η и σ поясняются на рис. 6-K (затмение Луны) и рис. 6-L (затмение Солнца), заимствованных из [НАМА, р.1245-1246, Fig. 126, 127]. В них предполагается, что затмение имело место в зените и Луна находилась при этом к северу от эклиптики.

КНИГА СЕДЬМАЯ

1. Птолемей приступает к рассмотрению теории прецессии, позволяющей определять эклиптические координаты звезд в произвольный момент времени. Эта теория служит основой для построения теории движения планет, которой посвящены кн. IX–XIII «Альмагеста». В последней большое значение придается наблюдениям положений планет относительно неподвижных звезд в фиксированные моменты их движения; координаты звезд при этом считаются известными. Поэтому теория движения планет рассматривается позднее теории, описывающей изменения координат звезд.

2. Речь идет о явлении лунно-солнечной прецессии, или о так называемой «прецессии точек равноденствий и солнцестояний». Кинематически Птолемей объясняет ее вращением сферы неподвижных звезд вокруг полюсов эклиптики в направлении последовательности знаков зодиака, т.е. с запада на восток. Согласно Птолемею, прецессионным движением обладает сама сфера звезд, а не точки равноденствий и солнцестояний относительно звезд, как первоначально предполагал Гиппарх. Об этом свидетельствует название его трактата «О смещении солнцестояний и равноденственных точек» и ряд других высказываний в «Альмагесте» [Dreyer, 1906, p.205–206; Kurtik, 1984, S.75–76; PA, p.321, n.2]. В модели Птолемея, напротив, точки равноденствий и солнцестояний считаются абсолютно неподвижными в пространстве, поскольку неподвижны равноденственный и зодиакальный круги. Точка весеннего равноденствия может быть поэтому использована в качестве начала отсчета долготы на эклиптике. Звезды же в рамках этой модели, строго говоря, не являются неподвижными, поскольку обладают, подобно планетам, собственным движением в направлении последовательности знаков зодиака.

3. Птолемей в данном случае имеет в виду особый вид наблюдений звезд, при котором положение звезды на небе определяется не относительно других звезд или каких-либо других непосредственно наблюдаемых объектов, а отсчитывается математически относительно кругов и точек небесной сферы, не существующих в реальности. Только такие наблюдения позволяют обнаружить и математически описать прецессионное движение.

4. Ранняя гипотеза Гиппарха о том, что в прецессионном движении принимают участие одни только зодиакальные созвездия, связана, по-видимому, с тем фактом, что единственно известные античным астрономам движущиеся звезды, т.е. планеты, перемещаются в пределах зодиакального пояса. Кроме того, в распоряжении Гиппарха первоначально, по-видимому, не было наблюдений, позволяющих проверить более общую гипотезу об участии в прецессионном движении и других звезд. Выводы Гиппарха в данном случае адекватны имевшимся в его распоряжении фактам.

5. Не вполне ясно, какие именно сочинения Гиппарха имеются в виду. Возможно, здесь речь идет о звездном каталоге Гиппарха, но скорее всего — о специальном трактате «О неподвижных звездах» или, согласно другой версии, «Об устройстве звезд и катастеризмах», откуда Птолемей заимствует приводимые ниже наблюдения [НАМА, p.277, n.4, p.287].

6. В тексте в квадратных скобках приведены современные обозначения звезд, упоминаемых Птолемею; ссылки на соответствующие описания звезд в каталоге Птолемея указаны в комментариях; ряд звезд, упоминаемых Гиппархом, не включен в каталог Птолемея. Современное исследование звездных уравниваний Гиппарха и Птолемея см. в [Manitius, 1904; PA].

Гиппарх не первый производил подобные наблюдения. Известен по крайней мере один клинописный астрономический текст, датируемый приблизительно VII в. до н.э., в котором содержится ряд звездных уравниваний [Pingree, Walker, 1988]. При наблюдении Гиппарх, по-видимому, использовал астробию, градуированную, однако, не в градусах, а в «локтях» ($2\frac{1}{2}^\circ$, или 2°) и «пальцах» ($5'$) — угловых единицах, имеющих вавилонское происхождение.

7. У Гиппарха, как видим, список зодиакальных созвездий начинается с созвездия Рака; та же особенность засвидетельствована в «Комментариях к Арату» [Manitius, 1894, S.244 и сл.]; она имеет, по-видимому, вавилонское происхождение. Известно,

что подразделение года на астрономические сезоны в некоторых вавилонских текстах начинается с летнего солнцестояния [НАМА, р.286].

8. Птолемей фиксирует взаимные положения звезд в созвездии, используя суточное вращение как эталон, определяющий направление движения; он различает при этом «предшествующие» и «последующие» звезды; звезда считается «предшествующей» («последующей»), если при суточном вращении она первой (последней) появляется из-за горизонта. Другими словами, более западные звезды — предшествующие, более восточные — последующие. И.Н.Веселовский употребляет также в аналогичном смысле слова «ведущая» — «следующая», «передняя» — «задняя» и т.д.

9. Звезды №6, 9 в созвездии Рака и №2 в Прочионе (Малом Псе).

10. Здесь, вероятно, ошибка при описании; средняя звезда из трех указанных (β Спс) на самом деле смещена относительно прямой, соединяющей две крайние звезды, не к северо-востоку, как утверждается в тексте, а к северо-западу. Во времена Гиппарха отклонение составляло около $5'$ [РА, р.322, п.4].

11. Звезды №3, 4 в созвездии Льва и №6 в созвездии Гидры.

12. Звезды №27 в созвездии Льва и №27, 28 в созвездии Большой Медведицы. По оценке Дж.Тумера, прямая, о которой идет речь, проходит на самом деле более чем на полградуса к востоку от α CVn [РА, р.322, п.8].

13. Две последние звезды, возможно, соответствуют №33, 34 в созвездии Льва и отождествляются как 15 и 7 Com [РА, р.322, п.9].

14. Звезды №26 в созвездии Девы и №19 в созвездии Волопаса.

15. Две указанные звезды не вошли в каталог Птолемея.

16. К.Манициус отождествляет две последние звезды как 43 и 46 Boo по каталогу Heis, однако отождествление это очень ненадежное [Manitius, 1904, S.14].

17. Звезды №23 в созвездии Волопаса и №25 в созвездии Девы.

18. Звезды №14 в созвездии Девы и №24 в созвездии Гидры.

19. Три указанные звезды не включены в каталог Птолемея; К.Манициус отождествляет их как 61, 63 и 69 Vir [Manitius, 1904, S.15]; мы приводим отождествление Дж.Тумера.

20. Три первые звезды — это №1, 3 в созвездии Весов и №11 в созвездии Змеи; две последние звезды (36, 30 Ser) не вошли в каталог Птолемея.

21. Звезды №20 в созвездии Скорпиона и №12, 14–15 в созвездии Змееносца.

22. Звезды №17, 19 в созвездии Скорпиона и №3 в созвездии Жертвенника.

23. Звезды №1, 2 в созвездии Жертвенника.

24. Звезды α , β , ζ , τ , σ , φ Sgr — №24, 23, 22, 21, 6, 7 соответственно в созвездии Стрельца; α , β , γ CrA — №7, 6, 8 в созвездии Южной Короны.

25. Звезды θ , ν , ϵ Peg — №15, 16 и 17 в созвездии Пегаса, которое Птолемей называет Конем; α , β Aqr — №2, 4 в созвездии Водолея.

26. Звезды ζ , ξ Peg и α And — №11, 12 и 1 в созвездии Пегаса.

27. Звезды η , ζ , π , γ Aqr — №12, 11, 10, 9 в созвездии Водолея.

28. Звезды: β Psc — №1 в созвездии Рыб; α , β Peg, — №4, 3 в созвездии Пегаса.

29. Звезды №2 в созвездии Треугольника, №14 в созвездии Овна, №15 в созвездии Андромеды. Согласно Дж.Тумеру, β Tri отклонялась в эпоху Гиппарха к востоку от прямой, проходящей через α Ari и γ And, более чем на один градус [РА, р.324, п.27].

30. Звезды №2, 1 в созвездии Овна, №2, 4 в созвездии Треугольника [Manitius, 1904, S.17]; Дж.Тумер полагает, что здесь может иметь место и другое отождествление, а именно «середина основания треугольника» — δ Tri (№3 в созвездии Треугольника) [РА, р.324, п.27].

31. Звезды №14, 15 в созвездии Тельца, №20 в созвездии Ориона. Птолемей отсчитывает звезды на шкуре в обратном направлении — с севера на юг.

32. Звезды ϵ , α Tau — №15, 14 в созвездии Тельца, σ^2 Ori — №19 в созвездии Ориона.

33. Звезды α , β Gem, ζ Спс — №1, 2, 25 в созвездии Близнецов, δ , θ , γ , η Спс — №5, 3, 4, 2 в созвездии Рака.

34. Звезды №14, 2, 1 в созвездии Овна, №23 в созвездии Персея, №3 в созвездии Возничего.

35. Звезды №3, 10 в созвездии Возничего и №14 в созвездии Тельца.

36. Звезды №3 в созвездии Возничего, №11 в созвездии Возничего (№21 в созвездии Тельца), №3 в созвездии Ориона.

37. Звезды №1, 2, в созвездии Близнецов и №7 в созвездии Гидры.

38. Звезды №12, 13 в созвездии Большой Медведицы, №7, 4 в созвездии Рака. Дж.Тумер отмечает, что линия, проведенная через ι , κ UMa, проходит далеко к востоку от γ , ι Спс в настоящее время, и то же самое было в эпоху Птолемея [РА, р.325, п.36].

39. Звезды №5, 9 в созвездии Рака, №2 в созвездии Проциона.

40. Звезды ζ , γ , η , α Leo — № 5, 6, 7, 8 в созвездии Льва; α Hya — №12 в созвездии Гидры.

41. Звезды №20 в созвездии Льва, №19, 23, 24 в созвездии Большой Медведицы.

42. Звезды №15, 14 в созвездии Девы, №24 в созвездии Гидры.

43. Звезды №14 в созвездии Девы, №6, 23 в созвездии Волопаса.

44. Звезды №14 в созвездии Девы, №5, 4 в созвездии Ворона.

45. Звезды №14, 15 в созвездии Девы, №20, 21, 22 в созвездии Волопаса.

46. Звезды α , β Lib — № 1, 3 в созвездии Весов, π Hya — №25 в созвездии Гидры, Арктур — №23 в созвездии Волопаса, ζ , γ UMa — №26, 19 в созвездии Большой Медведицы.

47. Звезды №13 в созвездии Змееносца, №17, 20, 21 в созвездии Скорпиона.

48. Звезды №7, 8, 9 в созвездии Скорпиона, №12, 19 в созвездии Змееносца.

49. Звезды №23, 1 в созвездии Стрельца, №12 в созвездии Змееносца.

50. Звезды №24, 1 в созвездии Стрельца, №19 в созвездии Змееносца.

51. Звезды №1 в созвездии Лиры, №1, 2, 3, 4 в созвездии Козерога, №3 в созвездии Орла.

52. Звезды №3 в созвездии Орла, №1 в созвездии Южной Рыбы.

53. Звезды №1 в созвездии Южной Рыбы, №17 в созвездии Пегаса, №2 в созвездии Водолея.

54. Звезды №1 в созвездии Южной Рыбы, №1 в созвездии Рыб, №4, 3 в созвездии Пегаса.

55. Не вполне ясно, о каких записях наблюдений времен Гиппарха в данном случае идет речь. Дж.Тумер полагает, что Гиппарх (помимо звездного каталога) был автором краткого описания созвездий для их изображения на небесном глобусе [РА, р.327, п.48]. Не исключено также, что Птолемеи имели возможность непосредственно сопоставить результаты своих наблюдений с изображениями созвездий на гиппарховом небесном глобусе или, что более вероятно, на его копии.

56. В настоящей главе излагается птолемея теория прецессии. Зафиксированные наблюдения изменения координат звезд Птолемей объясняет кинематически вращением сферы звезд вокруг полюсов эклиптики в направлении противоположном суточному вращению, т.е. с запада на восток.

57. Величина 6° для долготы Спик, принятая Гиппархом, есть, по всей видимости, результат осреднения двух значений: $6\frac{1}{2}^\circ$ и $5\frac{1}{4}^\circ$, полученных на основе наблюдения двух лунных затмений соответственно в -145, апрель 21 и -134, март 24; см. кн. III, гл. I, с. 78 и коммент. 19 к кн. III. Детальный анализ вычислительной процедуры Гиппарха см. в [Rome, 1938].

58. Неизвестно, какое количество и какие именно звезды при этом использовались, но можно полагать, что это были звезды из зодиакального пояса; их долготы измерялись относительно положений Луны в моменты, соответствующие серединам лунных затмений.

59. Инструмент, о котором в данном случае идет речь, известен под названием «армиллярная сфера»; описание инструмента и методики наблюдений на нем см. в кн. V, гл. I и коммент. 3-5 к той же книге.

Здесь и далее (кн. VII, гл. 4, с. 223) при описании общей методики измерений координат звезд Птолемей утверждает, что положения опорных звезд отсчитывались относительно видимых положений Луны. Однако из приведенного ниже примера следует, что Луна играла при этом лишь вспомогательную роль. Долготы звезд

отсчитывались на самом деле относительно Солнца, долгота которого была вычислена теоретически. См. по данному вопросу [Шевченко, 1988, с.173–174].

При последовательном применении этой методики систематические погрешности теории Солнца Птолемея должны войти целиком в состав погрешностей определения координат звезд. На этом замечании основывается одна из двух конкурирующих гипотез, объясняющих происхождение систематической погрешности в долготах звезд в каталоге Птолемея около 1° , которая равняется средней погрешности его солнечной теории, восходящей к ошибочному определению момента осеннего равноденствия 132, сент. 25 (коммент. 63 к кн.III). Библиографию вопроса см. в коммент. 61.

60. 139, февраль 23.

61. Птолемей приводит один-единственный пример измерения эклиптических координат звезды при помощи армиллярной сферы — указанное наблюдение Регула. Его описание не проясняет все детали, но тем не менее оно позволяет восстановить основную последовательность операций. Методика измерения эклиптических координат звезд включала всего шесть этапов:

1. Ориентация инструмента по Солнцу. Визирный круг 5 (рис. 5-А) устанавливался на отсчет круга 1 инструментальной эклиптики, соответствующий значению истинной долготы Солнца $\lambda_\odot(t_1)$ в момент наблюдения. Затем система кругов 1 и 5 совместным вращением устанавливалась в такое положение, при котором тень от обращенной к Солнцу половины каждого из кругов падала бы на противоположную ей половину. (Как показали современные исследования, произвести такую установку с абсолютной точностью невозможно при наличии ошибки в вычисленной долготе Солнца и вследствие действия рефракции, см. по этому поводу [Włodarczyk, 1987, p.188, n.17, 33].) Предполагалось, что после установки системы кругов 1 и 5 плоскости инструментальной и небесной эклиптик совпадут, а зафиксированный на круге 1 ноль отсчета долготы будет соответствовать направлению на точку весеннего равноденствия. Верхнее пересечение круга 1 с плоскостью меридиана, определяемой кругами 4 и 3 инструмента, при этом даст значение долготы кульминирующей точки эклиптики $\lambda_1(M)$.

Выше мы уже отмечали (см. коммент. 5, 11 к кн.V), что ориентация инструментальной эклиптики была в принципе возможна и без предварительного определения долготы Солнца, однако Птолемей при описании методики определения координат звезд не упоминает об этой возможности.

2. Привязка к Луне. Круг широты $b-b$ круга 7 наводится на Луну; при этом угловое расстояние на круге 1 между точками пересечения с кругами 5 и 6 даст разность видимых долгот Луны и Солнца $\Delta\lambda_{\odot-\odot}(t_1)$ в указанный момент.

3. Перерыв в наблюдениях до момента появления на небе ярких звезд.

4. Повторная ориентация инструментальной эклиптики по Луне. Производилась согласно той же методике, что и ориентация по Солнцу; при этом круг 5 устанавливался на деление инструментальной эклиптики, соответствующее значению видимой долготы Луны $\lambda_\zeta(t_2)$ в момент второго наблюдения; после установки инструментальной эклиптики определялось также значение долготы ее кульминирующей точки $\lambda_2(M)$.

5. Измерение координат звезды. Круг $b-b$ круга 7 наводился на звезду; при этом расстояние на круге 1 между точками его пересечения с кругами 5 и 6 даст разность долгот звезды и Луны $\Delta\lambda_{\star-\zeta}(t_2)$ в момент второго наблюдения; широта звезды определится непосредственно по шкале круга 6.

6. Вычисление долготы звезды на основе измеренных величин.

Методика определения координат звезд при помощи армиллярной сферы, предполагает проведение двух измерений: а) элонгации Луны в момент t_1 незадолго перед заходом Солнца; б) элонгации звезды от Луны в момент t_2 вскоре после его

захода. Все остальные величины, необходимые для нахождения долготы звезды, определяются вычислением. Редукция данных наблюдений производилась согласно следующей методике.

1) *Долгота Солнца*. Время наблюдения Птолемей фиксирует как $5\frac{1}{2}^h$ после полудня в Александрии. Птолемей не объясняет, каким образом была получена эта величина, но, вероятно, для этого использовались водяные часы. Указанному моменту соответствует интервал от начальной эпохи его таблиц $\Delta t = 885^y 218^d 5\frac{1}{2}^h$ и значение истинной долготы Солнца $\lambda_{\odot}(t_1) = 333;3^\circ$, если производить вычисления по таблице кн. III, гл. 2, 6. Три величины: время t от полудня до момента наблюдения в равноденственных часах, долгота Солнца $\lambda_{\odot}$ и долгота кульминирующей точки эклиптики $\lambda(M)$ связаны соотношением

$$\alpha[\lambda(M)] = \alpha(\lambda_{\odot}) + 15^\circ t,$$

где α — прямое восхождение, определяемое по таблице кн. II, гл. 8, колонка «прямая сфера» (кн. II, гл. 9 и коммент. 64 той же кн.). Значение $\lambda(M)$, необходимое для расчета лунного параллакса, может быть вычислено, если известно t и $\lambda_{\odot}$. Однако Птолемей определяет его наблюдением, вероятно, для того, чтобы сократить требуемый объем вычислений.

Для указанного момента времени t_1 современные расчеты дают: $\lambda_{\odot} = 333;44^\circ$, высота Солнца $h_{\odot} = 1;10^\circ$ [Britton, 1967].

2) *Видимая долгота Луны в момент t_1* . Определяется на основе соотношения

$$\lambda_{\odot}(t_1) = \lambda_{\odot}(t_1) + \Delta\lambda_{\odot-\odot}(t_1) = 333;3^\circ + 92;7,30^\circ \rightarrow 65;10,30^\circ \approx 5\frac{1}{6}^\circ \text{ Близнецов.}$$

Птолемей утверждает, что полученное им значение $\lambda_{\odot}(t_1)$ совпадает с вычисленным теоретически. Однако это не совсем так. Расчеты по его таблицам для указанного момента дают $\lambda_{\odot}(t_1) = 65;2^\circ$, т.е. приблизительно на $0;8^\circ$ меньше величины, полученной им на основе наблюдений.

Согласно современным вычислениям $\lambda_{\odot}(t_1) = 66;11^\circ$ [Britton, 1967].

3) *Видимая долгота Луны в момент t_2* . Определяется путем введения поправок к значению $\lambda_{\odot}(t_1)$, учитывающих изменение долготы Луны за время $t_2 - t_1 = \frac{1}{2}^h$ и изменение параллакса. Вычисления производятся по правилу, эквивалентному формуле

$$\lambda_{\odot}(t_2) = \lambda_{\odot}(t_1) + \Delta\lambda(t_2 - t_1) + \Delta p = 65;10^\circ + 0;15^\circ - 0;5^\circ = 65;20^\circ.$$

Здесь $\Delta\lambda(t_2 - t_1) = 0;15^\circ$ — изменение долготы Луны за время между двумя наблюдениями; Птолемей приводит округленное значение; точная величина $\Delta\lambda$, вычисленная по правилу для нахождения истинной скорости движения Луны (кн. VI, гл. 4 и коммент. 12 той же кн.), будет немногим больше $0;16^\circ$. Птолемей не объясняет, каким путем получено приращение параллакса $\Delta p = p_2 - p_1 = -0;5^\circ = -\frac{1}{12}^\circ$. Вероятно, он определял параллакс для каждого из двух моментов раздельно. По оценке Дж.Тумера, который попытался проверить расчеты Птолемея, $\Delta p \approx -0;10^\circ$ [Toomer, 1977 (2), p.143]. Современные расчеты дают: $p_1 = +0;5^\circ$, $p_2 = -0;2^\circ$, $\Delta p = p_2 - p_1 = -0;7^\circ$, $\lambda_{\odot}(t_2) = 66;25^\circ$ [Britton, 1967].

4) *Долгота Регула*:

$$\lambda_R = \lambda_{\odot}(t_2) + \Delta\lambda_{\star-\odot}(t_2) = 65;20^\circ + 57;10^\circ = 122;30^\circ = 2;30^\circ \text{ Льва.}$$

Современные расчеты дают $\lambda_R = 124;3^\circ$.

Методика наблюдений Птолемея и результаты, полученные им при определении долготы Регула, анализируются во многих исследованиях. См. в этой связи [SA, p.240–245; Toomer, 1977(2), p.143; HA II, 397–399; Britton, 1967; Newton, 1977; 1979; Ньютон, 1985; Evans, 1987; Włodarczyk, 1987; Шевченко, 1988, с.172–173; Grasshoff, 1990, p.80–81].

В литературе высказываются три точки зрения на происхождение наблюдения Регула, как его приводит Птолемей: а) это подлинное наблюдение (см., например, [Włodarczyk, 1987, p.182]); б) это пример, иллюстрирующий общую методику наблюдений, специально подобранный Птолемеем из дидактических соображений [Grasshoff, 1990, p.81]; в) это поддельное наблюдение [Ньютон, 1985, с.217–218]. Наиболее обоснованы, с нашей точки зрения, гипотезы а) и б).

62. –128/–127 годы.

63. Начало царствования Антонина приходится на 20 июля 137 г. н.э.; эту дату принято считать эпохой каталога Птолемея, т.е. датой, к которой относятся зафиксированные в каталоге координаты звезд.

64. Т.е. –128 год, дата, к которой относится зафиксированное Гиппархом значение долготы Регула. Ниоткуда, однако, не следует, что эту дату необходимо считать эпохой каталога Гиппарха.

65. Как заметил Дж.Тумер [РА, p.328, п.53], 300-летний интервал здесь, возможно, связан с интервалом между наблюдениями Метона (–431) и самого Гиппарха. Возможно также, что Гиппарх приводит здесь интервал, содержащий минимальное число тропических лет, которым соответствует целое число дней, согласно гиппархову определению длины тропического года. Анализ всех обстоятельств, приведших Гиппарха к открытию прецессии и определению величины скорости прецессии, см. в [Kurtik, 1984; Swerdlow, 1980; Toomer, 1978].

66. Создание каталога, таким образом, происходило в два этапа:

а) определение абсолютным методом координат ряда опорных звезд;

б) измерение координат основного массива звезд по отношению к опорным звездам. Подробнее эта методика рассмотрена в гл.4 наст. кн., с.223.

Определение звезд, которые использовались в качестве опорных, — важная историко-астрономическая проблема. См. по данному вопросу [Evans, 1987; Шевченко, 1988; Włodarczyk, 1990].

67. Здесь мы имеем, по-видимому, прямое указание на произведенное Гиппархом определение эклиптических координат большого числа звезд. Другие высказывания Птолемея, однако, противоречат такому предположению. По этому поводу см. также коммент. 69.

68. Анализируя кинематику прецессионного движения, Птолемей предполагает, во-первых, что вращение сферы звезд равномерно, во-вторых, что оно происходит вокруг полюсов либо небесного экватора, либо эклиптики. Выбор одной гипотезы из двух возможных производится на основе сопоставления координат звезд за достаточно большой промежуток времени. Вращение сферы звезд приводит к изменению эклиптических и экваториальных координат звезд, причем характер изменения координат зависит от характера вращения. Если вращение сферы звезд происходит вокруг полюсов эклиптики, то долготы всех звезд должны возрастать на одну и ту же величину за один и тот же промежуток времени, а широты оставаться без изменения. Термин «широта» (πλάτος, букв. «ширина») употребляется Птолемеем здесь в значении «дуга круга, перпендикулярного данному большому кругу небесной сферы»; если речь идет об эклиптике, то это «широта» в современном понимании слова, если же имеется в виду небесный экватор, то такая дуга будет определять «склонение».

69. Это место можно было бы рассматривать как свидетельство о гиппарховых измерениях эклиптических координат звезд. Однако Дж.Тумер переводит его иначе: «такими же как они вычислялись на основе записей Гиппарха» («the same as that computed from the records of Hipparchus») [РА, p.329–330, п.56]. Эклиптические координаты звезд для эпохи Гиппарха могли быть получены позднее вычислением на основе наблюдаемых им экваториальных координат звезд подобных тем, что содержатся в «Комментариях к Арату» Гиппарха.

70. Отождествление принято большинством исследователей; существуют, однако, сомнения в его правильности [Ньютон, 1985, с.226–227]; Я.Маэяма отождествляет эту звезду как η или 27 Tau [Маэуата, 1984, р.306–307].

71. В каталоге эти звезды зафиксированы под следующими номерами: α Aql (№3 в созвездии Орла); «средняя звезда Плеяд» (η Tau?) не значится в каталоге (описание Плеяд см. №30–33 в созвездии Тельца); α Tau (№14 в созвездии Тельца); α Aur (№3 в созвездии Возничего); γ , α Ori (№3, 2 в созвездии Ориона); α Cma (№1 в созвездии Большого Пса); α , β Gem (№1, 2 в созвездии Близнецов).

72. В некоторых рукописях приводится значение $67\frac{2}{3}^\circ$, возможно, более правильное [РА, р.332, п.60].

73. Эти звезды имеют в каталоге следующие положения: α Leo (№8 в созвездии Льва); α Vir (№14 в созвездии Девы); η , ζ , ϵ UMa (№27, 26, 25 в созвездии Большой Медведицы); α Boo (№23 в созвездии Волопаса); α , β Lib (№1, 3 в созвездии Весов); α Sco (№8 в созвездии Скорпиона).

Данные Птолемея о склонениях 18 звезд мы приводим в табличном виде, где первая колонка содержит номер звезды, согласно перечислению Птолемея, и ее современное обозначение, а следующие — склонения, наблюдаемые соответственно Тимохарисом (или Аристиллом), Гиппархом и самим Птолемеем.

Звезда	Тимохарис или Аристилл	Гиппарх	Птолемей
1. α Aql	$54\frac{5}{6}^\circ$	$54\frac{5}{6}^\circ$	$53\frac{5}{6}^\circ$
2. η Tau	$14\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{6}$	$16\frac{1}{4}$
3. α Tau	$83\frac{4}{5}$	$93\frac{4}{5}$	11
4. α Aur	40 (Арист.)	$40\frac{2}{3}$	$41\frac{1}{6}$
5. γ Ori	$11\frac{1}{5}$	$14\frac{1}{5}$	$2\frac{1}{2}$
6. α Ori	$35\frac{6}{5}$	$4\frac{1}{3}$	$5\frac{1}{4}$
7. α Cma	$16\frac{1}{3}$	16	$15\frac{3}{4}$
8. α Gem	33 (Арист.)	$33\frac{1}{6}$	$33\frac{2}{3}$
9. β Gem	30 (Арист.)	30	$30\frac{1}{6}$
10. α Leo	$21\frac{1}{3}$	$20\frac{2}{3}$	$19\frac{5}{6}$
11. α Vir	$12\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$-\frac{1}{2}$
12. η UMa	$61\frac{1}{2}$ (Арист.)	$60\frac{3}{4}$	$59\frac{2}{3}$
13. ζ UMa	$67\frac{1}{4}$ (Арист.)	$66\frac{1}{2}$	65
14. ϵ UMa	$68\frac{1}{2}$ (Арист.)	$67\frac{3}{5}$	$66\frac{1}{4}$
15. α Boo	$31\frac{1}{2}$	31	$29\frac{5}{6}$
16. α Lib	— 5	— $5\frac{3}{5}$	— $7\frac{1}{6}$
17. β Lib	$11\frac{1}{5}$	$\frac{2}{5}$	— 1
18. α Sco	— $18\frac{1}{3}$	— 19	— $20\frac{1}{4}$

Данные о склонениях, приведенные Птолемеем, исследованы Я.Маэямой методом наименьших квадратов с целью их датировки [Маэуата, 1984]; им получены следующие оценки для времени проведения наблюдений:

Наблюдатель	Эпоха наблюдений	Вероятная погрешность
Тимохарис	— 290	± 10 лет
Аристилл	— 260	± 5
Гиппарх	— 130	± 5
Птолемей	+ 130	± 10

Ранее предполагалось, что Тимохарис и Аристилл наблюдали звезды приблизительно в одно и то же время. Однако результаты Я.Маэямы вынуждают пересмотреть

это положение. Наблюдения Гиппарха 18 склонений приходятся на завершающий период его деятельности и резко отличаются от более ранних наблюдений координат звезд, содержащихся в «Комментариях к Арату» (последние Я.Маэяма датирует как -145 или -150 с вероятной погрешностью ± 10 лет).

Всесторонний анализ наблюдений склонений звезд, приведенных Птолемеем, см. также в [Pannekoek, 1955; Newton, 1974; 1977; Ньютон, 1985, с.219–225; SA, p.246–247; Grasshoff, 1990, p.81–83].

Согласно Дж.Тумеру, факт использования Птолемеем склонений звезд для обоснования принятой им кинематической модели прецессионного движения говорит о том, что в его распоряжении было очень немного наблюдений долгот и широт звезд, измеренных его предшественниками [РА, p.330, п.56]. Если это верно, то придется сделать вывод, что каталог Гиппарха был составлен не в эклиптической системе координат, и все подозрения, касающиеся подлинности звездных наблюдений Птолемея, теряют под собой почву. Аналогичное соображение относится, и даже в еще большей степени, к приводимым ниже семи наблюдениям соединений Луны со звездами, единственное назначение которых — определить долготу звезды в эпоху, намного предшествующую времени жизни самого Птолемея, и таким образом определить значение скорости прецессии.

74. Таблица склонений кн.I, гл.15 дает соответственно

$$\delta(27\frac{1}{3}^\circ) = 10;42^\circ,$$

$$\delta(30^\circ) = 11;40^\circ.$$

Приращение склонения $\Delta\delta$, соответствующее изменению долготы $\Delta\lambda = 2\frac{2}{3}^\circ$, отсюда равно $0;58^\circ$, т.е. существенно меньше принятого Птолемеем значения.

75. Долгота Капеллы в каталоге (№3 в созвездии Возничего) $\lambda = 25^\circ$ Тельца; Птолемей, однако, вычисляет приращение склонений для «середины» Тельца ($\lambda = 45^\circ$); таблицы гл.15 кн.I для этой точки дают $\Delta\delta \approx 0;49^\circ$ [РА, p.333, п.62].

76. Таблицы склонений гл.15 кн.I дают

$$\delta(50^\circ) = 18;3^\circ,$$

$$\delta(52\frac{2}{3}^\circ) = 18;46^\circ.$$

Отсюда приращение склонения $\Delta\delta = 0;43^\circ$ в полном соответствии с величиной, приведенной Птолемеем.

77. Таблица склонений кн.I, гл.15 дает для $\lambda = 0^\circ$ («конец Девы»)

$$\delta(0^\circ) = 0^\circ,$$

$$\delta(22\frac{2}{3}^\circ) = 1;05^\circ.$$

Отсюда $\Delta\delta \approx 1;5^\circ$ в полном согласии с данными Птолемея.

78. Звезда, о которой идет речь (№27 в созвездии Большой Медведицы), имеет в каталоге Птолемея долготу $\lambda = 29\frac{5}{6}^\circ$ Льва. Естественно предположить, что она находится в «конце Льва» или в «начале Девы». Здесь мы имеем, по-видимому, ошибку Птолемея. Для «начала Весов» приращение склонения звезды $\Delta\delta$, соответствующее приращению долготы $\Delta\lambda = 2\frac{2}{3}^\circ$, определено верно [РА, p.333, п.63].

79. В каталоге Птолемея долгота Арктура (№23 в созвездии Волопаса) принята равной $\lambda = 27^\circ$ Девы; было бы правильным поэтому определять приращение склонения звезды для последней трети или для конца Девы; указанное Птолемеем значение $\Delta\delta = 1;10^\circ$ расходится с вычисленным как для $\lambda = 20^\circ$ Девы ($\Delta\delta \approx 1;4^\circ$), так и для $\lambda = 30^\circ$ Девы ($\Delta\delta \approx 1;5^\circ$).

Склонения шести звезд, которые Птолемей использует для обоснования правильности принятого им значения скорости прецессии, обладают большими погрешностями в сравнении с точными значениями координат для соответствующей эпохи. Погрешности в определении склонений 12 других звезд существенно меньше, и они приводят к величине скорости прецессии, лучше согласующейся с современными данными. На этот факт впервые обратил внимание А.Паннекук, который предположил, что Птолемей выбрал из имеющихся в его распоряжении наблюдений

склонения тех звезд, которые подтверждали принятое им значение скорости прецессии, но что сами наблюдения являются подлинными [Pannekoek, 1955]. Р.Ньютон настаивает на том, что наблюдения сознательно подделаны Птолемеем [Ньютон, 1985, с.219–225]. Критический анализ его аргументов см. в [Grasshoff, 1990, p.81–83].

80. Приводимые ниже семь наблюдений соединений Луны с Плеядами, Спикой и β Sco Птолемей использует для определения долгот звезд в соответствующие эпохи и нахождения значения скорости прецессии. На основе этих наблюдений он доказывает в каждом случае, что за соответствующий промежуток времени широты каждой из звезд остались без изменения, а долготы возросли на величину, приводящую к значению скорости прецессии 1° за 100 лет. Интерпретация этих наблюдений представляет большие трудности как с точки зрения их подлинности, так и с точки зрения точности связанных с ними вычислений Птолемея. Исследование и анализ проблем, возникающих в связи с этими наблюдениями, см. в [Schjellerup, 1881; Fotheringham, 1915; 1923; Вильев, 1919; Britton, 1967, p.107–128; Ньютон, 1985, с.225–235], а также в комментариях в изданиях [НА II] и [РА].

81. –282, январь 29; «задняя часть Плеяд», т.е. восточная часть, восходящая последней при суточном вращении; различные авторы по-разному отождествляют звезды, о которых в данном случае идет речь; Дж.Бриттон считает, что это 28, 29 Тау, однако в своих вычислениях Птолемей предполагает, что «конец Плеяд» находился в момент покрытия на $0;5^\circ$ к северу от центра Луны, что противоречит утверждению Тимохариса. Очевидно, здесь мы имеем дело с ошибкой Птолемея. Р.Ньютон считает, что Птолемей просто перепутал южную и северную части Луны и что на самом деле Тимохарис зафиксировал покрытия звезд северной половиной Луны [Ньютон, 1985, с.226].

82. Значения, вычисленные Дж.Тумером по таблицам Птолемея для указанного момента: $\lambda_\odot = 7;8^\circ$ Водолея, $\lambda_\zeta = 30;11^\circ$, $\beta_\zeta = +3;45^\circ$ (истинные положения); $\lambda'_\zeta = 29;0^\circ$, $\beta'_\zeta = +3;38^\circ$ (видимые положения) [РА, Р.334, п.67].

Параметры, вычисленные Дж.Бриттоном на основе современной теории: время покрытия (Алкс.) $20;38^h$; видимая долгота Луны $28;37^\circ$, видимая широта $+3;54^\circ$; полудиаметр Луны $\sim 0;16^\circ$; долготы и широты звезд: 27 Тау ($\alpha = 28;38^\circ$, $\beta = 3;41^\circ$), 28 Тау ($\alpha = 28;40^\circ$, $\beta = 3;46^\circ$) [Britton, 1967].

83. 92, ноябрь 29; «метрой» — название месяца вифинского календаря (см. Приложение «Календарь и хронология в "Альмагесте"»); это единственное место, где упоминается о наблюдениях Агриппы.

Современные исследователи согласны в том, что ни одна звезда из тех, что находятся в юго-восточной части Плеяд (27, 28, η Тау), не могла быть покрыта Луной в указанный Птолемеем момент. Выдвигалось поэтому предположение ([Fotheringham, 1923, p.388] и др.), что здесь речь идет о покрытии северо-западной части Плеяд, т.е. звезд 19, 20 Тау.

84. Птолемей в своих вычислениях предполагает, что расстояние по долготе между Вифинией и Александрией приводит к временной разности $\Delta t = -1/3^h = -0;20^h$; это означает, что место наблюдения Агриппы располагалось по долготе на 5° к востоку от Александрии; фактически Вифиния находилась не более чем на 3° к востоку; в своей «Географии» Птолемей помещает все города Вифинии к западу от Александрии [РА, p.335, п.69; Britton, 1967].

85. Вычисления содержат несколько серьезных ошибок; таблицы Птолемея для указанного момента ($6;15^h$ после полудня в Александрии) дают: $\lambda_\zeta = 32;13^\circ$ (т.е. на $0;54^\circ$ меньше приведенного Птолемеем значения), $\beta_\zeta = +4;53^\circ$, см. коммент. 48 к кн.V. Параллакс также определен неверно: должно быть $p_\lambda = +0;19^\circ$, $p_\beta = -0;38^\circ$, отсюда видимые положения Луны: $\lambda'_\zeta = 32;32^\circ$, $\beta'_\zeta = +4;15^\circ$ [РА, p.335, п.70].

Дж.Бриттон принимает время наблюдения в Вифинии как $19;7^h$ (уточнена долгота места наблюдения) и для этого момента находит: $\lambda'_\zeta = 33;19^\circ$, $\beta'_\zeta = +4;29^\circ$,

полудиаметр Луны $0;15^\circ$, положение 19 Тау $\lambda = 33;3^\circ$, $\beta = +4;19^\circ$; положение 20 Тау $\lambda = 33;9^\circ$, $\beta = +4;11^\circ$. В указанный момент 19 и 20 Тау находились на расстоянии $0;5^\circ$ и $0;6^\circ$ соответственно от края Луны и поэтому были уже видны. Погружение 20 Тау началось ок. $18;14^h$, т.е. на $0;51^h$ ранее, а выход из тени наступил приблизительно в то время, которое приводит Птолемей [Britton, 1967].

86. -293, март 9.

87. У Гейберга $82;12$ [Hei II 29,7]; однако $82\frac{1}{2}^\circ$ лучше соответствует приведенной ниже долготе Спикки $82\frac{1}{3}^\circ$; исправление К.Манициуса, принятое Дж.Тумером. Вычисления по таблицам Птолемея для указанного момента дают $\lambda'_\zeta = 172;7^\circ$ (видимое положение) [РА, р.336, п.73].

88. Современные вычисления дают: уточненное время наблюдения в Александрии $19;52^h$; ему соответствует видимое положение Луны $\lambda'_\zeta = 171;19^\circ$, $\beta'_\zeta = -1;54^\circ$; положение Спикки $\lambda = 172;0^\circ$, $\beta = -1;54^\circ$, полудиаметр Луны $0;15^\circ$; разность по долготе между Спикой и краем Луны $+0;23^\circ$. Покрытие имело место точно в середине лунного диска с востока, причем Спика прошла почти точно через центр Луны, а не севернее, как утверждает Птолемей. Согласно Дж.Бриттону, погрешность во времени наблюдения составляет в данном случае около $+0;57^h$.

89. -282, ноябрь 8.

90. Время определено неверно. Продолжительность одного сезонного часа равна $16;38^\circ$, отсюда $3\frac{1}{2}^h = 58;13^\circ$, что соответствует $4^h - \frac{1}{8}^h$ вместо указанных $3^h + \frac{1}{8}^h$. Возможно также, что Птолемей здесь ошибочно вычислил длину не ночных, а дневных сезонных часов, что дает точно $3\frac{1}{8}^h$ [РА, р.336, п.75].

91. Дальнейшие расчеты Птолемей производит не для того момента, которое Тимохарис приводит как время касания края Луны и Спикки ($3\frac{1}{8}^h$ после полуночи в Александрии), а для момента восхода Луны ($2\frac{1}{2}^h$ после полуночи), как его зафиксировал Тимохарис. Приводимые долготы кульминирующей и восходящей точек эклиптики также были, по-видимому, определены Тимохарисом.

92. Вычисления по таблицам Птолемея для указанного момента ($2;30^h$ после полуночи в Александрии) дают $\lambda_\zeta = 171;39^\circ$, $\beta_\zeta = -2;7^\circ$ (истинное положение); $\lambda'_\zeta = 173;1^\circ$, $\beta'_\zeta = -2;20^\circ$ (видимое положение) [РА, р.336, п.77, р.652].

Полагая, что Тимохарис зафиксировал время касания Луны и Спикки как $4^h - \frac{1}{8}^h = 3;52^h$ после полуночи в Александрии, Дж.Бриттон находит: долгота и широта Спикки $\lambda = 172;9^\circ$, $\beta = -1;54^\circ$, видимое положение Луны $\lambda'_\zeta = 172;18^\circ$, $\beta'_\zeta = -2;13^\circ$; точное время касания $3;35^h$ после полуночи (истинное время в Александрии); Луна при этом прошла на $0;3^\circ$ к югу от Спикки, что близко соответствует сообщению Тимохариса. Восход Луны имел место в $2;40^h$, а восход Спикки в $2;42^h$ после полуночи в Александрии [Britton, 1967].

93. Здесь предполагается, что долгота Спикки в момент касания была равна долготы центра Луны; по широте центр Луны находился приблизительно на $0;15^\circ$ южнее Спикки.

94. 98, январь 11.

95. Разность по долготе между Римом и Александрией здесь принята равной 20° ; фактически она составляет $17\frac{1}{2}^\circ$. В «Географии», где эта разность принята равной 24° , погрешность достигает еще большей величины [РА, р.337, п.78].

96. Здесь Птолемей допускает в своих вычислениях существенные ошибки. Вычисления по его таблицам дают $\lambda_\zeta = 175;27^\circ$, $\beta_\zeta = -1;19,30^\circ$ (истинное положение); $\lambda'_\zeta = 175;39^\circ$, $\beta'_\zeta = -2;10^\circ$ (видимое положение в Риме) [РА, р.337, п.79].

Дж.Бриттон различает в этом наблюдении две фазы: (I) — истинное солнечное время в Риме $4;55^h$, видимое положение Луны $\lambda'_\zeta = 177;9^\circ$, $\beta'_\zeta = -1;53^\circ$, полудиаметр Луны $0;15,9^\circ$; (II) — истинное солнечное время в Риме $6;9^h$, видимое положение Луны

$\lambda'_\zeta = 177;38^\circ$, $\beta'_\zeta = -1;55^\circ$, положение Спики $\lambda = 177;24^\circ$, $\beta = -1;55^\circ$; по его оценке, время наблюдения должно быть скорректировано на $+0;25^h \pm 0;10^h$ [Britton, 1967]. 97. -294, декабрь 21.

98. У Гейберга (Hei II 32, 18) стоит 1;12; исправление К.Манициуса, принятое Дж.Тумером. Вычисления по таблицам Птолемея для указанного момента ($3;10^h$ после полуночи) дают $\lambda'_\zeta = 211;23^\circ$, $\beta'_\zeta = +1;17^\circ$ (истинные положения); $\lambda'_\zeta = 212;30^\circ$, $\beta'_\zeta = +1;1^\circ$ (видимые положения). См. коммент. 48 к кн.V, а также [РА, р.337-338, п.82, 84].

Дж.Бриттон находит для момента истинного времени в Александрии $3;30^h$ после полуночи $\lambda'_\zeta = 210;32^\circ$, $\beta'_\zeta = +0;53^\circ$; положение β Sco: $\lambda = 211;19^\circ$, $\beta = +1;17^\circ$; полудиаметр Луны $0;15^\circ$. Поправка к зафиксированному во время наблюдения времени $+1;50^h$. Вычисления показывают, что в указанный момент верхний край Луны не коснулся, а прошел на $0;10^\circ$ южнее β Sco [Britton, 1967].

99. 98, январь 14.

100. Связанные с этим наблюдением вычисления О.Нейгебауэр разбирает в качестве примера в [НАМА, р.41, 96, 117] и находит соответственно $\lambda'_\zeta = 215;19^\circ$, $\beta'_\zeta = +2;5^\circ$ (истинные положения); общий параллакс по высоте $p = 1;10^\circ$, его долготная и широтная составляющие $p_\lambda = +0;28^\circ$, $p_\beta = -1;4^\circ$; видимое положение Луны $\lambda'_\zeta = 115;47^\circ$, $\beta'_\zeta = +1;1^\circ$.

Дж.Бриттон находит для момента $6;8^h$ после полуночи истинного времени в Риме видимое положение Луны $\lambda'_\zeta = 216;5^\circ$, $\beta'_\zeta = +1;25^\circ$; полудиаметр Луны $0;15^\circ$; положения звезд

[β Sco] $\lambda = 216;44^\circ$, $\beta = +1;16^\circ$,

[π Sco] $\lambda = 216;7^\circ$, $\beta = -1;43^\circ$,

[δ Sco] $\lambda = 216;29^\circ$, $\beta = -5;12^\circ$.

Видимое расстояние Луны от π Sco равно $3;30^\circ$. В указанный момент южный рог Луны находился на $0;16^\circ$ к востоку от линии, проходящей через π и δ Sco, тогда как ее восточный край был на $0;23^\circ$ западнее от β Sco. По его оценке, время, когда имело место зафиксированное Менелаем положение южного рога Луны на одной прямой с δ и π Sco, зафиксировано с погрешностью около $-0;45^h$; соединение же Луны и β Sco имело место на $1;51^h$ позднее указанного момента [Britton, 1967].

101. Птолемей употребляет здесь не вполне точное выражение. Круг 6 «армилярной сферы» (рис. 5-А) был на самом деле градуирован, но он не мог вращаться по широте; для этой цели служил соосный с ним круг 7, на котором были укреплены визирь.

102. 20 июля 137 г.н.э.

103. Самое раннее упоминание о принятом греческими астрономами подразделении звезд на 6 «величин» содержится в астрологической поэме Манилия (I в. н.э.) в части V. Хотя твердыми доказательствами мы не располагаем, однако есть основания полагать, что понятие звездной величины было известно уже Гиппарху [НАМА, р.291-292].

104. Как отмечалось выше, «предшествующей» называется та часть созвездия, которая восходит первой при суточном вращении небесной сферы (см. коммент. 8). Хотя в большинстве случаев Птолемей следует установленному правилу при описании положений звезд в созвездии, однако имеются исключения из этого правила, например, №15-18 в созвездии Дракона или №23-24 в созвездии Водолея.

105. Подробнее о различиях каталогов Гиппарха и Птолемея см. [Boll, 1901; Vogt, 1925; НАМА, р.284-288; Grasshoff, 1990].

106. Звездный каталог Птолемея содержит описание 48 созвездий, включающих всего 1025 звезд. Каталог разбит на три части: созвездия северного неба (т.е. расположенные к северу от зодиакального пояса), зодиакальные созвездия и созвездия южного неба. Каталог представлен в табличном виде. В таблице в столбце 1 указан

номер звезды в созвездии; нумерация по созвездиям введена К.Манициусом и принята большинством исследователей каталога; в греческом тексте нумерация отсутствует; в столбце 2 приводится словесное описание положения звезды на воображаемой фигуре созвездия или в ее окрестности, согласно Птолемею; описания фигур созвездий в каталоге даются так, как они должны наблюдаться на небесной сфере; соответственно на небесном глобусе то, что названо «правым» у Птолемея, становится «левым» и наоборот. В столбце 3 указана долгота звезды, отсчитываемая от начала соответствующего знака зодиака; например, запись «Рак $3\frac{2}{3}$ » означает $\lambda = 90^\circ + 3\frac{2}{3}^\circ$. В столбце 4 — широта звезды со знаком (+), если звезда расположена к северу от эклиптики и со знаком (-), если она находится к югу от эклиптики; (положение к северу обозначается сокращенно $\beta\alpha$ от $\beta\acute{o}\rho\epsilon\iota\omicron\varsigma$ «северный», к югу — $\nu\acute{o}\tau\iota\omicron\varsigma$ «южный»). Дробные части градусов долготы и широты приводятся в нашем издании в том виде, как они даны в греческом тексте; например, запись « $1\frac{1}{2}\frac{1}{3}$ » = $5/6$, « $1\frac{1}{2}\frac{1}{4}$ » = $3/4$ и т.д. В столбце 5 указана звездная величина звезды; Птолемей нередко сообщает, что величина звезды больше или меньше какого-либо значения; в этом случае, следуя К.Манициусу, мы указываем через тире два значения; например, запись «4-3» означает «больше 4», или «3-4» — «меньше 3» и т.д. В столбце 6 приводится современное отождествление звезды согласно буквенным обозначениям Байера или числовым обозначениям Флемстида; для части слабых звезд указаны номера из Yale Bright Star Catalogue (сокращенно BSC).

За основу настоящего издания каталога в том, что касается координат звезд, звездных величин и отождествлений принято издание Дж.Тумера [PA]. Значения, которые с той или иной точки зрения представляются сомнительными, отмечены в тексте каталога знаком вопроса в круглых скобках. В комментариях мы приводим варианты числовых значений координат и звездных величин, встречающиеся в рукописях, с указанием источника: гр. — греческий, ар. — арабский, лат. — латинский.

Звездному каталогу Птолемея посвящена обширная литература. Наибольшее значение имеют комментированное издание каталога Х.Петерса и Э.Ноубла [Р.-К.], исследования средневековой арабской и латинской традиции, связанной с каталогом, П.Куницца [Kunitzsch, 1975; 1986, 1990, 1991], исследование Г.Грасхофа [Grasshoff, 1990], подробные комментарии, касающиеся каталога, в [НА II; PA].

Особый интерес представляет вопрос о происхождении каталога Птолемея и его возможной связи с каталогом Гиппарха. По этому поводу высказываются две противоположные точки зрения. Согласно первой, каталог составлен самим Птолемеем на основе его собственных наблюдений, согласно второй, Птолемей не производил измерений координат звезд, а вычислил их значения, опираясь на данные Гиппарха и ошибочно принятое им значение постоянной прецессии 1° за 100 лет. Широты всех звезд в каталоге Гиппарха он оставил без изменений, а долготы увеличил на $2;40^\circ$, чтобы учесть поправку за прецессию за 265 лет. Поскольку принятое Птолемеем значение постоянной прецессии меньше истинного, в долготах звезд возникла систематическая ошибка, превышающая 1° .

Во всей остроте эта проблема была поставлена уже в работах XVIII в. (Лаплас, Лаланд) и XIX в. (Деламбр). Она получила новое развитие в исследованиях начала XX в. [Boll, 1901; Dreyer, 1917, 1918; Окулич, 1918; Vogt, 1925] и др. В частности, Ф.Болль показал, проанализировав сообщения о звездных наблюдениях Гиппарха, что каталог последнего содержал не более 850 звезд, а это означает, что Птолемей включил в свой каталог дополнительно не менее 170 звезд. В последнее время дискуссия по вопросу о происхождении каталога стимулировала обвинения, высказанные в адрес Птолемея Р.Ньютоном, — в подделке, сознательном искажении данных астрономических наблюдений [Newton, 1974; 1977 (пер. на русский язык см. [Ньютон, 1985]); 1979; 1982; 1983]. Среди исследований, которые в той или иной мере продвинули решение этой непростой проблемы, см. [Rawlins, 1982(1); Gingerich, 1980; 1981; Gingerich, Welther, 1984; Wilson, 1984; Evans, 1987; Шевченко, 1988; Ефремов, Павловская, 1989; Schevchenko, 1990; Grasshoff, 1990; Włodarczyk, 1987; 1990; Swerdlow, 1992].

Делаются попытки независимо оценить астрономическими методами время создания каталога. Отметим в этой связи работу А.К.Дамбиса при участии

Ю.Н.Ефремова (ГАИШ, МГУ, 1997), которые, используя 832 звезды ярче 5-й величины в результате решения классической обратной задачи астрометрии (т.е. определения по известным современным координатам и собственным движениям звезд наиболее вероятного времени наблюдения положений, приведенных в каталоге) получили эпоху с высокой степенью достоверности совпадающей с эпохой Гиппарха: -125 год с ошибкой 116 лет [Дамбис, 1998; *Dambis, Efremov*].

107. Вар.: 16° (гр., ар.).

108. Вар.: $17\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

109. Вар.: $+37^\circ$ (ар.), $+45^\circ$ (ар.).

110. Вар.: 13° (ар.).

111. Вар.: 26° (гр., ар.).

112. Вар.: $+22\frac{3}{4}^\circ$ (ар.).

113. Вар.: $+81\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

114. Вар.: $+81\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

115. Звезда №17 имеет большую эклиптическую долготу, чем №18, и поэтому должна в нормальной ситуации «следовать» за ней, т.е. располагаться на небесной сфере восточнее; однако для звезд с большими северными широтами это правило может не выполняться; здесь мы имеем как раз такое исключение [РА, р.344, п.110].

116. Вар.: $+87\frac{1}{2}^\circ$ (гр.).

117. Вар.: $+80\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

118. Вар.: $10\frac{1}{3}^\circ$ (гр.), $13\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

119. Вар.: $+64\frac{1}{4}^\circ$ (ар.).

120. Вар.: $5\frac{2}{3}^\circ$ (ар.), принят Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, p.277, №90].

121. Вар.: $+46\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

122. Вар.: $+46\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

123. Широта этой звезды ($44\frac{3}{4}^\circ$) на самом деле больше широты «яркой звезды на короне» ($44\frac{1}{2}^\circ$); возможно, здесь имеет место искажение текста.

124. «Созвездие [того, кто] на коленях», или «Коленопреклоненного», в XVI в. получило название созвездия Геркулеса.

125. Вар.: $+50\frac{2}{3}^\circ$ (гр.), $+56\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

126. Для №12, 14 и 15 Г.Грасхоф принимает следующие значения звездных величин: больше 4 (гр., ар.), 5 и 3 соответственно [Grasshoff, 1990, p.280, №130, 132, 133].

127. Вар.: $+56\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

128. Вар.: $+63^\circ$ (гр.).

129. Вар.: $+74^\circ$ (ар.).

130. Вар.: $+72^\circ$ (ар.).

131. Вар.: $+64^\circ$ (гр.).

132. №9 в созвездии Волопаса (ν Boo).

133. «Раковина» — панцирь черепахи, из которого, согласно греческому мифу, младенец Гермес изготовил первую лиру.

134. Согласно одной из версий мифа, Гермес, чтобы изготовить лиру, использовал бычьи рога, которые он украл у Аполлона.

135. Вар.: 21° (гр.), 24° (гр., ар.).

136. Созвездие Лебедя в ранней греческой традиции называлось Птицей и не отождествлялось с лебедем (Aram, 175), но в «Катастеризмах» Псевдо-Эратосфена это созвездие уже названо Лебедем [Россиус, 1991, с.76].

137. Вар.: $+49\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

138. Вар.: 16° (ар.).

139. ω Суг не туманность, а кратная звезда.

140. Долгота определена с погрешностью около 4° ; возможно, должно быть $4\frac{2}{3}^\circ$ [Р.-К., р.98, №184].

141. Вар.: $+28\frac{1}{4}^\circ$ (ар.).

142. №23 (= ϵ Per).

143. Вар.: $+30\frac{5}{6}^\circ$ (ар.).

144. Вар.: $+16^\circ$ (ар.).

145. №21 в созвездии Тельца; ее величина там указана как «3». Эта звезда известна также как γ Aug, но в настоящее время относится к созвездию Тельца.

146. Возничий изображался иногда в длинной тунике, достигавшей ступней его ног [РА, р.353, п.145].

147. Вар.: 23° (гр.).

148. Вар.: $+16^\circ$ (гр.), $+13^\circ$ (гр.), $+10\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

149. Вар.: $+33\frac{5}{6}^\circ$ (гр.), $+23\frac{3}{4}^\circ$ (гр., ар.).

150. Вар.: $26\frac{2}{3}^\circ$ (гр.), $23\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

151. Значения широт звезд №14, 15, 16 в некоторых арабских рукописях приводятся со знаком (+) [Kunitzsch, 1986, S. 62–63].

152. Г.Грасхоф, следуя К.Манициусу [НА II, 40], отождествляет эту звезду как 58 Oph (HR 6595) [Grasshoff, 1990, p.218, 258, №251].

153. Вар.: $+1\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

154. Вар.: $\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

155. Так созвездие Змеи называлось во времена Птолемея, чтобы отличить его от созвездий Дракона (Большая Змея) и Гидры (Водяная Змея).

156. Вар.: $21\frac{1}{3}^\circ$ (гр., ар.).

157. Вар.: $+16\frac{1}{4}^\circ$ (гр., ар.).

158. Вар.: $+37\frac{2}{3}^\circ$ (гр.), $+38\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

159. Антиной — молодой человек, любимец императора Адриана, утонувший в Ниле в 130 г. н.э., в его честь был основан город Антинополь. Согласно легенде, Адриан пожелал увидеть звезду, в которую переселилась душа Антиноя, так возникло это созвездие. Неизвестно, имел ли Птолемей какое-либо отношение к его отождествлению.

160. Вар.: 26° (гр.).

161. Вар.: $+34^\circ$ (гр., ар.).

162. В древности созвездие называлось «Голова Коня» или «Грудь Коня». В самом деле, только голова упоминается при описании положений звезд в этом созвездии. Сейчас оно носит название Малого Коня. Его изображения не сохранились, многие древние авторы опускают это созвездие [РА, р.358, п.164].

163. Как уже говорилось (коммент. 25), Конем Птолемей называет созвездие Пергаса. Это подтверждается тем, что при описании положений звезд в пределах созвездия упоминаются его крылья.

164. Эта звезда известна также как δ Psc, но в настоящее время относится к созвездию Андромеды.

165. Вар.: $9\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

166. Известна также как ν Psc, но в настоящее время относится к созвездию Андромеды.

167. К.Манициус принимает значение $65\frac{5}{6}^\circ$ [НА II, 401].

168. Вар.: $+1\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

169. См. кн.VII, гл.I, с. , а также [Manitius, 1894, S.58].

170. Вар.: $+10\frac{1}{2}^\circ$ (гр.).

171. Символическое изображение Тельца представляло только переднюю часть фигуры быка.

172. Вар.: $24\frac{2}{3}^\circ$ (ар.), $21\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

173. Вар.: $10\frac{1}{3}^\circ$ [НА II, 401].

174. Вар.: $-10\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

175. Вар.: $-1\frac{1}{4}^\circ$ (ар.).

176. Вар.: $12\frac{5}{6}^\circ$ (ар.).

177. Вар.: $17\frac{1}{2}^\circ$ (гр.).

178. Вар.: -4° (гр., ар.).

179. №11 в созвездии Возничего; величина звезды там «больше 3», т.е. 3–2.

180. Вар.: $+1^\circ$ (гр., ар.).

181. Долготы звезд №26, 27 К.Манициус записывает в обратном порядке [НА II, 402].

182. Вар.: $+7\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

183. Описание Плеяд у Птолемея не вполне ясно; среди звезд, относимых к Плеядам (№30–32), отсутствует Альциона (η Tau), самая яркая звезда Плеяд;

очевидно здесь, как и в некоторых других случаях, мы имеем дело с искажением (и притом достаточно древним) текста каталога.

184. Вар.: 21° (гр.).

185. Вар.: $+9\frac{2}{3}^{\circ}$ (гр., ар.).

186. Вар.: $26\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр.).

187. Вар.: $+3^{\circ}$ (гр., ар.).

188. Вар.: $18\frac{1}{6}^{\circ}$ (лат.); долгота этой звезды приводится Птолемеем в кн.Х, гл.1, с.316 как $18\frac{1}{4}^{\circ}$. См. также [РА, р.365, п.200].

189. Вар.: $21\frac{1}{3}^{\circ}$ (гр., ар.).

190. Вар.: $-2/3^{\circ}$ (гр.).

191. Вар.: $8\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр., ар.).

192. Вар.: 3° (гр.), $5\frac{2}{3}^{\circ}$ (лат.).

193. Вар.: $+3^{\circ}$ (гр.), $+2/3^{\circ}$ (ар., лат.).

194. К.Манициус и Петерс-Нобул отождествляют эту звезду как ϵ Спс, которая находится вблизи рассеянного звездного скопления М44; однако Дж.Тумер считает, что в данном случае речь идет не об отдельной звезде, а о самом туманном объекте и переводит соответственно данное место как «середина туманной массы на груди» [РА, р.366, п.207].

195. Большая погрешность в значении широты (ок. 3° , согласно [Grasshoff, 1990, р.293, №457]) [Р.-К., р.102, №457].

196. Вар.: $19\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр., ар.), $15\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.); отождествление π Спс соответствует значению $19\frac{2}{3}^{\circ}$, если же принять $15\frac{2}{3}^{\circ}$, как это делают [Р.-К.], то наиболее вероятным будет отождествление $\sigma^1 + \sigma^2$ Спс.

197. Вар.: $21\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.), $21\frac{1}{2}^{\circ}$ (гр.), $21\frac{2}{3}^{\circ}$ (ар.).

198. Значения широт звезд №12 и 13 изменены местами; обратная последовательность лучше соответствует действительным координатам ν и ξ Спс; изменение не имеет текстуального подтверждения, однако оно принято большинством исследователей.

199. Вар.: $4\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.).

200. Вар.: 13° (ар.).

201. Вар.: $12\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.).

202. Вар.: $+11\frac{1}{2}^{\circ}$ (ар.), $+11\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.).

203. Отождествление очень ненадежное; оно будет правильным, если предположить, что долгота звезды указана неверно [Р.-К., р.102–103].

204. Вар.: $-3\frac{1}{5}^{\circ}$ (гр.), -3° (ар.), $-1\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.).

205. Вар.: $\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.).

206. Вероника или Береника (ок. 273–221 г. до н.э.) — дочь царя Кирены Мегаса, ставшая женой Птолемея III Эвергета, который назвал в ее честь данное созвездие.

207. Долгота №1 должна быть больше долготы №2, поэтому [Р.-К.] меняют их местами; К.Манициус меняет значение долготы №2 на 26° .

208. Вар.: $+1\frac{1}{3}^{\circ}$ (гр.), $+3^{\circ}$ (гр., ар.).

209. Вар.: $+1\frac{1}{2}^{\circ}$ (гр.).

210. Вар.: $+2\frac{1}{2}^{\circ}$ (гр.), $+2\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.).

211. Вар.: $11\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.).

212. Название означает «Предвестник сбора винограда» или «Виноградарь».

213. Колос пшеницы или какой-либо другой хлебный злак.

214. Вар.: 27° (ар.).

215. Вар.: $+6^{\circ}$ (ар.).

216. Вар.: $-1\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.).

217. В некоторых арабских рукописях указана северная широта.

218. Вар.: $+6\frac{1}{3}^{\circ}$ (гр.), $+6\frac{2}{3}^{\circ}$ (ар.).

219. Вар.: $+7\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр.).

220. Вар.: $3\frac{2}{3}^{\circ}$ (ар.).

221. Вар.: $-7\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар., лат.).

КНИГА ВОСЬМАЯ

1. $\chi\eta\lambda\alpha\iota$ — буквально «клешни [Скорпиона]»; название «Клешни» Птолемей использует повсюду в «Альмагесте» как обозначение созвездия Весов, кроме двух случаев в кн. IX, гл. 7, с. 305 и в кн. X, гл. 1, с. 317, где стоит $\zeta\eta\upsilon\varsigma$ «весы» при цитировании более ранних наблюдений. Слово $\chi\eta\lambda\alpha\iota$ Птолемей использует также как обозначение знака зодиака «Весы» при определении долгот звезд в каталоге.

2. Вар.: $+3\frac{1}{4}^\circ$ (ар.).

3. Вар.: $+3^\circ$ (гр., ар.).

4. Отождествление двух последних звезд крайне неопределенное [РА, р. 370, п. 3]; К. Манициус, П. Куницш и Г. Граскоф отождествляют их как 41 и κ Lib.

5. Вар.: $-8\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

6. Звезды № 15, 16 и 17 обозначаются также как σ , υ и τ Lib соответственно; встречаются также обозначения № 15 = γ Sco, № 17 = δ Sco.

7. Вар.: $-6\frac{3}{4}^\circ$ (ар.).

8. Вар.: $-6\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.).

9. Большинство исследователей отождествляет № 14, 15 как ζ^1 , ζ^2 Sco, однако не ясно, какая из них есть какая [РА, р. 372, п. 7]; Г. Граскоф принимает обратный порядок [Grasshoff, 1990, р. 297, № 559, 560].

10. Вар.: $-15\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

11. Вар.: $25\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

12. Вар.: $-1\frac{1}{6}^\circ$ (гр.).

13. В [РА, р. 373] принято ошибочно $-3\frac{1}{10}$, однако в греческом тексте [Hei II 112, 15] находим $\frac{1}{6}$ и то же самое в арабских рукописях каталога [Kunitzsch, 1986, S. 109, № 575]; Птолемей при определении долгот и широт звезд в каталоге нигде не использует дробь $\frac{1}{10}$.

14. Вар.: $-35\frac{5}{6}^\circ$ (ар., лат.).

15. О том, как выглядел и для чего предназначался этот элемент одеяния Стрельца, см. [РА, р. 374, п. 13].

16. Вар.: $22\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

17. Вар.: $25\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

18. Вар.: $22\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

19. Вар.: 3 (ар.).

20. Вар.: 3, 4 (ар.).

21. К. Манициус, П. Куницш и Г. Граскоф отождествляют эту звезду как θ^1 Sgr.

22. Вар.: $235\frac{5}{6}^\circ$ (гр.).

23. Вар.: -26° (гр., ар.).

24. Вар.: $27\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

25. Вар.: 9° (гр., ар., лат.).

26. Вар.: $+2\frac{2}{3}^\circ$ (гр.).

27. Вар.: 23° (ар.).

28. Здесь указание «юг» соединено со значением координаты «0»; возможно, это должно служить указанием на то, что звезда располагается немного к югу от эклиптики [РА, р. 376, п. 25].

29. Дж. Тумер считает, что здесь речь идет не о «спинном», а о южном плавнике [РА, р. 376, п. 26].

30. Вар.: $215\frac{5}{6}^\circ$ (гр.).

31. Так в греческом тексте [Hei II 120, 10], однако, согласно Дж. Тумеру, здесь должно быть «южных» [РА, р. 377, п. 31]; арабские переводы подтверждают правильность его исправления [Kunitzsch, 1986, S. 116, Anm. 3].

32. ρ Aqr должна быть по широте южнее от θ Aqr, поэтому К. Манициус поменял местами значения широт для № 13 и 14; никакого текстового подтверждения для такой замены, однако, не существует.

Вар.: $+2\frac{1}{6}^\circ$ (ар., лат.).

33. Вар.: $+4^\circ$ (ар.); имеются греческие рукописи, где эта звезда обозначена как находящаяся к югу от эклиптики.

34. Вар.: $+4\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

35. Петерс-Ноубл, П.Куницц и Г.Грасхоф отождествляют эту звезду как 94 Aqr (BSC 8866).

36. Вар.: $22\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

37. Вар.: -12° (ар.).

38. Звезда 86 Aqr располагается по широте южнее 89 Aqr; данные Птолемея не соответствуют действительному положению этих звезд. См. по этому поводу [PA, p.378, n.40].

39. Вар.: больше 4 (гр., ар.).

40. Вар.: $+7\frac{3}{4}^\circ$ (ар.), $+9\frac{1}{4}^\circ$ (ар.).

41. На «ленте», соединяющей хвосты двух рыб.

42. Вар.: $20\frac{1}{6}^\circ$ (гр.).

43. Вар.: -6° (гр.), $-1\frac{1}{3}^\circ$ (ар., лат.).

44. Вар.: $22\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

45. Вар.: $20\frac{1}{3}^\circ$ (гр.), $23\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

46. Вар.: $28\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

47. Вар.: $\frac{1}{3}^\circ$ (гр., ар.).

48. Вар.: $+23^\circ$ (гр., ар.).

49. «Звезда на локте Андромеды» — № 11 в созвездии Андромеды (η And).

50. Вар.: $26\frac{2}{3}^\circ$ (гр.).

51. Вар.: $+13^\circ$ (гр., ар.).

52. Отождествление звезд № 31 и 34 очень неопределенное [PA, p.380, n.57]; П.Куницц отождествляет их в обратном порядке, т.е. № 31 = ψ^3 Psc, № 34 = χ Psc [Kunitzsch, 1986, S.122].

53. Вар.: $16\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

54. Вар.: $7\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

55. Вар.: $-15\frac{1}{3}^\circ$ (гр.).

56. Отождествление звезд № 12–20 крайне ненадежное.

57. Вар.: $-11\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

58. Вар.: $-16\frac{1}{2}^\circ$ (гр.), $-13\frac{5}{6}^\circ$ (ар.); последнее значение, возможно, является правильным.

59. ξ Ori не является двойной звездой в современном понимании; здесь имеет место ситуация, когда две слабые звезды расположены близко друг от друга [HA II, 405].

60. Вар.: $4\frac{1}{3}^\circ$ (гр., ар., лат.), $4\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

61. Вар.: $-20\frac{1}{2}^\circ$ (ар.), $-20\frac{1}{3}^\circ$ (ар.); последнее значение принято Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, p.303, № 748].

62. Вар.: $26\frac{5}{6}^\circ$ (ар.), $27\frac{1}{6}^\circ$ (ар.).

63. Вар.: $-28\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

64. Вар.: $26\frac{1}{6}^\circ$ (гр., ар.), $26\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

65. Водой реки Эридан.

66. У Птолемея $\Pi\tau\alpha\iota\delta\acute{o}\varsigma$ («река»); отождествляется с мифической рекой Эриданом уже Аратом; Псевдо-Эратосфен в «Катастеризмах» утверждает, что это Нил; позднее отождествлялась с рекой По.

67. Вар.: $13\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

68. Вар.: 16° (гр.).

69. Вар.: $14\frac{5}{6}^\circ$ (ар.), принятый Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, p.305, № 786].

70. Отождествление звезд № 15–17 крайне ненадежное.

71. Вар.: $-23\frac{5}{6}^\circ$ (ар.).

72. Вар.: $-53\frac{1}{3}^\circ$ (гр.), $-50\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

73. Отождествление звезд № 31–33 неопределенное; если основываться на значениях долгот, то лучше подходят i, g, h Eri [P.-K., HA II]. Г.Грасхоф считает, что отождествление, принятое в [P.-K.], лучше отвечает приведенным координатам

звезд и определяет их как BSC 1214, 1195 и 1143 соответственно [Grasshoff, 1990, p.218, 307, № 802–804].

74. Так в греческом тексте и в арабских переводах, но должно быть, вероятно, «4»; θ Eri — двойная звезда 3–4 величины.

75. Вар.: $24\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

76. Вар.: -44° (ар.), принятый Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, p.307, № 814].

77. Сейчас созвездие носит название «Большой Пес». Во времена Птолемея Κύων («Пес»), поскольку созвездие Малого Пса называлось Проционом.

78. Речь идет о Сириусе; Птолемей не использует это название, хотя оно было известно в Греции уже во времена Гесиода; Сириус в настоящее время не является красной звездой, однако в античности ему нередко приписывается этот цвет.

79. Большая погрешность в долготе (ок. $7;19^\circ$, согласно Г.Грасхофу [Grasshoff, 1990, p.307, № 822]); указанное число зафиксировано во всех рукописях; вместо него К.Манициус принимает произвольно $21\frac{1}{3}^\circ$, [P.-K.] — $20\frac{1}{3}^\circ$; по мнению Дж.Тумера, здесь имеет место ошибка Птолемея.

80. При отождествлении этой звезды Дж.Тумер следует [P.-K.]; согласно К.Манициусу [НА II, 58], П.Кунишу [1986, S.138] и Г.Грасхофу [Grasshoff, 1990, p.96–97, 307, № 836], это 19 Моп; эта же звезда обозначается иногда как δ Моп.

81. Большая погрешность в долготе; поэтому в [P.-K.] принято $\lambda = 7^\circ$, однако это исправление не имеет текстуального подтверждения.

82. Современный Малый Пес; название происходит от Προκύων («Предвестник Пса»).

83. Вар.: $29\frac{1}{2}^\circ$ (гр.).

84. Это большое созвездие подразделяется в настоящее время на четыре созвездия меньшего размера: Корма, Паруса, Киль и Компас.

85. Вар.: $-46\frac{1}{6}^\circ$ (гр.).

86. Звезда 4-й величины, согласно [Kunitzsch, 1986, p.140–141] и [Grasshoff, 1990, p.309, № 854]; обозначается также иногда как κ Pup.

87. Вар.: $-49\frac{3}{4}^\circ$ (гр.).

88. Вар.: $-49\frac{5}{6}^\circ$ (гр.).

89. Верхней части кормы, вероятно, была придана форма гусиной шеи.

90. Согласно Дж.Тумеру, здесь может быть любая из трех звезд 5-й величины, обозначаемых соответственно BSC 2819, 2823, 2834, или какая-либо их комбинация [РА, p.389, n.105]; Г.Грасхоф принимает BSC 2834 [Grasshoff, 1990, p.309, № 859].

91. Вар.: $-57\frac{3}{4}^\circ$ (ар.).

92. Вар.: -60° (ар.).

93. Согласно Г.Грасхофу, это BSC 3537 [Grasshoff, 1990, p.219, 309, № 870].

94. Вар.: $-51\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

95. Вар.: $-43\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

96. Созвездие представляет только кормовую часть корабля; срез проходит примерно посередине.

97. Два таких весла можно увидеть на некоторых древних изображениях Арго [Россиус, 1992, с.54].

98. Вар.: $-71\frac{5}{6}^\circ$ (ар.).

99. Птолемей (как и Гиппарх в «Комментариях к Арату») называет это созвездие $\Upsilon\delta\rho\omicron\varsigma$, т.е. Водяной Змей (в мужском роде); однако в поэме Арата (строка 444) его название дается в женском роде $\Upsilon\delta\rho\iota$, т.е. Водяная Змея [РА, p.391, n.114].

100. Вар.: $-14\frac{3}{4}^\circ$ (ар.).

101. Вар.: -12° (ар.).

102. Вар.: $-14\frac{5}{6}^\circ$ (ар.), $-14\frac{2}{3}^\circ$ (ар.).

103. Вар.: $-19\frac{1}{3}^\circ$ (ар.), $-19\frac{1}{2}^\circ$ (ар.).

104. Вар.: -23° (гр.).

105. Во всех греческих рукописях стоит $-26\frac{1}{4}^\circ$, грубо ошибочное число, но в большинстве арабских рукописей $-23\frac{1}{4}^\circ$; последнее число принято во всех современных изданиях каталога.

106. Вар.: $20\frac{1}{3}^\circ$ (ар.).

107. Вар.: $-29\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.), $-22\frac{1}{2}^{\circ}$ (ар.).
108. Очень велика погрешность; предлагается исправление $-13;40$ [Р.-К., р.112; НА II, 405].
109. Вар.: -16° (ар.).
110. Вар.: $26\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.), принятый Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, р.311, № 921].
111. На древних изображениях Ворон клюет Водяную Змею.
112. Тирс — разновидность жезла, ветвь, принадлежность последователей Диониса; заканчивался виноградными листьями и другими эмблемами, связанными с культом Диониса.
113. Вар.: $-25\frac{5}{6}^{\circ}$ (ар.).
114. Вар.: -33° (гр.).
115. ω Сеп не отдельная звезда, а шаровое звездное скопление NGC 5139.
116. Вар.: -43° (гр., ар.).
117. Вар.: $-54\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.).
118. Вар.: $-44\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр.).
119. Современное название — Волк; изображался рядом с Кентавром, причем последний держал его правой рукой за задние лапы [РА, р.396, п.138] или пронзал копьем.
120. Вар.: $-25\frac{1}{6}^{\circ}$ (ар.).
121. Эта величина стоит во всех рукописях, но слишком велика погрешность; отождествление этой звезды сомнительно [Р.-К., р.112, № 982].
122. П.Куницц отождествляет звезды № 15 и 16 как χ Lur и ξ Lur, следуя [Р.-К.] [Kunitzsch, 1986, S.158]; отождествление принято также Г.Грасхофом [Grasshoff, 1990, р.220, 313, № 987, 988].
123. Вар.: $27\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар., лат.).
124. Вар.: $-11\frac{1}{2}^{\circ}$ (ар., лат.).
125. Жертвенник изображался перевернутым, т.е. основанием к северу.
126. Вар.: $3\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр.), $\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар., лат.).
127. Вар.: $26\frac{1}{6}^{\circ}$ (гр., ар.).
128. Вар.: $31\frac{1}{4}^{\circ}$ (гр.), 34° (ар.).
129. П.Куницц принимает, следуя [Р.-К.], отождествление $\delta^{1,2}$ Tel [Kunitzsch, 1986, S.160], но Г.Грасхоф [Grasshoff, 1990, р.313, № 998] сохраняет отождествление Дж.Тумера (α Tel), принятое еще К.Манициусом.
130. Вар.: $-20\frac{1}{3}^{\circ}$ (ар.), принятый Г.Грасхофом [1990, р.313, № 100].
131. № 24 в созвездии Стрельца (α Sgr).
132. Возможный вариант отождествления — к Сга.
133. Звезда № 42 в созвездии Водолея.
134. Вар.: $-11\frac{2}{3}^{\circ}$ (ар.).
135. Вар.: 26° (ар.).
136. Звезд II, поскольку № I входит также в созвездие Водолея.
137. Отождествление звезд № 13–18 крайне неопределенное; П.Куницц, следуя [Р.-К.], отождествляет № 13–15 как α , γ , ϵ Mic соответственно [Kunitzsch, 1986, S.164]; Г.Грасхоф принимает отождествления Дж.Тумера, но меняет его порядок: № 17, 18 — γ , α Mic [Grasshoff, 1990, р.221, 315, № 1027–28].
138. На самом деле в каталоге, если суммировать число звезд по всем созвездиям, зафиксировано 1028 объектов (сплошная нумерация дается в [Р.-К.; Kunitzsch, 1986; Grasshoff, 1990]), однако три звезды (ν Boo, β Tau, α PsA) указаны дважды; таким образом в каталоге приводятся координаты всего для 1025 объектов.
139. Звезды, о которых идет речь, занимают в каталоге следующие положения: № 31, 36, 32, 33, 34 и 35 соответственно в созвездии Кентавра; согласно описанию в каталоге α Сги находится не «на лодыжке», а «на копыте».
140. Звезды № 10 в созвездии Волка, № 7, 6, 2, 4 и 3 соответственно в созвездии Жертвенника.
141. Звезды № 17, 18, 19, 22 в созвездии Скорпиона и № 25, 2, 3, 1, 4, 5 соответственно в созвездии Стрельца; в тексте вместо «лук» стоит «Стрелец»; исправление К.Манициуса, принятое Дж.Тумером [РА, р.400, п.161].

142. Т.е. вне пределов Млечного Пути; звезда № 18 в созвездии Змеи.

143. Звезды № 15, 12, 8, 7, 5 и 3 соответственно в созвездии Орла; в каталоге γ Aql описана как находящаяся «на левом плече». Три последние звезды К.Манициус отождествляет как α , β и σ Aql [НА II, 67], а Дж.Тумер как α , φ и ν Aql [РА, р.401, п.164], хотя звезды φ и ν не включены в каталог.

144. Звезды № 1 и 5 в созвездии Стрелы.

145. Звезды № 11 («на середине левого крыла»), 10, 13, 14, 12, 18, 19 соответственно в созвездии Птицы (Лебедя).

146. Звезды № 5 (в каталоге «звезда в хвосте»), 17, 14 в созвездии Птицы и 9, 13 в созвездии Цефея.

147. Звезды № 7, 1, 11 и 6 в созвездии Кассиопеи.

148. Все перечисленные звезды принадлежат созвездию Персея: BSC 1314 — № 28; α — № 7; ψ , δ — № 9, 10; h и χ — № 1 (в каталоге «на конце правой руки», здесь же имеется в виду, по-видимому, рукоять оружия Персея — меча или серпа); τ — № 5; γ — № 3; η — № 2; 72, λ , 48, μ — № 16–19; 53 — № 20; 58 — № 21 (в каталоге «на правой лодыжке»).

149. Звезды № 3, 5, 6, 14, 12, 8, 9 соответственно в созвездии Возничего.

150. Звезды: № 19 в созвездии Близнецов, № 12, 9 и 10 в созвездии Ориона, № 20, 18, 14–17 в созвездии Близнецов.

151. Так в греческом тексте [Hei II 176, 18]. Однако П.Куницш исправляет это место как «звезда на его глазах» [Kunitzsch, 1974, S.322, № 533]; исправление принято Дж.Тумером [РА, р.403, п.172].

152. Звезды № 2, 3, 4, 5, 19 в созвездии Большого Пса.

153. В каталоге Птолемея все перечисленные звезды принадлежат созвездию Апро: № 5 (m Pup), № 6 (BSC 2948 + 2949), № 8, 9 (3, 1 Pup), № 17 (χ Pup), № 38 (δ Vel), № 22 (BSC 3439), № 2 (ρ Pup), № 31 (λ Vel), № 27 (β Pux), № 35, 36 (γ Vel, χ Car).

154. Имеется в виду западное ответвление Млечного Пути, о котором упоминалось выше.

155. Звезды № 12, 13, 14, 9, 16 в созвездии Скорпиона.

156. Звезды № 12 (η Oph), 13 (ξ Oph), 14 (36 Oph), 9 (μ Oph), 10 (ν Oph) в созвездии Змееносца и № 16, 17 (ζ , η Ser) и 18 (θ Ser) в созвездии Змеи Змееносца.

157. Звезды № 25, 26, 27, 28 (66, 67, 68, 70 Oph), № 29 (72 Oph) в созвездии Змееносца, № 9 (ζ Aql) в созвездии Орла, № 1 (β Cyg), № 4 (γ Cyg), № 3 (η Cyg), № 6 (δ Cyg), № 15, 16 (σ^1 , σ^2 Cyg), № 5 (α Cyg) в созвездии Птицы (Лебедя).

158. Детальный анализ конструкции прецессионного глобуса Птолемея см. в [НАМА, р.890–892]; о традиции конструирования небесных глобусов в античности см. [Schlachter, 1927], а также [Россиус, 1992, с.100–106, 174–178].

159. Очевидно, речь идет о породе дерева, используемой для изготовления деталей механических приборов в период античности [РА, р.405, п. 180].

160. Это необходимо для того, чтобы край круга широты совпадал с большим кругом небесного глобуса.

161. За начало отсчета долготы здесь принят Сириус (α CMa, № 1 в созвездии Большого Пса) как самая яркая звезда на небе; однако использовать Сириус в качестве начала отсчета неудобно, так как он расположен слишком далеко от эклиптики ($\beta = -39\frac{1}{6}^\circ$), поэтому в «Подручных таблицах» за начало отсчета сидерической долготы принят Регул (α Leo, $\beta = +0;10^\circ$), расположенный вблизи эклиптики.

162. Долгота Сириуса в каталоге: $172\frac{1}{3}^\circ$ Близнецов; поэтому при нанесении положений звезд на поверхность глобуса из значений их каталожных долгот должна вычитаться величина $77\frac{1}{3}^\circ$.

163. Мы имеем здесь как бы шарнирный механизм: круг меньшего диаметра, непосредственно примыкающий к поверхности глобуса, по которому отсчитываются широты звезд, крепится к небесному глобусу осями, проходящими через полюсы эклиптики; круг же «меридиана», по которому отсчитываются склонения, крепится к первому кругу осями, удаленными от полюсов эклиптики на величину наклона

эклиптики к экватору $\epsilon = 23;51^\circ$. «Меридианный круг» в терминологии Птолемея — круг склонений в современном понимании.

164. Для эпохи каталога расстояние по долготе Сириуса от точки летнего солнцестояния $\Delta\lambda = 90^\circ - 77\frac{2}{3}^\circ = 12\frac{1}{3}^\circ$, как сказано в тексте.

165. О механизме, позволяющем устанавливать требуемую широту места, см. [НАМА, p.1399, Fig.80].

166. Речь идет об астрологических аспектах — трине, квадратуре и секстиле; Птолемей рассматривает этот вопрос подробнее в «Четверокнижии» (кн.I, гл.12).

167. Эта «призма» не имеет ничего общего с геометрической призмой; Дж.Тумер переводит это слово как «band» — «пояс»; он полагает, что данный термин связан с механической моделью движения планет Птолемея, описанной позднее в «Планетных гипотезах» [РА, p.407, p.186].

168. Указанные явления играют важную роль в гороскопной астрологии.

169. В качестве «меридиана» на северном полюсе может служить любой большой круг небесной сферы, проходящий через зенит.

170. Описывая характер суточного обращения звезд, Птолемей, очевидно, включает в их число и планеты.

171. Совместные восходы и заходы звезд и планет, а также частей зодиака рассматривались как астрологически значимые события. В частности, совместным восходом и заходом посвящена кн.V «Астрономики» Манилия (I в. до н.э.—I в. н.э.).

172. Первый видимый утренний восход звезды — гелиакический восход, согласно современной терминологии.

173. Речь идет о так называемом космическом заходе.

174. Так называемый акронический восход.

175. Гелиакический заход, согласно современной терминологии.

176. Задача об определении времени совместной кульминации (восхода или захода) данной звезды и центра истинного Солнца есть необходимый элемент для решения более сложной задачи об определении дат гелиакических восходов и заходов звезд, которая рассматривается в следующей главе. Она имеет также астрологическое значение, поскольку при ее решении определяется долгота точки эклиптики, кульминирующей или восходящей одновременно с данной точкой небесной сферы, координаты которой известны. В основе ее решения лежат вычислительные методы и теоремы, рассмотренные в кн.I, гл.13, 16, кн.II, гл.7–8. Исчерпывающий анализ проблемы см. в [НАМА, p.32–34, 39, 927–928]. Птолемею принадлежит также небольшой, дошедший до нас не полностью трактат, известный под названием «Фазы», специально посвященный исследованию этой проблемы (см. статью «Птолемей и его астрономический труд»).

177. Т.е. кругам широты, проведенным через полюса эклиптики и звезду.

178. Одновременная кульминация звезды Θ и Солнца M предполагает, что в определенный момент Θ и M окажутся одновременно на меридиане. Но меридиан пересекает экватор под прямым углом; поэтому Θ и M должны находиться на одном и том же круге склонения, чтобы кульминировать одновременно, причем Θ и M имеют одно и то же прямое восхождение α [НАМА, p.32].

179. Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник $NAAZH\Theta N$ (рис. 8.1), для которого справедливо соотношение

$$\frac{Crd\ 2HA}{Crd\ 2AZ} = \frac{Crd\ 2HA}{Crd\ 2A\Theta} \frac{Crd\ 2N\Theta}{Crd\ 2ZN}.$$

В нем $AZ = 90^\circ$, $ZN = 90^\circ$, $HA = AZ + ZH = 90^\circ + ZH$; $HA = HK + KA = 90^\circ + KA$; $A\Theta = KA + K\Theta$; дополнительно находим: $ZH = \epsilon$, $K\Theta = \beta$ (широта звезды, известная из каталога); KA — дуга в прямоугольном сферическом треугольнике EKA с острым углом ϵ , поэтому она задает склонение точки K эклиптики, долгота которой $EK = \lambda$ известна, и может быть найдена по таблице склонений кн.I, гл.15; после этого дуга ΘN — склонение точки Θ — может быть найдена непосредственно из приведенного соотношения.

180. Для полного сферического четырехсторонника $N\Lambda AZH\Theta N$ (рис. 8.1) можно записать еще одно соотношение:

$$\frac{\text{Crd } 2ZH}{\text{Crd } 2HA} = \frac{\text{Crd } 2Z\Theta}{\text{Crd } 2\Theta N} \frac{\text{Crd } 2NA}{\text{Crd } 2\Lambda A}.$$

Здесь $ZH = \varepsilon$, $HA = 90^\circ + \varepsilon$, $\Theta N = \delta$ определена выше; $Z\Theta = ZN - N\Theta = 90^\circ - \delta$; $\Lambda A = EA - EA = 90^\circ - EA$; дуга EA может быть найдена по таблице кн. II, гл. 8 в предположении, что в прямоугольном сферическом треугольнике EKA с острым углом ε она представляет долготу, а две другие дуги — прямое восхождение и склонение. После этого из приведенного соотношения находим NA , что дает нам немедленно $NA = NA + \Lambda A$.

Целью вычислений является определение прямого восхождения звезды $\alpha = NE = EA - NA = 90^\circ - NA$, которое равняется прямому восхождению Солнца $\alpha_\odot$. Зная последнее, мы можем по таблицам времен восхода в «прямой сфере» кн. II, гл. 8 определить долготу Солнца $\lambda_\odot$, а значит, и день, когда Солнце будет кульминировать одновременно со звездой Θ .

Данная задача — единственный пример в «Альмагесте», когда Птолемей производит преобразование эклиптических координат светила λ и β в соответствующие им экваториальные координаты α и δ .

181. Т.е. если произведены вычисления, позволяющие определить точку эклиптики, которая кульминирует одновременно с данной звездой; это означает, что кроме эклиптических координат звезды λ , β нам известны также ее экваториальные координаты α , δ .

182. Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник $A\Theta ENZBA$ (рис. 8.2), для которого справедливо соотношение

$$\frac{\text{Crd } 2ZB}{\text{Crd } 2BA} = \frac{\text{Crd } 2ZH}{\text{Crd } 2H\Theta} \frac{\text{Crd } 2\Theta E}{\text{Crd } 2AE},$$

где $ZB = \varphi$, $BA = 90^\circ - \varphi$, $ZH = 90^\circ - \delta$, $H\Theta = \delta$, $AE = 90^\circ$; поскольку φ и δ известны, дуга ΘE определится однозначно из приведенного соотношения.

Зная дугу ΘE , легко найти точку небесного экватора, пересекающую линию горизонта одновременно с данной звездой; ее прямое восхождение будет равно $\alpha + \Theta E$, где α — прямое восхождение звезды.

183. Дуга небесного экватора $\alpha + \Theta E$ от точки весеннего равноденствия до его восходящей точки E определяет также время восхода ρ соответствующей дуги эклиптики от точки весеннего равноденствия до ее восходящей точки. Поэтому если использовать $\alpha + \Theta E$ как аргумент, то по таблице кн. II, гл. 8 можно найти соответствующее значение долготы точки эклиптики, которая восходит одновременно с данной звездой.

184. Речь идет об определении дуги погружения Солнца, или так называемой *arcus visionis* (h) Солнца, при которой будет иметь место гелиакический восход звезды. Значение h необходимо для определения долготы Солнца, по которой может быть вычислена дата гелиакического восхода. Согласно Птолемею, величина h зависит от блеска звезды, ее широты, угла наклона ν эклиптики к горизонту.

185. Наблюдения позволяют установить дату и точное время гелиакического восхода, на основании которых могут быть определены соответствующие восходящая H и кульминирующая M точки эклиптики (на рис. 8.4 это будут точки E и A), а также долготу Солнца $\lambda_\odot$, что позволит найти дугу EZ («расстояние Солнца под землей по зодиаку», как пишет Птолемей) и по ней из треугольника $EZ\Theta$ дугу погружения ΘZ .

186. Птолемей принимает здесь важное теоретическое допущение, упрощающее вычисления, а именно, что величина h не зависит от географической широты места наблюдения. Оно имеет, по-видимому, вынужденный характер, поскольку в распоряжении Птолемея не было наблюдений, позволяющих определить h для климатов, расположенных севернее и южнее от Александрии [HAMA, p.928].

187. Птолемей рассматривает полный сферический четырехсторонник HΘZEBA, для которого справедливо соотношение

$$\frac{\text{Crd } 2AB}{\text{Crd } 2BH} = \frac{\text{Crd } 2AE}{\text{Crd } 2EZ} \frac{\text{Crd } 2Z\Theta}{\text{Crd } 2\Theta H},$$

где BH = ΘH = 90°; известны дата, точное время и место (φ) наблюдения; отсюда находим долготу восходящей точки эклиптики λ(E), кульминирующей точки эклиптики λ(A) (согласно методам, изложенным в кн. II, гл. 9) и долготу Солнца λ(Z); отсюда AE = λ(E) - λ(A) и EZ = λ(Z) - λ(E); по таблицам склонений кн. I, гл. 15 определяем склонение кульминирующей точки эклиптики δ(A) и таким образом высоту AB = 90° - AH = 90° - (φ + δ(A)). После этого искомая величина ΘZ = h определится непосредственно из приведенного соотношения.

188. Птолемей рассматривает тот же сферический четырехсторонник HΘZEBA и то же соотношение между хордами, согласно теореме Менелая; но теперь ZΘ известна, а требуется найти дугу EZ. Поскольку известны долгота и широта звезды, можно найти (согласно методам кн. VIII, гл. 5) долготу восходящей точки эклиптики λ(E) (рис. 8.4), по ней λ(A), согласно методике кн. II, гл. 9. Отсюда EA = λ(E) - λ(A); AB = BH - AH = 90° - (φ + δ(A)); ΘH = 90°. Вычисленное значение дуги EZ используется затем для нахождения долготы Солнца λ(Z) в момент гелиакического восхода, по которой легко определить соответствующую дату.

189. Прецессия точек равноденствий приводит к постепенному изменению долгот звезд, а следовательно, и дат их гелиакических восходов и заходов.

190. Такого рода «записи», т.е. сообщения о наблюдениях гелиакических восходов и заходов звезд на разных широтах, Птолемей приводит в своей книге «Фазы», сохранившейся только частично.

191. Речь идет о погодных предсказаниях, основанных на наблюдениях восходов и заходов звезд, примеры которых Птолемей приводит в «Фазах»; погодные предсказания были также составным элементом греческих парапегм. О традиции в целом см. [Россиус, 1992, с. 162 и сл.].

КНИГА ДЕВЯТАЯ

1. Не вполне ясно, кого в данном случае имеет в виду Птолемей. Порядок планет, при котором Меркурий и Венера расположены между Луной и Солнцем, встречается до Птолемея у Цицерона [О дивин., II, 43], Витрувия [Архит., IX, 1, 5], Плиния [Естеств. ист., II, 8] и Плутарха [О фиг. жив., 31]; альтернативная гипотеза (Солнце следует за Луной, а за ней планеты) имеется у Платона (Тимей, 38D); позднее этот порядок планет приписывали также Эратосфену и Архимеду [НАМА, р. 690–692].

2. Отсутствие наблюдений прохождений Венеры и Меркурия по диску Солнца в «Планетных гипотезах» объясняется иначе: «Если тело столь малой величины [как планета] соединяется с телом такой большой величины [как Солнце], оно по необходимости будет невидимо вследствие малости соединяющегося тела и наличия частей Солнца, которые остались непокрытыми» [РА, р. 419, п. 2; Goldstein, 1967, р. 6].

3. Движения планет в «Альмагесте» анализируются независимо друг от друга. При этом порядок планет существенного значения не имеет. Совершенно иной подход находим в «Планетных гипотезах», где разработана система геоцентрических планетных расстояний. Каждая планета в ней перемещается в пределах сферического кольца определенной толщины и радиуса. Планетные кольца (сферы) вложены друг в друга таким образом, чтобы не осталось места для пустоты, так что наибольшее геоцентрическое расстояние одной планеты равно наименьшему расстоянию планеты, следующей за ней. В этой системе сфера Меркурия располагается непосредственно за сферой Луны, и, значит, в наименьшем расстоянии Меркурий должен обладать заметным параллаксом, о чем, однако, Птолемей ни разу не упоминает [РА, р. 420, п. 4; НАМА, р. 148].

4. Задача моделирования наблюдаемых движений планет при помощи комбинации некоторого числа равномерных круговых движений, согласно Симпликию, была сформулирована впервые в греческой астрономии Платоном, [Рожанский, 1988, р.229]. Эту задачу Птолемей относит к области математической философии, о которой упоминается в связи с Аристотелем в кн.I, гл.1, с.5.

5. Достоверно известно, что в предшествовавшее Птолемею время в греческой астрономии существовали теории, объяснявшие движения планет геометрически, а также таблицы, описывающие численно их перемещения. Птолемей безусловно знает об этих теориях и таблицах, но считает их неудовлетворительными, см. коммент. 11.

6. Птолемей, таким образом, предполагает, что созданные им планетные таблицы будут иметь весьма ограниченное применение во времени.

7. Речь идет о попятных движениях планет и о неравномерности их передвижения по долготе.

8. Вавилонские «астрономические дневники» VII-I вв. до н.э. содержат два типа сообщений о движениях планет: а) даты синодических планетных явлений (гелиакических восходов и заходов, точек стояний и т.д.); б) расстояния планет относительно так называемых «нормальных звезд» [Aaboe, 1980, р.21-22; Sachs, Hunger, 1988]. Птолемей анализирует возможность использования этих наблюдений для построения своей планетной теории и приходит к отрицательному выводу. Неизвестно, были ли доступны ему сами «дневники» или только выдержки из них в работах Гиппарха и других ученых. Наиболее древние наблюдения планет, которые приводит Птолемей, датируются 272 г. до н.э. и имеют греческое происхождение, см. кн.X, гл.4, с.321-322 и гл.9, с.336-337.

9. Речь идет, по-видимому, о рефракции.

10. Таким образом Гиппарх доказал, что наблюдаемые движения планет нельзя объяснить гипотезами простого эксцентра или эпицикла или их простой комбинацией. Неясно, однако, какие наблюдения он при этом использовал. Птолемей не приводит в «Альмагесте» ни одного планетного наблюдения, выполненного Гиппархом, кроме определения углового расстояния Меркурия от Спикки (гл.7, с.305). Однако список таких наблюдений, составленный Гиппархом, имелся, по-видимому, в его распоряжении.

11. Птолемей, вероятно, имеет в виду таблицы, в которых средние движения планет задавались целыми оборотами планет за некоторый огромный период (как это было принято позднее в средневековой индийской астрономии [Pingree, 1978]), по истечении которого планеты оказывались в начале зодиака, а неравенства определялись с помощью эпициклической или эксцентрической моделей или их комбинаций. О таблицах этого типа в античной астрономии см. [Waerden, 1979; 1985, р.100-103; НАМА, р.698-705; Neugebauer, Van Hoesen, 1959, р.21], а также [PA, р.422, п.12].

12. При определении движений планет (и Луны) по долготе Птолемей пренебрегает наклонами их орбит, как если бы их движение происходило в плоскости эклиптики.

13. Согласно Дж.Тумеру здесь, возможно, речь идет о методе (графическом или кинематическом), который применялся Птолемеем для моделирования движений планет и привел его к понятию экванта [PA, р.422, п.15].

14. Как, например, в теории солнечного апогея, кинематической модели Меркурия, методе определения широт внутренних планет.

15. Здесь, вероятно, описка, правильно должно быть «на круге», поскольку, согласно описанию Птолемея, визирь имелся только на круге широты астралабии, см. кн.V, гл.1, с.136 и коммент. 4.

16. Планетные периоды, которые Птолемей приписывает Гиппарху, имеют на самом деле вавилонское происхождение; они были известны ранее IV в. до н.э. В Селевкийский период они использовались в так называемых «Целевых-годовых текстах». Для верхних планет соотношения имеют вид

$$N = R + A,$$

где N — целое число сидерических лет, R — целое число оборотов планеты по долготе, которое также отсчитывается сидерически, A — целое число синодических периодов. Для нижних планет $N = R$. В «Целевых-годовых текстах» приняты следующие значения параметров:

	Сатурн	Юпитер	Марс	Венера	Меркурий
N	59	71	79	8	46
R	2	6	42	8	46
A	57	65	37	5	145

[Ван-дер-Варден, 1991, с.118–122; НАМА, р.151, 554].

17. Уточнение средних скоростей планет производится Птолемеом в кн.IX, гл.10, кн.X, гл.4, 9, кн.XI, гл.3, 7. При определении эксцентриситетов планетных орбит не требуется знать точные значения средних скоростей, поскольку используемые при этом наблюдения разделены небольшими (в несколько лет) промежутками времени [РА, р.423, п.21; р.484, п.33]. Аналогичный подход встречается в лунной теории, см. кн.IV, гл.6 и коммент. 32 к той же книге.

18. Т.е. для Сатурна, Юпитера и Марса, у которых средние скорости движения по долготе меньше средней скорости Солнца.

19. Соотношения, приведенные Птолемеом, можно представить в следующем виде:

Сатурн	$59^y + 1;45^d = 2 \text{ об.} + 1;43^\circ$,	$A = 57$,
Юпитер	$71^y - 4;54^d = 6 \text{ об.} - 4;50^\circ$,	$A = 65$,
Марс	$79^y + 3;13^d = 42 \text{ об.} + 3;10^\circ$,	$A = 37$,
Венера	$8^y - 2;18^d = 8 \text{ об.} - 2;15^\circ$,	$A = 5$,
Меркурий	$46^y + 1; 2^d = 46 \text{ об.} + 1^\circ$,	$A = 145$,

где $1^y = 365;14,48^d$ — тропический год Гиппарха—Птолемея. Целые обороты в правых частях равенств дают движение планеты по долготе относительно точки весеннего равноденствия.

Эти соотношения, возможно, были получены на основе наблюдений, приведенных в кн.IX, гл.10, кн.X, гл.4, 9 и кн.XI, гл.3, 7. Рассмотрим в качестве примера, следуя Дж.Тумеру, определение средней скорости Сатурна. Птолемею было известно, что Сатурн совершает 57 обращений по аномалии за 59 лет, т.е. проходит по аномалии $57 \times 360^\circ$ за $59 \times 365;14,48^d$. На основании собственных наблюдений (кн.XI, гл.7, с.363), однако, он нашел, что приращение аномалии в $126711;27^\circ (351 \times 360^\circ + 351;27^\circ)$ имеет место за период $133079;45^d (364 \times 365^d + 219;45^d)$. Время, в течение которого Сатурн совершает 57 обращений по аномалии, определяется отсюда как $\frac{57 \times 360^\circ}{126\ 711;27^\circ} \times 133\ 079;45^d = 21\ 551;18^d = 59 \times 365;14,48^d + 1;45^d$, согласно тому, что указано в тексте. Аналогичным образом могут быть получены и другие соотношения из этой группы [РА, р.670–671].

20. В греческом тексте находим число $28\ 857;53^d$, однако точные вычисления дают

$$79 \times 365;14,48^d + 3;13^d = 28\ 857;42,12^d \approx 28\ 857;43^d,$$

что соответствует также величине $28\ 857;41^d$, полученной на основе наблюдений [РА, р.424, п.26].

21. Точные вычисления дают $46 \times 365;14,48^d + 1;2^d = 16\ 802;22,48^d$; возможно поэтому, что в тексте величину $1\frac{1}{30}^d$ нужно заменить на $1\frac{1}{20}^d$ [РА, р.424, п.27].

22. Для Юпитера и Марса деление выполнено неточно; правильные значения: $0;54,9,2,42,55,42^\circ/d$ и $0;27,41,40,11,44,37^\circ/d$. В связи с этим происхождение средних

скоростей движений планет, принятых в «Альмагесте», представляется загадочным. См. по данной проблеме последние исследования [Rawlins, 1987; Moesgaard, 1987].

23. Средние скорости по долготу ω_λ Венеры и Меркурия равны средней скорости Солнца $\omega_\odot$; для верхних планет средняя скорость по долготу равна разности скоростей Солнца и по аномалии, $\omega_\lambda = \omega_\odot - \omega_\alpha$. На основе этих соотношений получены приведенные ниже значения.

24. В некоторых рукописях приводится значение скорости Марса, вычисленное с большей точностью: $\omega_\lambda = 0;1,18,36,32,14,38,52,30^\circ/\text{h}$ [РА, р.426, п.31].

25. Средняя долгота планеты в произвольный момент времени t определяется расстоянием центра эпицикла на деференте относительно точки весеннего равноденствия по правилу, эквивалентному формуле

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_0 + \omega_\lambda(t - t_0),$$

где $\bar{\lambda}_0$ — значение средней долготы в начальную эпоху t_0 (Набонассара 1, тот 1, средний полдень в Александрии). Средняя аномалия планеты отсчитывается на эпицикле от его «среднего апогея» в прямом направлении и определяется согласно формуле

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_0 + \omega_\alpha(t - t_0),$$

где $\bar{\alpha}_0$ — значение аномалии в момент t_0 , ω_α — средняя скорость движения планеты по аномалии. В начале таблицы для каждой планеты указаны значения $\bar{\lambda}_0$ и $\bar{\alpha}_0$, а также долготы апогея эксцента λ_0 в момент t_0 . Долгота апогея, согласно Птолемею, возрастает пропорционально скорости прецессии (1° за 100 лет) и служит основой для нахождения эксцентрической аномалии планеты.

В таблицах учтены исправления, сделанные Дж.Тумером [РА, Р.426, п.33].

26. Кн. III, гл.3, с.85.

27. Чтобы исключить влияние первого неравенства, нужно наблюдать последовательные синодические явления планеты (оппозиции, точки стояния, соединения и т.д.) при фиксированном положении на зодиаке.

28. Наблюдения свидетельствуют о том, что интервал времени от момента наибольшей скорости планеты до средней больше интервала от средней скорости до наименьшей. Этот факт, согласно Птолемею, можно объяснить только при помощи эпициклической модели, предположив, что планета P вращается по эпициклу в том же направлении, в каком центр эпицикла C движется по деференту (рис. 9-А). При этом максимум скорости планеты будет иметь место в апогее эпицикла A , минимум — в перигее D , среднее значение скорости — в точке B касания эпицикла с лучом из центра деферента; при этом дуга AB будет больше дуги BD . О.Нейгебауэр, однако, показал, что эксцентрическая модель также может быть использована для представления движений планет, если придать линии апсид определенное движение [НАМА, р.149–150]. Сам Птолемей описывает подобную модель в кн. XII, гл.1, ограничивая область ее применения верхними планетами, см. также [РА, р.442, п.38].

29. Кн. III, гл.3.

30. Наблюдения однотипных синодических явлений, таких, например, как оппозиция или точки стояния, показывают, что расстояние по долготу между ними меняется неравномерно в зависимости от положения планеты на эклипике и что интервал от точки наименьшей скорости до средней превышает интервал от точки средней скорости до наибольшей. Птолемей прав, полагая, что такую закономерность в равной мере успешно можно объяснить как эксцентрической моделью, так и моделью с эпициклом. Эксцентрическая модель

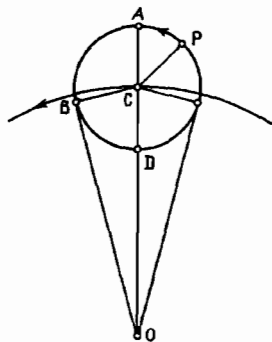


Рис. 9-А

считается более подходящей, вероятно, потому, что в противном случае пришлось бы иметь дело с моделью двойного эпицикла [НАМА, р.149; SA, р.264].

31. Подробнее о кинематической модели Меркурия см. гл.6 этой кн. и коммент. 36.

32. См. гл.2 этой книги, с.279, а также кн.XIII, гл.1, 4.

33. Кинематическая модель, описанная Птолемеем, известна в современной литературе под названием «модели экванта» или «модели биссекции эксцентриситета». Она представляет соединение эпициклической и эксцентрической моделей, где центр Z деферента $AB\Gamma$ смещен относительно центра мира на величину $EZ = e$ (см. рис. 9.1). Центр эпицикла Θ движется по деференту в прямом направлении; его движение равномерно относительно точки, лежащей по линии апсид на расстоянии $\Delta Z = EZ = e$ от точки Z ; соответственно $H\Delta\Theta = \bar{\kappa}$ (средняя эксцентрическая аномалия планеты) возрастает линейно со скоростью ω_λ . Планета обращается по эпициклу равномерно в прямом направлении со скоростью ω_α , а линия апсид AG — вокруг точки E со скоростью прецессии. Термин «эквант», обозначающий точку Δ или круг $AB\Gamma$ с центром в Δ (латинские астрономы использовали выражения *punctum aequans* и *circulus aequans*), не употребляется самим Птолемеем, а имеет более позднее происхождение [НАМА, р.1102]. В модели с эквантом нарушен основополагающий принцип моделирования движений светил, согласно которому используемые круговые движения должны быть равномерными относительно их собственных центров. В данном случае центр эпицикла Θ движется неравномерно относительно центра деферента Z . Птолемей, по-видимому, осознавал противоречивость своей модели, см. в этой связи кн.XIII, гл.2, с.401, а также [Goldstein, 1977, р.166]. Позднее эта особенность его планетной теории стала объектом критики в средневековой исламской астрономии, см. [Pines, 1964]; нарушение основных принципов моделирования упоминается Коперником при перечислении недостатков теорий его предшественников [Коперник, 1964, с.12–13]. Введение экванта существенным образом улучшило точностные характеристики планетной теории Птолемея сравнительно с гипотезами простого эксцентра и эпицикла [Идельсон, 1975, с.141–149], однако Птолемей нигде не объясняет, каким путем он пришел к идее экванта. Различные гипотезы, объясняющие происхождение этой модели, см. в [Evans, 1984; НАМА, р.155; Rawlins, 1987; SA, р.277–279, 306–307].

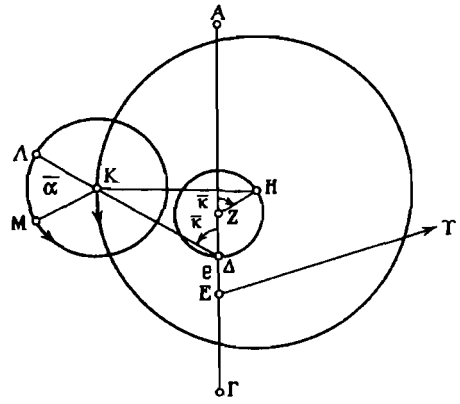


Рис. 9-В

34. Кинематическая модель движения Меркурия поясняется на рис. 9-В, где AG — линия апсид неподвижного эксцентра; E — Земля; EY — направление на точку весеннего равноденствия; Δ — точка экванта, из которой движение центра эпицикла K представляется равномерным; точка Z , середина линии апсид AG , является центром малого круга, по которому движется центр H деферента («подвижного», или «второго» эксцентра, согласно Птолемею), несущего эпицикл, причем $ZH = Z\Delta = \Delta E = e$ (e — эксцентриситет орбиты Меркурия). Положение эпицикла относительно наблюдателя определяется пересечением подвижного деферента и линии ΔK . В схеме реализуются четыре равномерных вращения: а) линия апсид AG вращается в прямом направлении вокруг точки E со скоростью прецессии (равномерно возрастает $\widehat{AEY}$); б) центр деферента H вращается на малом круге с центром Z в обратном направлении; его положение определяется углом $AZH = \bar{\kappa}$ — эксцентрической аномалией планеты; в) линия ΔK , определяющая центр эпицикла

К и одновременно направление на среднее солнце, вращается в прямом направлении так, что $\widehat{K\Delta A} = \bar{\kappa}$; следовательно, эксцентрисческая аномалия $\bar{\kappa}$ возрастает пропорционально средней скорости Солнца; г) планета М на эпицикле вращается равномерно в прямом направлении; ее положение задает угол $\bar{\alpha} = \widehat{AKM}$ (эпициклическая аномалия планеты), отсчитываемый от «среднего апогея» Λ .

35. Апогеи планет, согласно Птолемею, сидерически фиксированы и поэтому движутся относительно точек равноденствий в прямом направлении со скоростью прецессии 1° за 100 лет; один оборот планеты по долготе относительно точек равноденствий не совпадает поэтому с периодом обращения относительно апогея.

36. Кинематические модели, описывающие движение по долготе Венеры и верхних планет, а также Меркурия обладают, согласно Птолемею, осевой симметрией. Это означает, что для любых двух положений эпицикла, симметричных относительно линии апсид, должны получаться одинаковые значения уравнения центра (на рис. 9.3 это $\widehat{HBZ} = \widehat{HAZ}$) и наибольшей элонгации планеты относительно центра эпицикла ($\widehat{\Delta ZM} = \widehat{BZ\Lambda}$). Свойство симметрии орбиты используется Птолемею в кн. IX–XI при определении долгот апогеев и эксцентриситетов планетных орбит на основе наблюдений. Но, как показал К. Уилсон, действительные движения Венеры и Меркурия, как они воспринимаются с движущейся Земли, не соответствуют этим схемам. Для нижних планет положения эпициклов, симметричные относительно линий апсид, должны приводить к несовпадающим значениям уравнений центра и максимальной элонгации (для Венеры, например, разность утренней и вечерней максимальных элонгаций в симметричных точках достигает $1/2^\circ$) [Wilson, 1972, p.211–213, 227–228]. Аналогичное по смыслу доказательство, касающееся гипотез простого эксцентра и эпицикла, содержится в кн. III, гл. 3, с. 90. Детальный анализ птолемеевой теории внутренних планет см. также в [Swerdlow, 1989].

37. Поскольку вертикальные им углы $\widehat{AHB}$ и $\widehat{AHD}$ по определению равны.

38. См. [Евклид, III, 14; т. I, с. 95–96].

39. Поскольку $\widehat{GHE}$ и $\widehat{GZ\Lambda}$ — параллелограммы.

40. Равенство этих величин следует из симметрии; строгое доказательство требует больше места, так как в обоих случаях радиусами деферентов являются не $\widehat{KE}$ и $\widehat{OD}$, а $\widehat{KD}$ и $\widehat{OE}$ [НА, II, 435; РА, р. 448, л. 50].

41. Поскольку $\widehat{B\hat{O}\Delta} = 180^\circ - (\widehat{G\hat{O}B} + \widehat{Z\hat{O}\Delta})$ и $\widehat{B\hat{K}E} = 180^\circ - (\widehat{G\hat{K}B} + \widehat{E\hat{K}N})$, и выше показано, что $\widehat{G\hat{O}B} = \widehat{G\hat{K}B}$ и $\widehat{Z\hat{O}\Delta} = \widehat{E\hat{K}N}$.

42. Согласно Птолемею, наибольшая элонгация Венеры и Меркурия относительно среднего солнца определяется углом между касательной к эпициклу и направлением на его центр. Для наблюдателя, находящегося в А (рис. 9.4), таким образом, центр эпицикла совпадает со средним солнцем. Последнее, однако, неверно, поскольку направление на среднее солнце в схеме Меркурия определяется линиями $\widehat{BE}$ и $\widehat{BD}$ (в схеме Венеры — линиями $\widehat{HD}$ и $\widehat{HB}$, рис. 9.3), а не $\widehat{AE}$ и $\widehat{AD}$. Два определения наибольшей элонгации совпадут, если эксцентриситет орбиты равен нулю. В данном случае Птолемей считает их, по-видимому, эквивалентными, см. [Sawyer, 1977, p.169], однако ниже (в этой кн. гл. 9–10) он принимает совершенно правильно, что направление от наблюдателя на среднее солнце не совпадает в общем случае с направлением на центр эпицикла планеты.

43. Установленное в гл. 6 свойство симметрии орбиты Меркурия позволяет утверждать, что если мы имеем два наблюдения утренней и вечерней наибольших элонгаций планеты относительно среднего солнца одинаковой величины ($\widehat{\Delta A\Lambda} = \widehat{EAM}$, рис. 9.4), то соответствующие им положения центра эпицикла симметричны относительно линии апсид ($\widehat{G\hat{V}\Delta} = \widehat{G\hat{V}E}$). Линия апсид проходит посередине между двумя положениями центра эпицикла. Однако Ф. Савиэр показал, что равенства двух средних максимальных элонгаций недостаточно для определения местонахождения линии апсид в схеме Птолемея, поскольку угол между касательной к эпициклу и направлением на среднее солнце изменяется в ней непропорционально средней эксцентрисической аномалии [Sawyer, 1977, p.170].

44. 132, февраль 2; опорная звезда — α Тау; ее долгота в каталоге — $12;40^\circ$ Тельца (с.239); следовательно, Птолемей зафиксировал на астролябии расстояние по долготе $71;40^\circ = (360^\circ - 331^\circ) + 42;40^\circ$.

Всего в «Альмагесте» при построении теорий движения Меркурия и Венеры используются 22 наблюдения максимальной элонгации. Точность и достоверность этих наблюдений неоднократно анализировались в современной астрономической и историко-астрономической литературе. См. по этому вопросу [Czwalina, 1959; Moesgaard, 1974, p.100; Newton, 1976; Ньютон, 1985; PA; Swerdlow, 1989; Wilson, 1972] и др. Из работы [Swerdlow, 1989, p.37, 45, 56] мы приводим таблицу параметров, характеризующих наблюдаемые элонгации. Столбец 1 таблицы содержит дату наблюдения с указанием, какая элонгация имела место — утренняя (У) или вечерняя (В); 2 — среднюю долготу Солнца $\bar{\lambda}_\odot$, указанную Птолемеем; 3 — наблюдаемое значение максимальной элонгации $\eta_{\max}$; 4 — максимальную элонгацию, вычисленную на основе теории Птолемея для проверки точности его вычислений; 5 — элонгацию η , которая на самом деле имела место в указанный Птолемеем момент; 6 — дату истинной максимальной элонгации; 7 — величину истинной максимальной элонгации; величины в столбцах 5, 6 и 7 вычислены на основе данных о движении планет по таблицам [Tuckerman, 1962; 1964].

Дата	Долгота Солнца $\bar{\lambda}_\odot$	Набл. $\eta_{\max}$	Выч. $\eta_{\max}$	Совр. знач. $\eta(t)$	Совр. дата $\eta_{\max}$	Совр. знач. $\eta_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7
МЕРКУРИЙ						
132, февр. 2 В	309;45°	21;15°	20;56°	19;46°	февр. 1	19;50°
134, июнь 4 У	70; 0	— 21;15	— 21;18	— 19;52	июнь 10	— 21;20
138, июнь 4 В	70;30	26;30	25;52	25;35	июнь 8	25;53
141, февр. 2 У	310; 0	— 26;30	— 26;35	— 25;15	февр. 1	— 25;17
134, окт. 3 У	189;15	— 19; 3	— 18;33	— 19;35	сент. 29	— 20;13
135, апр. 5 В	11; 5	23;15	22;58	22;11	апр. 3	22;19
130, июль 4 В	100; 5	26;15	26;29	26;14	июль 3	26;15
139, июль 5 У	100;20	— 20;15	— 20;25	— 19;47	июль 8	— 20;19
— 261, февр. 12 У	318;10	— 25;50	— 26;21	— 25;23	февр. 15	— 25;40
— 261, апр. 25 В	29;30	24;10	23;57	23;46	апр. 28	24; 1
— 256, май 28 В	62;50	26;30	25;59	25;59	май 26	25;33
— 261, авг. 23 В	147;50	21;40	22;20	23;57	авг. 25	24; 3
— 236, окт. 30 У	215;10	— 21; 0	— 20;11	— 20;41	окт. 27	— 21; 4
— 244, нояб. 19 У	234;50	— 22;30	— 22; 4	— 21;59	нояб. 20	— 22; 3
ВЕНЕРА						
132, март 8 В	344;15	47;15	47;10	46;50	февр. 21	47;58
140, июль 30 У	125;45	— 47;15	— 46;32	— 46;11	июль 14	— 46;55
127, окт. 12 У	197;52	— 47;32	— 47;24	— 47; 7	сент. 22	— 48;21
136, дек. 25 В	272; 4	47;32	47;47	46;52	дек. 13	47;31
129, май 20 У	55;24	— 44;48	— 44;10	— 44;36	май 6	— 44;52
136, нояб. 18 В	235;30	47;20	45;54	45;34	дек. 13	47;31
134, февр. 18 У	325;30	— 43;35	— 43;32	— 44;33	фев. 15	— 44;33
140, февр. 18 В	325;30	48;20	48;16	47;59	фев. 19	47;59

45. Максимальная элонгация здесь и во всех остальных случаях определяется как разность истинной долготы планеты и средней долготы Солнца (см. также коммент. 44); в данном случае $331^\circ - 309;45^\circ = 21;15^\circ$.

46. 134, июнь 4; опорная звезда, как и в наблюдении [1], — α Тау; расстояние по долготе между α Тау и Меркурием, зафиксированное на астробии, $6;5^\circ$. См. также коммент. 44.

47. 138, июнь 4; опорная звезда — Регул, долгота в каталоге: $21\frac{1}{2}^\circ$ Льва; наблюденное на астробии расстояние по долготе $34;30^\circ$. Анализ наблюдения см. в коммент. 44.

48. 141, февраль 2; опорная звезда — α Ско; долгота в каталоге: $12;40^\circ$ Скорпиона (см. с.246); зафиксированное на астробии расстояние $60;50^\circ$. См. также коммент. 44. Это самое позднее из известных нам наблюдений Птолемея.

49. Птолемей в данном случае пренебрегает разностью положений в $\frac{1}{4}^\circ$.

50. В «Альмагесте» восемь наблюдений (Меркурия, Марса и Юпитера) датируются по календарю Дионисия, неизвестному по другим упоминаниям. Календарь реконструирован А. Бёком на основе информации, содержащейся в «Альмагесте», см. [Voelckh, 1863, S.286–340]. Согласно его реконструкции, «эра Дионисия» началась 26 июня 285 г. до н.э. вблизи летнего солнцестояния. Годы с номерами $4n$, $4n+1$ и $4n+2$ содержат по 365 дней, а с номерами $4n+3$ — по 366 дней. Год подразделялся на 12 месяцев, названных по именам знаков зодиака, начиная с Рака. Первые одиннадцать месяцев продолжительностью по 30 дней каждый, 12-й месяц — 35 или 36 дней. В тексте зафиксированы названия семи месяцев: таврон (Телец), дидимон (Близнецы), леонто́н (Лев), парфенон (Дева), скорпион (Скорпион), айгон (Козерог) и гидрон (Водолей). О календаре Дионисия, кроме указанной работы, см. [НАМА, р.1066–67; РА, р.13–14; Waerden, 1984].

Номер дня в месяце $\kappa\theta'$ (29), зафиксированный в греческих рукописях [Hei II 244, 18], исправлен А.Бёком при обсуждении календаря Дионисия на $\kappa\alpha'$ (21); исправление принято современными исследователями [РА, р.450].

51. Здесь и на с.313 Птолемей использует архаическое название Меркурия ($\Sigma\tau\acute{\iota}\lambda\beta\omega\nu$), употреблявшееся в эллинистический период, оба раза в сочетании с календарем Дионисия.

52. –261, февраль 12; опорная звезда — δ Сар, долгота в каталоге $26\frac{1}{3}^\circ$ (с.248), из которой следует вычесть 4° , чтобы учесть прецессию за промежуток около 400 лет; диаметр Луны приблизительно соответствует $\frac{1}{2}^\circ$. См. также коммент. 44.

53. Описание этого наблюдения не вполне ясно. В переводе Дж. Тумера оно звучит следующим образом: «В том же самом 23 году по календарю Дионисия, 4 таврона вечером [Меркурий] был на 3 луны позади [т.е. в прямом направлении] от прямой, проходящей через рога Тельца, и казалось, что он при прохождении был более чем на три [диаметра] луны к югу от звезды общей [Возничему и Тельцу]» [РА, р.450–451].

–261, апрель 25; «рога Тельца» — ξ и β Тау, причем последняя звезда входит также в созвездие Возничего (с.233); координаты, исправленные на прецессию (-4°), для момента наблюдения: $\lambda_1 = 23\frac{2}{3}^\circ$ Тельца, $\beta_1 = -2\frac{1}{2}^\circ$ и $\lambda_2 = 21\frac{2}{3}^\circ$ Тельца, $\beta_2 = +5^\circ$ (рис. 9-С). Птолемей приравнивает долготу Меркурия долготе ξ Тау, а широту — величине $\beta_2 = -1\frac{1}{2}^\circ$. См. также коммент. 44.

54. В греческом тексте ошибочно приводится дата «с 30-го числа месяца Фаменот на 1-е», исправленная в современных исследованиях [РА, Р 451, п.63].

55. –256, май 28; опорные звезды — α и β Гем (с.240); координаты, исправленные на прецессию (-4°), для момента наблюдения соответственно: $\lambda_1 = 19\frac{1}{3}^\circ$, $\beta_1 = +9\frac{1}{2}^\circ$ и $\lambda_2 = 22\frac{2}{3}^\circ$, $\beta_2 = +6\frac{1}{4}^\circ$ (рис. 9-D). См. также коммент. 44.

Расстояние между звездами находим при помощи теоремы Пифагора:

$d = \sqrt{(\lambda_2 - \lambda_1)^2 + (\beta_2 - \beta_1)^2} = 4\frac{2}{3}^\circ$; расстояние до Меркурия вдоль прямой, проходящей через обе звезды, $2d - \frac{1}{3}d_\zeta = 9\frac{1}{6}^\circ$; приращение долготы Меркурия

относительно β Gem $x = \lambda_{\frac{1}{2}} - \lambda_2$ находим из отношения $\frac{x}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{\beta_2 - \beta_1}$, откуда $x = 6;33' \approx 6\frac{1}{2}'$ и $\lambda_{\frac{1}{2}} = 22\frac{1}{3}' + 6\frac{1}{2}' = 29\frac{1}{3}'$, как указано в тексте.

56. Для определения положения линии апсид требуются два наблюдения максимальной утренней и вечерней элонгаций равной величины. Из наблюдения [5] Птолемей нашел, что максимальная утренняя элонгация Меркурия, равная $25;50'$, имела место при $\bar{\lambda}_{\odot} = 18;10'$ Водолея. Но в наблюдениях [6] и [7] планета находилась на расстояниях соответственно $24;10'$ и $26;30'$ от среднего солнца. Полагая, что максимальная элонгация изменяется линейно со средней долготой Солнца, Птолемей решает обратную задачу: находит долготу, для которой наибольшая

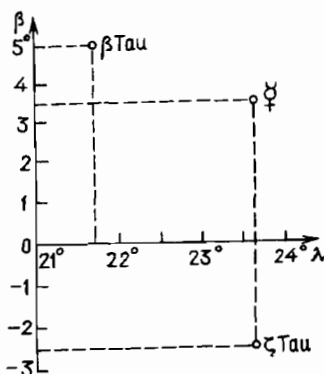


Рис. 9-С

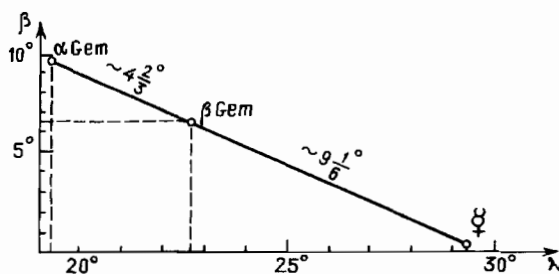


Рис. 9-Д

элонгация равна $25;50'$. Соответственно $\bar{\lambda}_{\odot} = \frac{33\frac{1}{3} \times 12\frac{1}{3}}{2\frac{1}{3}} = 23;49 \approx 24'$. Округление очень грубое, но, как заметил Дж.Тумер, линейная интерполяция здесь также является грубым приближением [РА, р.452, п.65].

57. -261, август 23; опорная звезда — Спика (с.244); долгота, исправленная за прецессию ($-4'$), $\lambda = 22\frac{1}{3}'$ Девы, откуда $\lambda_{\frac{1}{2}} = 22\frac{1}{3}' - 3\frac{1}{6}' = 19\frac{1}{2}'$, как указано в тексте. Анализ наблюдения см. в коммент. 44. Это наблюдение, как и все остальные, из этой серии, вероятно, входили в список наблюдений планет, составленный Гиппархом, о котором Птолемей сообщает в гл.2 этой кн., с.279.

58. Это и следующие наблюдения датированы в халдейской эре, которая совпадает с Селевкидской эрой, применявшейся в клинописных текстах, с той разницей, что названия месяцев македонские, и начальная эпоха приходится на октябрь 311 г. до н.э. [НАМА, р.159, Бикерман, 1975, с.16, 66]. Дж.Тумер, однако, полагает, что ее начало следует отнести к апрелю 311 г. до н.э. [РА, р.13].

59. -236, октября 30; опорная звезда α Lib; долгота (с.245), исправленная на прецессию за период 473 года: $\lambda = 18' - 3;44' = 14;16'$ Весов (текст: $14;10'$ Весов). «Локоть» — вавилонская мера угловых расстояний, равная $2'$ (иногда $2\frac{1}{2}'$) [АСТ I, р.39-40]. В этом наблюдении мы имеем пример, когда упоминание о чаше Весов соединяется с архаическим названием созвездия — Клешни. См. коммент. 1 кн.VIII, а также коммент. 44 наст. кн.

Наблюдения [9] и [10] имеют безусловно вавилонское происхождение, на что указывают использование «локтя», Селевкидской эры, а также то, что опорные звезды, относительно которых фиксируется положение планеты, входят в список так называемых «нормальных звезд» [Sacks, Hunger, 1988, р.17-19; РА, р.453, п.70; Ван-дер-Варден, 1991, с.108, 354, коммент. 42].

60. -244, ноябрь 19; опорная звезда — β Sco; долгота в каталоге (с.246) $\lambda = 6\frac{1}{3}^\circ$ Скорпиона, которую Птолемей уменьшает на 4° , чтобы учесть прецессию за 381 год, отсюда $\lambda_2 = 2\frac{1}{3}^\circ$ Скорпиона, что не вполне точно. См. также коммент. 44.

61. Вычисления аналогичны рассмотренным в коммент. 56.

62. Знак зодиака не указан, поскольку еще неизвестно точно, где находится апогей — в Овне или Весах.

63. Шесть наблюдений Меркурия III в. до н.э., рассмотренные в настоящей главе, представляют единственное основание для теории движения планетных апогеев, принятой в «Альмагесте». Один этот факт показывает, на каком зыбком фундаменте Птолемей порой утверждал свою астрономическую теорию.

64. Речь идет об определении расстояния центра эпицикла К относительно наблюдателя, находящегося в Е (см. рис. 9.2). Здесь «также» относится к Луне, о которой особо упоминается в этой связи в гл.5 этой кн., с.299.

65. Поскольку наибольшая элонгация Меркурия относительно Солнца невелика, он бывает виден на утреннем или вечернем небе недолго, когда видны лишь наиболее яркие звезды. Такие звезды не часто располагаются в непосредственной близости от Меркурия, что служило неперенным условием месопотамских наблюдений («древних» для Птолемея). Однако астрология позволяет фиксировать любые расстояния на небесной сфере, и положения Меркурия поэтому можно измерить относительно какой-либо другой звезды, наблюдаемой в то же время и координаты которой известны.

66. 134, октябрь 3; опорная звезда Регул, долгота в каталоге $22\frac{2}{3}^\circ$ Льва (с.242); на астроблиии было измерено расстояние $47;42^\circ$. См. также коммент. 44.

67. 135, апрель 5; опорная звезда α Tau; долгота в каталоге $12\frac{2}{3}^\circ$ Тельца (с.239); измеренный на астроблиии интервал $8\frac{1}{3}^\circ$. Анализ наблюдения см. в коммент. 44.

68. В предыдущей главе показано, что линия апсид эксцента проходит через точки эклиптики 10° Овна и 10° Весов. Два наблюдения Птолемея произведены таким образом, чтобы средние долготы Солнца в моменты наибольших элонгаций совпадали с установленными выше. Основываясь на свойстве симметрии орбиты, Птолемей удваивает измеренную величину наибольшей элонгации, чтобы получить видимый диаметр эпицикла. При этом перигею соответствует больший диаметр, апогею — меньший. Такое удвоение, однако, допустимо лишь в том случае, если положение линии апсид определено верно. В противном случае (а именно этот случай имеет место) Птолемей должен был получить неодинаковые значения утренней и вечерней максимальных элонгаций в указанных точках. Но, как заметил О.Гингерич, произвести требуемые наблюдения Птолемей не имел возможности, поскольку условия видимости Меркурия вечером в октябре и утром в апреле на широте Александрии не позволяют надежно определить наибольшую элонгацию. Из четырех возможных наблюдений максимальной элонгации Меркурия в точках 10° Овна и 10° Весов Птолемей приводит лишь два, соответствующие наилучшей видимости Меркурия [Gingerich, 1983].

69. Таблица хорд, кн.I, гл.11.

70. Обозначим, следуя О.Нейгебауэру, $ZA = Z\Gamma = R'$, $BZ = e'$, $\widehat{AB\Delta} = \alpha$, $\widehat{GBE} = \beta$, $A\Delta = GE = r'$, тогда

$$BA = R' + e' = 120^p,$$

$$r' = \text{crd } 2\alpha,$$

$$B\Gamma = R' - e' = 120^p \frac{\text{crd } 2\alpha}{\text{crd } 2\beta}.$$

Подставляя величины $\alpha = 19;3^\circ$, $\beta = 23;15^\circ$, находим вместе с Птолемеем

$$r' = 39;9^p, \quad R' - e' = 99;9^p, \quad e' = 10;25^p,$$

[НАМА, p.161].

71. С.300 и коммент. 34.

72. Наблюдения [1] и [4] в гл.7, с.303; наблюдение [4] имеет двойную датировку: «утром с 18-го на 19-е число».

73. Речь идет о наблюдениях [2] и [3] в гл.7, с.303.

74. В.Хартнер показал, что центр эпицикла в птолемеевской модели Меркурия перемещается по кривой, близкой к эллипсу, у которого центр находится в точке Δ (рис. 9.2), и полуоси $a = R + e$ и $b = R - e$, где $R = 60^p$ — радиус деферента, $e = 3^p$ — эксцентриситет. Определив геоцентрические расстояния центра эпицикла от наблюдателя $s = KE$ как функцию средней эксцентрической аномалии $\kappa = \widehat{\Delta\hat{K}}$, он показал, что s действительно имеет минимумы при $\bar{\kappa} \approx \pm 120^\circ$ [Hartner, 1955, p.109–115]. Модель Птолемея, таким образом, идеально соответствует сформулированному им тезису о двухперигейности орбиты Меркурия, см. также [НАМА, p.163–164, 168–169; SA, p.314–315, 320–324].

75. В соответствии со схемой движения Меркурия, описанной в гл.5, в этой главе определяются: а) положение на линии апсид точки экванта (Δ на рис. 9.2, Н на рис. 9.6), из которой движение центра эпицикла представляется равномерным; б) радиус малого круга (ZH на рис. 9.2) с центром в точке Z, по которому равномерно движется в обратном направлении центр деферента, несущего эпицикл.

76. 130 июль 4; опорная звезда Регул; долгота в каталоге $2\frac{1}{2}^\circ$ Льва (с.242). Анализ наблюдения см. в коммент. 44.

Другие наблюдения, выполненные Теоном, приводятся Птолемеем в кн.Х, гл.1–2, с.316,317. Фигура Теона, старшего современника Птолемея, отождествляется обычно с Теоном Смирнским (ум. ок. 130–140), жившим приблизительно в то же время [SA, p.416]. Это отождествление, однако, не является единственно возможным; Теон — одно из самых распространенных имен греко-римского Египта [НАМА, p.949–950; PA, p.456, п.83].

77. Дата наблюдения (утро 24 месоре, или 8 июля) и приведенная средняя долгота Солнца не согласуются друг с другом. Точное совпадение получим, исправив дату на «утро с 20 на 21 месоре», как это делают Дж.Тумер и другие исследователи. Ошибки такого рода (в номере дня перепутаны α и δ) очень распространены в греческих рукописях [НАМА, p.162, п.3; PA, p.456, п.84; Wilson, 1972, p.246–247, п.28]. Юлианская дата (после исправления) 139, июль 5; опорная звезда α Тау; долгота в каталоге $12\frac{2}{3}^\circ$ Тельца (с.239). Анализ наблюдения см. в коммент. 44.

78. Максимальная элонгация определяется как расстояние между касательной к эпициклу и направлением $\widehat{B\hat{O}}$ на среднее солнце из центра мира В. В данном случае $\widehat{B\hat{O}}$ перпендикулярна к линии апсид $\widehat{A\hat{G}}$ и не проходит через центр эпицикла Θ . Наибольшая вечерняя элонгация $\alpha = \widehat{KB\hat{O}} = 26;15'$, наибольшая утренняя элонгация $\beta = \widehat{LB\hat{O}} = 20;15'$, откуда видимый диаметр эпицикла $\widehat{KB\hat{A}} = \alpha + \beta = 46;30'$. Штриховая линия $\widehat{B\hat{O}}$ на рис. 9.6, указывающая направление на среднее солнце, проведена нами.

79. Таким образом, расстояние от наблюдателя до центра эпицикла в квадратурах совпадает с расстоянием до точки, отстоящей от апогея на 180° (с.307). Величина $\widehat{B\hat{O}}$ определяется в частях $BA = 120^p$.

80. Пусть на рис. 9.6 аномалия $\delta = \widehat{H\hat{B}} = \widehat{\Theta\hat{B\hat{O}}}$, $\widehat{KB\hat{O}} = \alpha$ и $\widehat{LB\hat{O}} = \beta$, откуда $\widehat{KB\hat{A}} = \alpha + \beta = 2\widehat{\Theta\hat{B\hat{A}}} = 2\beta + 2\delta$ и, следовательно, $2\delta = \alpha - \beta$.

81. Чтобы проверить модель Меркурия и ее параметры, Птолемей теоретически определяет видимый диаметр эпицикла в точках наименьшего расстояния при значении средней эксцентрической аномалии $\bar{\kappa} = \pm 120^\circ$, который должен совпасть с наблюденной величиной $47;45'$ (с.307).

82. Как и следовало ожидать, расстояние $\Delta Z = 55;34^p$ при $\bar{\kappa} = \pm 120^\circ$ оказалось меньше $\Delta E = 57^p$ при $\bar{\kappa} = 180^\circ$.

$$99. \hat{A}\hat{\Delta}Z = \hat{\Delta}\hat{\Gamma}Z - \hat{\Delta}Z\hat{\Gamma}.$$

$$100. \hat{\Lambda}\hat{\Delta}A = 3\frac{1}{3}^\circ \text{ Скорпиона} - 6^\circ \text{ Весов} = 27;20^\circ \text{ и } Z\hat{\Delta}\hat{\Lambda} = Z\hat{\Delta}A - \hat{\Lambda}\hat{\Delta}A.$$

101. Точные вычисления дают $100;4^\circ$ [РА, р.466, п.103].

$$102. \hat{\Theta}Z\hat{\Lambda} = Z\hat{\Lambda}\hat{\Xi} - Z\hat{\Delta}\hat{\Lambda}, \quad KZ\hat{\Lambda} = \hat{\Theta}Z\hat{\Lambda} - \hat{\Theta}ZK.$$

103. Из соотношения «145 синодических обращений равно 46 тропическим годам» (гл.3, с.281) вытекает, что одно синодическое обращение Меркурия происходит за $115;52^d$, а 63 обращения — приблизительно за 20 египетских годов ($115;52^d \times 63 = 7299,54 \approx 7300^d = 20 \times 365^d$), и, следовательно, 400 египетских годов содержат $20 \times 63 = 1260$ синодических обращений по аномалии, а оставшиеся 8^y283^d — 8 синодических обращений [НАМА, р.167].

104. Относительно метода, каким была получена средняя скорость движения Меркурия по аномалии, принятая в таблицах, см. коммент. 19. При определении угла $\bar{\alpha}$, соответствующего двум приведенным наблюдениям, Птолемей допустил несколько погрешностей вычисления и округления. Их влияние на конечный результат не является пренебрежимо малым. Согласно Дж.Тумеру, эти погрешности таковы:

	Птолемей	Точное значение
Набл. I	212;34°	212;29,18°
Набл. II	99;27°	99;33,31°
$\Delta\bar{\alpha}$	246;53°	247; 4,13°

Разность приращений $\Delta\bar{\alpha} = 0;11^\circ$, распределенная на интервал около 400 лет, меняет среднюю скорость движения по аномалии на $+0;0,0,0,16^\circ/d$ [РА, р.467, п.104].

105. Речь идет о наблюдении Меркурия утром 19 тота 484 года Набонассара (с.313).

106. В греческом тексте ошибочно указано $18\frac{1}{3}^h$ [Hei II 294,5]. Исправление подтверждается как приращением средней долготы, приведенным ниже, так и интервалом между двумя наблюдениями, указанным выше [НА II, 155 а); РА, р.467, п.105].

КНИГА ДЕСЯТАЯ

1. Как и в теории Меркурия (кн. IX, гл. 7 и коммент. 43), Птолемей исходит из предположения, что орбита Венеры симметрична относительно линии апсид эксцентра. Положение апогея на эксцентре поэтому может быть определено на основе двух наблюдений видимой долготы Венеры в моменты ее максимальных элонгаций (восточной и западной) равной величины. Критический анализ метода Птолемея см. в [Sawyer, 1977].

Выражение «в одну и ту же сторону», согласно Дж.Тумеру, означает «оба в направлении к апогею» или «оба в направлении к перигею» [РА, р.446, п.46].

2. 132, март 8. Для определения параметров орбиты и скорости Венеры Птолемей использует восемь наблюдений максимальной элонгации Венеры. Библиографию вопроса и таблицу параметров наблюдений см. коммент. 44 к кн. IX. Особый интерес в этой связи представляет работа в [Wilson, 1972].

3. В звездном каталоге Птолемея Плеяды занимают по долготе интервал от $2\frac{1}{2}^\circ$ до $3\frac{3}{4}^\circ$ Тельца (с.239, звезды №30–33 в созвездии Тельца); их «длина», таким образом, составляет $1\frac{1}{2}^\circ$, долгота средней точки $2\frac{1}{4}2^\circ \approx 3^\circ$; долгота Венеры $3^\circ - 1\frac{1}{2}^\circ = 1\frac{1}{2}^\circ$ Тельца. Приведенное Птолемеем значение средней долготы Солнца позволяет определить с точностью до получаса время максимальной элонгации; согласно К.Мосгору, $t = 6;30^h$ после полудня. См. также коммент. 44 к кн. IX.

4. У Гейберга ошибочно «в 14 году» (δ') вместо правильной величины «в 4 году» (δ'); исправлено К.Манициусом [НА II, 156, 412]. Исправление подтверждается приведенным ниже значением средней долготы Солнца и встречается также в некоторых рукописях [РА, р.469, п.4].

5. 140, июль 30; опорная звезда, относительно которой фиксируется положение Венеры, ζ Gem.

6. Диаметр Луны здесь, как обычно в вычислениях, не требующих высокой точности, считается равным 1° . Время наблюдения, согласно приведенной средней долготы Солнца, $t = 19;30^h$ после полудня. См. также коммент. 44 к кн.IX.

7. 127, октябрь 12; опорная звезда β Vir.

8. В каталоге Птолемея долгота β Vir (№5 в созвездии Девы) равна 29° Льва. Из этой величины Птолемей вычитает $1/12^\circ$ (поправка за прецессию за 11 лет), прибавляет $1 1/2^\circ$ («длина» Плеяд, см. выше коммент. 3) и вычитает $1/12^\circ$ (видимый диаметр Венеры; в «Планетных гипотезах» эта величина принята равной $3'$ [Goldstein, 1967, p.8, п.5]). Время, соответствующее приведенной средней долготы Солнца, $t = 18;30^h$ после полудня. См. также коммент. 44 к кн.IX. При определении средней долготы Солнца Птолемей использует здесь и далее в этой главе название знака зодиака Весы ($\zeta\upsilon\beta\rho\acute{o}\varsigma$), а не как обычно — Клеши ($\chi\eta\lambda\alpha\iota$), см. также коммент. 1 к кн. VIII.

9. 136, декабрь 25; здесь, согласно Манициусу, опорная звезда — φ Aqr, упоминаемый четырехугольник звезд — φ , χ , ψ' , ψ^3 Aqr; «следующая (звезда), находящаяся на прямой линии с [двумя] в паху Водолея» — это соответственно λ и ι , σ Aqr [НА II, 158]. Описание в тексте расходится с описанием звезд в каталоге. По мнению Дж.Тумера, данное наблюдение предшествует времени создания каталога [РА, p.470, п.7].

10. 2/3 диаметра Луны составляют $20'$, а не $24'$, как пишет Птолемей. Возможно, здесь, как и в предыдущем случае (коммент. 8), он учитывал диаметр Венеры [РА, p.470, п.9].

11. Время наблюдения, определенное по средней долготы Солнца, $t = 6;30^h$ после полудня. См. также коммент. 44 к кн.IX. А.Чвалина показал, что неточность в определении величины максимальной элонгации Венеры в $10'$ приводит к ошибке в дате порядка $7,7^h$ [Czwalina, 1959, p.17]. Действительная же погрешность в величине элонгации у Птолемея, как правило, существенно выше. Ошибки в датах поэтому не могут считаться признаком неподлинности наблюдений.

12. По оценке Уилсона, результат Птолемея для долготы апогея Венеры (55°) отличается от величины, полученной на основе современных вычислений ($57^\circ 18'$), всего лишь на $2^\circ 18'$ или даже на $1^\circ 12'$, если учесть ошибку равенства Птолемея, [Wilson, 1978, p.214]. Этот вывод как будто свидетельствует о том, что в основе определения долготы апогея лежат подлинные наблюдения. Вместе с тем очевидно, что Птолемей очень свободно обращался с понятием «максимальная элонгация». Так, для года 136 он приводит две разные даты максимальной элонгации, различающиеся на 37^d (см. с.317 и коммент. 9, 15); причем о каждой из них сказано, что Венера наблюдалась в «наибольшем расстоянии от Солнца» [НАМА, p.153, п.1]. Совпадение результатов двух определений долготы апогея, произведенных с помощью двух пар «независимых» наблюдений, заставляет предполагать, что по крайней мере одно из этих наблюдений подогнано Птолемеем под результат [Ньютон, 1985, с.305].

13. В предыдущей главе показано, что линия апсид эксцента пересекает эклиптику в двух точках с долготами 25° Тельца и 25° Скорпиона. Неизвестно, однако, какая из них представляет апогей, а какая перигей эксцента. Задача решается на основе двух наблюдений максимальной элонгации Венеры таких, что среднее солнце, совпадающее с центром эпицикла, находится на линии апсид или поблизости от нее. Апогею соответствует наименьшая из двух величин максимальной элонгации.

14. 129, май 20. Три звезды в голове Овна — α , β , γ Agi; опорные звезды, фиксирующие линию отсчета положения Венеры, — γ Agi и μ Cet; их координаты в каталоге Птолемея (№1 и 13 в созвездии Овна) соответственно $\lambda_1 = 62 2/3^\circ$ Овна, $\beta_1 = +7 1/3^\circ$; $\lambda_2 = 15^\circ$ Овна, $\beta_2 = -5 1/4^\circ$. Изменение долготы вследствие прецессии за

8 лет $0;4,48^\circ$, однако Птолемей использует в первом случае величину $0;4^\circ = 1/15^\circ$, во втором — $1/4^\circ$; последняя явно искажена; должно быть, по-видимому, также $1/15^\circ$, и долгота $141\frac{1}{5} = 14(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{10})$ (Манициус предлагает другой вариант исправления: $141\frac{1}{12} = 14(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{12})$, который отвергается Тумером [НА II, 159; РА, р.471, п.10]). Положение опорных звезд и Венеры относительно эклиптики, согласно Манициусу, см. на рис. 10-А, где $\gamma A/\mu = 2:1$, $\angle A = 12\frac{1}{2}^\circ$, причем $\angle A \perp \gamma\mu$. При таком расположении, однако, координаты Венеры должны отличаться от приведенных Птолемеем; мы нашли $\lambda_V = 11;31^\circ$, $\beta_V = -1;46^\circ$.

15. Точное время наблюдения, согласно приведенной величине средней долготы Солнца, $t = 17^h$ после полудня. См. также коммент. 44 к кн. IX.

16. 136, ноябрь 18; опорные звезды — α , ν , β Сар (в каталоге №1-3 созвездия Козерога).

17. Время наблюдения: $t = 4^h$ после полудня; см. также коммент. 44 к кн. IX.

18. «Неподвижным», т.е. не меняющим свое положение относительно звезд. Здесь же как будто предполагается существование большого числа наблюдений максимальной элонгации, покрывающих всю эклиптику; 8 наблюдений, используемых в настоящей книге, представляют, по-видимому, только выборку из этого множества, см. по этому поводу [НАМА, р.158].

19. Имеем соотношение $\frac{120^P}{88;13} = \frac{x}{84;33}$, откуда $EG = x = 120^P \cdot \frac{84;33}{88;13} = 115;1^P$.

20. Вычисления Птолемея неточны; правильные значения: эксцентриситет (радиус эксцентра $R = 60^P$) $e = 1;16,48^P$, радиус эпицикла $r = 43;10,48^P$ [НАМА, р.154].

21. «И здесь» — как и в рассмотренной выше теории Меркурия, кн. IX, гл. 5, 9; введенное Птолемеем различие между «центром эксцентра» и «центром равномерного вращения» (названного позднее «эквантом») представляет одно из наиболее замечательных достижений его планетной теории; неизвестно, что побудило его сделать этот шаг. Отправной точкой, вероятно, послужили наблюдения Марса [Evans, 1984; РА, р.474, п.12], и лишь затем схема с эквантом была распространена на другие верхние планеты и Венеру.

22. 134, февраль 18; время наблюдения: $t = 18^h$ после полудня; см. коммент. 44 к кн. IX.

23. 140, февраль 18; опорная звезда Альдебаран; время наблюдения, согласно приведенной средней долготы Солнца, $t = 5;30^h$ после полудня; см. также коммент. 44 к кн. IX.

24. Здесь, как и в кн. IX, гл. 9, рис. 9.6, направление на среднее солнце $\overline{B\odot}$ (обозначено штриховой линией на рис. 10.2) не совпадает с направлением на центр эпицикла BE . Поэтому можно записать $\alpha = \angle Z\hat{H}\odot = 48\frac{1}{3}^\circ$; $\beta = \angle H\hat{B}\odot = 43\frac{1}{2}\frac{1}{12}^\circ$ и $\alpha + \beta = \angle Z\hat{B}H = 91;55^\circ$, см. также коммент. 78 к кн. IX.

25. Вывод этого соотношения см. в коммент. 80 к кн. IX.

26. Наилучший анализ содержания этой главы см. в [Wilson, 1972, р.218-222].

27. В главе 4 уточняется величина средней скорости движения Венеры по аномалии ω_α сравнительно с той величиной, которую дает древнее вавилонское соотношение: 5 аномалистических периодов равны 8 солнечным годам, см. кн. IX, гл. 3 и коммент. 16.

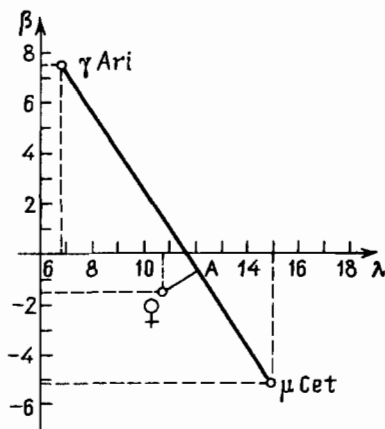


Рис. 10-А

28. 138, декабрь 16; самая северная из трех звезд (π , δ , β) во лбу Скорпиона — β Sco; относительное положение Луны, Венеры и опорной звезды см. на рис. 10-B.

29. Имеется в виду интервал от 1-го до 2-го градуса Девы; для момента 4;45^h после полуночи местного времени Дж.Тумер нашел, что долгота кульминирующей точки эклиптики была чуть больше 1° Девы в соответствии с текстом [РА, р.475, п.15].

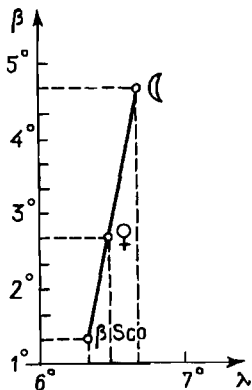


Рис. 10-B

30. Вычисления Птолемея верны для момента 4;30^h после полуночи, а не для 4;45^h. Вероятно, он учитывал здесь уравнение времени, которое при $\lambda_{\odot} = 23^{\circ}$ Стрельца равно $E = -17^m$ [РА, р.476, п.15].

31. Долгота и широта Венеры определяются на основе конфигурации, представленной на рис. 10-B, где координаты опорной звезды (β Sco, №1 в созвездии Скорпиона) $\lambda = 216;20^{\circ}$, $\beta = +1;20^{\circ}$; координаты Луны: $\lambda_{\zeta} = 216;45^{\circ}$,

$\beta_{\zeta} = +4;40^{\circ}$ и имеет место соотношение $\frac{\zeta Q}{Q \beta \text{ Sco}} = \frac{3}{2}$. Однако

Дж.Бриттон на основе современных вычислений показал, что действительное расположение β Sco, Луны и Венеры в указанный Птолемею момент существенно отличалось от приведенного на рис. 10-B. Соответствие между вычислениями и данными Птолемея станет очень хорошим, если предположить, что наблюдение на самом деле производилось не в 4;45^h после полуночи, а на два часа позднее на рассвете в 6;45^h [Britton, 1967, p.136–139].

32. Предполагается, что среднее солнце совпадает с центром эпицикла Z, откуда $EBZ = 22;9^{\circ}$ Стрельца — 25° Скорпиона = $27;9^{\circ}$.

33. Определяется средняя аномалия на основе наблюдения долготы Венеры в соответствующий момент. На рис. 10.3 EA — линия апсид эксцентра (A — апогей); Δ — центр эклиптики (местонахождение наблюдателя); Γ — центр эксцентра; B — центр равномерного вращения (эквант); $B\Gamma = \Gamma\Delta = e$; Z — центр эпицикла; K — планета, положение которой на эпицикле определяется средней аномалией $\bar{\alpha}$, отсчитываемой от среднего апогея Θ в прямом направлении ($\bar{\alpha} = \Theta\hat{Z}K$). Для момента наблюдения известны: а) среднее положение центра эпицикла $\kappa = EBZ$; б) расстояние планеты относительно перигея $\delta = K\hat{\Delta}E$ (долгота перигея минус долгота планеты). Необходимо определить $\bar{\alpha} = \Theta\hat{Z}K$. Далее Птолемей находит: а) расстояние от наблюдателя до центра эпицикла ΔZ , считая $\Gamma Z = 60^p$; б) углы $B\hat{Z}\Delta$ и $E\hat{\Delta}Z$; в) расстояние ZN и углы $N\hat{\Delta}Z$ и $N\hat{K}Z$; г) аномалию $\bar{\alpha} = 360^{\circ} - (N\hat{K}Z + N\hat{\Delta}Z - \Delta\hat{Z}B)$. Необходимо отметить, что $\Theta\hat{Z}K$ определяется наблюдением долготы планеты неоднозначно, поскольку каждому направлению из точки Δ соответствуют, как правило, две точки пересечения с эпициклом K и K' (на рис. 10.3 точка K' отмечена нами). Известно, однако, что наблюдение произведено после прохождения максимума элонгации, что исключает точку K'; подробнее см. [НАМА, р.156–157].

34. Суммарная погрешность округления здесь довольно велика. Согласно Дж.Тумеру, должно быть $ZN = 119;16^p$, а дуга на ZN — $167;22^{\circ}$; расхождение нельзя считать пренебрежимо малым, оно изменяет конечный результат на $0;8^{\circ}$ ($230;40^{\circ}$ вместо $230;32^{\circ}$) [РА, р.476, п.16].

35. Филадельф — Птолемей II Филадельф (283–246 гг. до н.э.); дата наблюдения — 271, октябрь 12; «Жнец» или «Виноградарь» (Vindemiatrix), — ϵ Vir; «звезда в конце южного крыла Девы» — β Vir; следующая за ней — η Vir (соответственно №13, 5 и 6 в созвездии Девы); «в 12-м ночном часу» означает, возможно, что наблюдение произведено за полчаса до восхода Солнца. Согласно Р.Ньютону,

погрешность в положении Венеры в указанный момент составляет 10' [Newton, 1976, p.200–201; Ньютон, 1985, с.301–302, 307; РА, р.477, п.17].

36. Птолемей определяет прецессионное изменение долготы звезды и апогея Венеры за период в 408 египетских годов.

37. –271, октябрь 16; погрешность определения долготы около 5' [Newton, 1976, p.200–201; Ньютон, 1985, с.307]. Наблюдение необходимо, чтобы разрешить неоднозначность определения аномалии по измеренной долготе Венеры, см. коммент. 33.

38. Расчеты Птолемея аналогичны произведенным выше, см. коммент. 33.

39. Суммарная погрешность округления составляет здесь около 4' (должно быть 107;49°) [РА, р.479, п.19].

40. Согласно Птолемею, за интервал $\Delta t = (409 \times 365^d + 167^d) = 149452^d$ приращение средней аномалии $\Delta \bar{\alpha} = (360^\circ \times 255 + 338;25^\circ) = 92138;25^\circ$. Отсюда $\omega_\alpha = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = 0;36,59,25,49,8,51^\circ/d$. Однако в кн.IX, гл.3 и в таблицах средних движений принято другое значение: $0;36,59,25,53,11,28^\circ/d$, которое, вероятно, получено следующим образом. Птолемею было известно соотношение: 5 обращений по аномалии ($\Delta \bar{\alpha} = 360^\circ \times 5$) соответствуют 8 солнечным годам ($8 \times 365;14,48^d$). Однако на основании собственных наблюдений он нашел другое соотношение ($92138;25^\circ \rightarrow 145452^d$). С его помощью он уточнил величину промежутка Δt , необходимую для совершения пяти обращений по аномалии. Исходя из отношений

$$\frac{\Delta t}{149452^d} = \frac{5 \times 360^\circ}{92138;25^\circ},$$

находим

$$\Delta t = \frac{(5 \times 360^\circ) \times 149452^d}{92138;25^\circ} \approx 2919;40^d.$$

Отсюда

$$\omega_\alpha = \frac{5 \times 360^\circ}{2919;40^d} = 0;36,59,25,53,11,27,53^\circ/d$$

в полном соответствии с текстом [РА, р.670–671].

41. Интервал будет точным, если предположить, что наблюдение Тимохариса выполнено на рассвете, и для эпохи учтено уравнение времени $E = -1/2^h$. При этом таблицы средних движений (кн.IX, гл.4) дают $\Delta \bar{\alpha} = 180;58,34^\circ$. Расхождение вызвано либо округлением, либо использованием большего интервала [РА, р.479–480, п.22–23].

42. Речь идет о модели экванта, описанной в кн.IX, гл.6, см. также коммент. 33 к кн.IX.

43. Наблюдаемые размеры эпицикла и все связанные с этим явления, например величина дуги попятного движения, зависят от расстояния центра деферента Δ , по которому движется эпицикл, от наблюдателя E (рис. 10.5). Величины дуг попятного движения можно поэтому использовать для определения расстояния ΔE . Птолемей не объясняет свою вычислительную процедуру, однако ясно, что вычисления наиболее просты, когда центр эпицикла находится на линии апсид на наибольшем и наименьшем расстояниях от наблюдателя. Максимум эклиптической аномалии, т.е. максимальная разность истинной и средней долгот планеты (ЗВЕ) зависит не от $E\Delta$, а от расстояния наблюдателя от центра равномерного вращения EZ ; если, как пишет Птолемей, $E\Delta: EZ = 1:2$, то это означает, что центр равномерного вращения Z не совпадает с центром деферента Δ и находится от наблюдателя по сравнению с Δ на удвоенном расстоянии. Это важное место содержит, по-видимому, указание на тот путь, который позволил Птолемею прийти к идее экванта.

44. Речь идет о наблюдениях средних оппозиций.

45. «Аномалия относительно Солнца» — это определяемая движением планеты по эпициклу последовательность синодических явлений (попятных движений, стояний, оппозиций, противостояний), наблюдаемых при определенных положениях планеты относительно Солнца; зодиакальная или эклиптическая аномалия — неравномерное движение центра эпицикла по эклиптике, обусловленное наличием эксцентриситета ЕД. Последняя приводит к тому, что синодические явления планеты по-разному фиксируются в разных частях зодиака. Так, величина и форма петли попятного движения зависит от положения планеты на эклиптике. Для определения эксцентриситета и долготы апогея (параметров, определяющих эклиптическую аномалию) необходимы наблюдения, произведенные в строго фиксированные моменты, когда «аномалия относительно Солнца» имеет одну и ту же величину, чтобы исключить ее влияние. В случае нижних планет для этого использовались максимальные элонгации; в случае верхних планет, которые могут находиться на произвольном расстоянии по долготе относительно Солнца, используются оппозиции.

46. Если на рис. 10.5 $AZB = \bar{\kappa}$, $\Theta BN = \bar{\alpha}$ (угол отсчитывается на эпицикле от $B\Theta$ по часовой стрелке) и $A\hat{E}\hat{\Theta} = \gamma$, то $\bar{\alpha} + \bar{\kappa} = \gamma$. Это соотношение, лежащее в основе ряда дальнейших доказательств и вычислений средней скорости движения планеты по долготе, специально Птолемеом нигде не доказывается. Но, как заметил О. Нейгебауэр, с кинематической точки зрения оно эквивалентно стандартным вавилонским соотношениям: число синодических явлений + число сидерических оборотов = число солнечных годов (кн. IX, гл. 3 и коммент. 16, 23); в соотношении Птолемея $\bar{\alpha}$ соответствует синодическим явлениям, $\bar{\kappa}$ — сидерическим оборотам, γ — числу годов [НАМА, р. 170].

47. Т.е. положение центра эпицикла, как оно наблюдается из Е.

48. Когда планета находится в Н, ее средняя аномалия $\bar{\alpha} = 360^\circ - \hat{H}\hat{B}\hat{\Theta}$. Отсюда $\bar{\alpha} + \bar{\kappa} = \hat{A}\hat{Z}\hat{B} - \hat{H}\hat{B}\hat{\Theta} = \hat{A}\hat{Z}\hat{B} - \hat{\Lambda}\hat{B}\hat{K} = \hat{A}\hat{E}\hat{B} = \gamma$. Когда планета в К, $\bar{\alpha} = \hat{\Theta}\hat{B}\hat{K}$; отсюда $\bar{\alpha} + \bar{\kappa} = \hat{\Theta}\hat{B}\hat{K} + \hat{A}\hat{Z}\hat{B} = 180^\circ - \hat{H}\hat{B}\hat{\Theta} + \hat{A}\hat{Z}\hat{B} = 180^\circ + \hat{Z}\hat{E}\hat{K} = 360^\circ - \hat{A}\hat{E}\hat{M} = \gamma$.

49. Пусть на рис. 10.6 $AZB = \bar{\kappa}$; $\Theta BN = \bar{\alpha}$; $A\hat{E}\hat{E} = \gamma$, $A\hat{E}\hat{B} = \delta$, $\hat{H}\hat{B}\hat{\Theta} = \epsilon$ (обозначения соответствуют НАМА). Тогда $\hat{H}\hat{B}\hat{N} = \epsilon + \bar{\alpha}$, $\hat{B}\hat{E}\hat{E} = \gamma - \delta = (\bar{\alpha} + \bar{\kappa}) - (\bar{\kappa} - \epsilon) = \bar{\alpha} + \epsilon$. Поскольку $\hat{H}\hat{B}\hat{N} = \hat{B}\hat{E}\hat{E}$, $NB \parallel EE$.

50. Кн. IV, гл. 6.

51. В главе 7 определяется величина эксцентриситета и долгота апогея деферента, по которому перемещается центр эпицикла. Поскольку круг фиксируется тремя точками, необходимо произвести три измерения долготы планеты $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (в тексте обозначены цифрами [1], [2], [3]), которые образуют две долготные разности $\Delta\lambda_1 = \lambda_2 - \lambda_1$, $\Delta\lambda_2 = \lambda_3 - \lambda_2$, соответствующие интервалам $\Delta t_1, \Delta t_2$ между наблюдениями. По таблицам средних движений (кн. IX, гл. 4) можно найти также соответствующие приращения средней долготы $\Delta\bar{\lambda}_1, \Delta\bar{\lambda}_2$ относительно центра равномерного вращения. Задача, таким образом, сводится к следующему: определить положение центра равномерного вращения Θ относительно центра эклиптики N , где находится наблюдатель (рис. 10.7), если известно, что направления на точки А, В и Г центра эпицикла на деференте фиксируются из N дугами $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$, а из Θ — дугами $\Delta\bar{\lambda}_1, \Delta\bar{\lambda}_2$ и центр деферента Δ находится в середине отрезка $N\Theta$.

Вычисления производятся согласно следующей схеме.

[I] Первый итерационный шаг: предположим, что орбита Марса — эксцентр; последовательно находим:

[А] хорду эксцентра $ГЕ$, проходящую через центр Δ эклиптики, по отношению к диаметру эксцентра ($= 120^p$);

[В] эксцентриситет $2e = КД$ в тех же единицах;

[С] положение линии апсид эксцентра на эклиптике (λ_a) относительно противостояний [1], [2], [3] (подробнее см. коммент. 57).

Переход к орбите с эквантом; последовательно находим:

[D.1], [D.2], [D.3] разности дуг на эклиптике ($\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$) между направлениями из N на точки деферента (A, B, Г) и соответствующие точки экванта (E, Z, Y) для трех противостояний;

[E] дуги $\Delta\lambda'_1, \Delta\lambda'_2$ эклиптики между направлениями из Δ на точки экванта при установленных значениях $2e, \lambda_a$ (подробнее см. коммент. 65).

[II] Второй итерационный шаг; определяем:

[F] значения параметров $2e', \lambda'_a$ по $\Delta\bar{\lambda}_1, \Delta\bar{\lambda}_2$ и $\Delta\lambda'_1, \Delta\lambda'_2$ согласно методике, изложенной в пунктах [A], [B], [C], и величины $\Delta\lambda''_1, \Delta\lambda''_2$ согласно [D], [E].

[III] Третий итерационный шаг; находим:

[K] значения параметров $2e'', \lambda''_a$ по $\Delta\bar{\lambda}_1, \Delta\bar{\lambda}_2$ и $\Delta\lambda''_1, \Delta\lambda''_2$ согласно методике [A], [B], [C].

Проверка правильности определения $2e, \lambda_a$:

[G.1], [G.2], [G.3] для каждого из трех противостояний по величинам $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$ и $2e'', \lambda''_a$ определяем видимое расстояние центра эпицикла относительно апогея и соответствующие приращения истинной долготы $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2$, которые должны равняться наблюдаемым.

[H]. Для противостояния [3] вычисляются среднее расстояние центра эпицикла $\bar{\kappa}$ относительно апогея и аномалия $\bar{\alpha}$.

Анализ методики Птолемея см. в [Caspar, 1929, p.9*-12*; НАМА, p.172-179; Pedersen, 1974, p.279-283; Hill, 1900].

52. 130, декабрь 15; 1^h. Определение моментов средних противостояний внешних планет производилось, по-видимому, интерполяцией долгот, измеренных до и после противостояния [Ньютон, 1985, с.310]. Анализ приводимых Птолемеем наблюдений средних противостояний см. в [Czwalina, 1958; Newton, 1976, p.201-204; Ньютон, 1985].

53. 135, февраль 21; 21^h.

54. 139, май 27; 22^h. Средняя долгота Солнца в момент противостояния равняется долготе планеты $\pm 180^\circ$; расчеты, выполненные по таблице кн. III, гл. 2, однако, дают для $t_1 = 887^y 145^d 13^h$ $\lambda_\odot = 20; 58, 19^\circ$ Стрельца, для $t_2 = 881^y 215^d 9^h$ $\lambda_\odot = 28; 50, 19^\circ$ Водолея, для $t_3 = 885^y 31^d 10^h$ $\lambda_\odot = 2; 31, 43^\circ$ Близнецов, согласно [НА II, 176]. Расхождение последней величины $\lambda_\odot$ с приведенной в тексте соответствует временной разности около $1/2^h$; оно не может быть объяснено использованием уравнения времени (в данном случае $E \approx -0; 25^h$), поскольку вычисления производятся в средних сутках [РА, p.484, п.32].

55. Таким образом в основе определения эксцентриситета орбиты Марса $2e$ (равен NΘ на рис. 10.7) и долготы апогея λ_a лежат следующие данные наблюдений: $\Delta t_1 = 4^y 69^d 20^h$, $\Delta t_2 = 4^y 96^d 1^h$; $\Delta\bar{\lambda}_1 = 81; 44^\circ$, $\Delta\bar{\lambda}_2 = 95; 28^\circ$, $\Delta\lambda_1 = 67; 50^\circ$, $\Delta\lambda_2 = 93; 44^\circ$. Использование приближенной величины средней скорости Марса, как она дается соотношением: 79 солнечных годов = 42 оборота по долготе (кн. IX, гл. 3), приводит на самом деле к тем же величинам $2e$ и λ_a , что и точная величина [РА, p.484, п.33].

56. Поскольку в этом случае ситуация была бы аналогична рассмотренной в кн. IV, гл. 6 при определении эксцентриситета лунной орбиты.

57. Здесь мы следуем Дж.Тумеру, исправившему греческий текст в издании Гейберга [РА, p.486, п.37]. В переводе И.Н.Веселовского, следовавшего К.Манициусу, этот фрагмент звучит следующим образом: «как бы не существовало никакого заметного различия между [разностями] дуг $\Sigma\Upsilon\Upsilon$ и KAM , [а также EZM и

КАМ]». Вариант перевода, предложенный К.Манициусом, не согласуется с греческим текстом и лишен астрономического смысла.

На первом этапе вычислений Птолемей предполагает, что центр деферента Δ совпадает с центром равномерного вращения Θ (рис. 10.7). Направления на точки А, В, Г из Θ фиксируются дугами $\bar{\Delta\lambda}_1$, $\bar{\Delta\lambda}_2$, а из N — дугами $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$. В действительности это не так, поскольку Δ не совпадает с Θ и, следовательно, углы между направлениями из N на указанные точки не могут быть равны углам $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$. Эксцентриситет и долгота апогея определяются затем следующим образом.

1. Продолжив $\Gamma\Delta$ до пересечения с деферентом в точке Е (рис. 10.8), Птолемей находит отношения $\frac{BE}{\Delta E}$, $\frac{AE}{\Delta E}$, $\frac{BA}{\Delta E}$, полагая $\Delta E = 120^p$.

2. Затем он выражает BE, AE, BA в единицах радиуса деферента $R = 60^p$ и находит GE.

3. Проводя через Δ диаметр $M\Delta K\Lambda$ (на рис. 10.9 K — центр деферента), определяет эксцентриситет ΔK в единицах $R = 60^p$.

4. Определяет положение апогея Λ относительно противостояний А и В (находит дуги ΛA и ΛB).

58. Величина эксцентриситета и положение апогея будут теми же независимо от того, какую линию продолжить до пересечения с деферентом — ΔB , ΔA или $\Delta \Gamma$.

59. В действительности должно быть $\Theta B^2 = 136;27^2 = 18\,618;36$, однако эта неточность не сказывается существенно на величине АВ [РА, р.488, п.39].

60. Вычисления содержат ошибки; правильное значение $AE = 22;27^p$, и это число на самом деле встречается в двух рукописях. В дальнейшем, однако, Птолемей использует не $21;41^p$, а $21;34^p$. Путаница восходит, по-видимому, к самому Птолемею, величина же $22;27^p$ — чье-то позднее исправление [РА, р.488, п.40].

61. Птолемей применяет соотношение $\Lambda\Delta \cdot \Delta M = E\Delta \cdot \Delta \Gamma$ [Евклид, III, 35].

62. $\Lambda\Delta \cdot \Delta M + \Delta K^2 = \Lambda K^2$ [Евклид, II, 5].

63. Точные вычисления, основанные на предыдущих значениях величин, дают $\Delta K = 13;2,30^p$ [РА, р.489, п.44].

64. Точные вычисления дают $\Gamma M = 39;10^p$ [РА, р.490, п.45].

65. До сих пор предполагалось (рис. 10.8), что точки А, В, Г, определяющие положение центра эпицикла в моменты трех противостояний, находятся на круге с центром Θ равномерного вращения и фиксируются из Θ дугами $\bar{\Delta\lambda}_1$, $\bar{\Delta\lambda}_2$, а из N — дугами $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$. На самом деле (рис. 10.7) они лежат на круге деферента с центром Δ , делящем пополам отрезок $N\Theta$. Точки же А, В, Г, используемые в предварительном расчете, соответствуют на рис. 10.7 скорее точкам Е, Z, Н с той разницей, что в модели с эквантом они фиксируются из N дугами эклиптики $\Delta\lambda'_1$, $\Delta\lambda'_2$ ($E\hat{N}Z$, $Z\hat{N}M$), которые не равны дугам $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$. Отождествление точек А, В, Г и Е, Z, Н в упрощенной модели приводит к погрешности в определении эксцентриситета $2e (= N\Theta)$ и долготы апогея λ_a , которую необходимо исправить. Птолемей использует при этом своеобразный итерационный процесс. Основываясь на полученных предварительных значениях $2e$ и λ_a и полагая, что в модели с эквантом точки А, В, Г фиксируются из Θ дугами $\bar{\Delta\lambda}_1$, $\bar{\Delta\lambda}_2$, он для каждого противостояния находит угол ϵ между направлениями из N на соответствующие точки экванта и деферента ($\epsilon_1 = \Gamma\hat{N}A$, $\epsilon_2 = B\hat{N}Z$, $\epsilon_3 = H\hat{N}\Gamma$, «разности дуг зодиака, которые мы хотим найти для каждого противостояния», по терминологии Птолемея), отсюда $\Delta\lambda'_1 = \Delta\lambda_1 + \epsilon_1 + \epsilon_2$; $\Delta\lambda'_2 = \Delta\lambda_2 - \epsilon_2 - \epsilon_3$. Полученные значения дуг $\Delta\lambda'_1$, $\Delta\lambda'_2$ используются затем для нового определения параметров орбиты $2e'$, λ'_a в соответствии с процедурой, описанной выше (коммент. 57). Такого рода уточнения

можно производить неограниченное число раз, пока в модели с эквантом не будет достигнуто согласие между величинами $2e$, λ_a , с одной стороны, и данными наблюдений ($\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$, $\Delta\lambda_1'$, $\Delta\lambda_2'$) — с другой. В случае орбиты Марса потребовалось три итерационных шага (в тексте обозначаются как [I], [II], [III]); для Юпитера и Сатурна оказалось достаточно двух шагов (кн. XI, гл. 1, 5).

66. Здесь неточность; правильное значение $NE = 70;57,48^p$ и $XN = 13;11,24^p$ [РА, р. 491, п. 46].

67. Здесь у Гейберга $\bar{\xi}\theta$ (69;6), но правильно $\bar{\xi}\epsilon$ (65;6), что подтверждается вычислениями и данными рукописей [РА, р. 492, п. 48].

68. Поскольку (рис. 10.7) $K\Sigma = \epsilon_1 = 0;32^\circ$, $\Lambda T = \epsilon_2 = 0,33^\circ$, $KL = \Delta\lambda_1 = 67;50^\circ$, то $T\Sigma = \Delta\lambda_1' = \Delta\lambda_1 + \epsilon_1 + \epsilon_2 = 68;55^\circ$.

69. Дуга эклиптики $TU = \Delta\lambda_2' = \Lambda M - \Lambda T - YM = \Delta\lambda_2 - \epsilon_2 - \epsilon_3 = 93;44^\circ - 0;33 - 0;50^\circ = 92;21^\circ$.

70. См. коммент. 57 и 65. Согласно Дж.Тумеру, который повторил вычисления Птолемея, полагая $\Delta\lambda_1 = 81;44^\circ$, $\Delta\lambda_2 = 95;28^\circ$, $\Delta\lambda_1 = 68;55^\circ$, $\Delta\lambda_2 = 92;21^\circ$, параметры $2e = 11;50^\circ$, $GM = 45;28^\circ$ [РА, р. 494, п. 50].

71. Исходя из величины $2e = 11;50^p$ и принятых Птолемеем значений дуг GM , ΛB и ΛA , Дж.Тумер нашел $K\Sigma = 0;27,49^\circ$, $\Lambda T = 0;26,51$ и $MY = 0;39,31^\circ$ [РА, р. 494, п. 51].

72. Таким образом получены уточненные значения дуг эклиптики $\Sigma T = \Delta\lambda_1'$ и $TU = \Delta\lambda_2'$, которые позволяют в третий раз определить параметры орбиты $2e''$ и λ_a'' .

73. Основываясь на приводимых Птолемеем значениях, Дж.Тумер нашел $2e'' = \Delta K = 11;59,50^p$ и дуга $GM = 44;18,45^\circ$. Еще один шаг итерационных вычислений изменит $N\Theta$ на величину, меньшую $0;0,30^p$, а долготу апогея на $0;5^\circ$, что не имеет практического значения [РА, р. 494, п. 52].

74. Для проверки значений эксцентриситета и долготы апогея Птолемей вычисляет дуги $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$ по дугам $\Delta\lambda_1'$, $\Delta\lambda_2'$ в модели с эквантом, где параметры $2e$ и λ_a равняются только что полученным величинам. Для каждого противостояния Птолемей находит величину $\kappa = \bar{\kappa} - \eta$, где $\bar{\kappa}$, κ — соответственно среднее и видимое расстояние центра эпицикла относительно линии апсид, η — уравнение, т.е. угол, под которым эксцентриситет $2e$ виден из соответствующей точки деферента; отсюда $\Delta\lambda_1 = \kappa_1 + \kappa_2$, $\Delta\lambda_2 = \kappa_3 - \kappa_2$.

75. См. с. 326 и коммент. 55.

76. См. с. 326 и коммент. 55.

77. 139, май 27, 22^h; см. коммент. 54.

78. Короткий интервал между наблюдениями гарантирует, что соответствующие ему приращения средней долготы и аномалии не внесут дополнительной погрешности в положение планеты.

79. 139, май 30, 21^h; «20-й градус Клешней» — т.е. интервал от 19-го до 20-го градуса Весов; средняя долгота Солнца, согласно таблице кн. III, гл. 2, в указанный момент ($\Delta t = 885^y 314^d 9^h$ от начальной эпохи) $\bar{\lambda}_\odot = 5;27,31^\circ$ Близнецов; приведенные в тексте средняя долгота Солнца и положение Луны по долготе и аномалии соответствуют на самом деле не 9^h после полудня, а 8;37^h. По-видимому, Птолемей учитывал здесь уравнение Солнца $E = -0;23^h$ относительно эпохи (правильное значение $E = -0;25,30^h$) [РА, р. 499, п. 57]. Согласно вычислениям Дж.Бриттона, в указанный момент $\lambda_\odot = 242;1^\circ$; погрешность измерения элонгаций «Луна-Марс»

+0;36°, «Луна-Спика» -0;17° [Britton, 1967, p.146-147]. См. также [Newton, 1976, p.203; Ньютон, 1985, с.260 и след.].

80. Здесь предполагается $\lambda_c = 0^\circ$ Стрельца.

81. 25;30° Козерога - 1;36° Стрельца = 53;54°.

82. Приращения средней долготы и аномалии Марса за интервал $2^d 23^h$ (таблицы кн. IX, гл. 4) меньше указанных Птолемеем: $\Delta \bar{\lambda} = 1;33,1^\circ$, $\Delta \bar{\alpha} = 1;21,55^\circ$; по-видимому, Птолемей использовал здесь более короткий интервал. По этому поводу О. Нейгебауэр замечает: «Это один из многих случаев, когда чрезмерно неточные данные используются в расчетах для повышения точности. Указанное расхождение, однако, не влияет на конечный результат» [НАМА, p.180, п.10].

83. Задача, таким образом, сводится к следующему: определить радиус эпицикла r по отношению к радиусу деферента $2R = 120p$, если известно, что в момент наблюдения t (139, май 30, 21^h) при установленных значениях параметров орбиты Марса ($2e = 12^p$; $\lambda_a = 115;30^\circ$) среднее расстояние центра эпицикла относительно апогея $\bar{\kappa}_0 = \hat{AZB} = 137;11^\circ$; аномалия $\bar{\alpha} = \hat{HBN} = 172;46^\circ$; видимое положение планеты относительно перигея $\hat{ГЕВ} = 180^\circ - (\lambda_\sigma - \lambda_a) = 53;54^\circ$. Подробнее о вычислительной процедуре Птолемея см. [НАМА, p.179-180; SA, 1974, p.283-286].

84. Наблюдалось соединение Марса и β Sco. Приведенные Птолемеем даты по календарю Дионисия и по эре Набонассара противоречат друг другу. Согласно реконструкции А. Бёка, 25 айгона в 15 году эры Дионисия должно соответствовать 19/20 атира по египетскому календарю; все дальнейшие вычисления Птолемея, однако, основываются на дате 20/21 атира (-271, январь 18). В связи с этим А. Бёк и вслед за ним К. Манициус исправляют сомнительную дату на 26 Айгона, чтобы согласовать ее с реконструкцией календаря Дионисия. Однако Р. Ньютон заметил, что в указанный Птолемеем момент (утро 18 января) планета Марс находилась на расстоянии около $50'$ от β Sco, что вряд ли возможно считать касанием; касание на самом деле имело место на два дня раньше, утром 16 января [Newton, 1976, p.203-204; Ньютон, 1985; с.312, коммент. 3]. Аналогичные вычисления выполнил также Ю. А. Завенягин, который показал, что соединение Марса и β Sco в действительности имело место не 18, а 16 января в 16^h ; вечером того же дня Марс не мог наблюдаться, поскольку находился ниже линии горизонта, а на рассвете 17 января его расстояние к востоку относительно β Sco составляло около $17'$. Основываясь на этих данных, Ю. А. Завенягин полагает, что Птолемей в данном случае допустил ошибку при пересчете правильной даты по календарю Дионисия (25 Айгона) в египетский календарь. Приведенную в «Альмагесте» дату 20/21 Атира необходимо поэтому исправить на 19/20 Атира. При этом мы получим, с одной стороны, лучшее согласование с данными современных вычислений, а с другой — полное соответствие между реконструированными и приведенными в тексте датами наблюдений по календарю Дионисия (частное сообщение). Аргументация Ю. А. Завенягина представляется нам достаточно убедительной; таким образом, точная дата наблюдений: -271, январь 17, $\sim 6^h$.

85. Указанному моменту ($\Delta t = 4^y 79^d 18^h$ от начальной эпохи) соответствует по таблицам кн. III, гл. 2 $\bar{\lambda}_\odot = 23;52,13^\circ$ Скорпиона.

86. В каталоге звезда №1 в созвездии Скорпиона ($\lambda = 61\frac{1}{3}^\circ$ Скорпиона).

87. Задача может быть сформулирована следующим образом: определить среднюю эпициклическую аномалию планеты ($\bar{\alpha} = \hat{HVB}$), если в момент наблюдения t известны (при установленных параметрах орбиты) видимое расстояние планеты ($\kappa = \hat{AEB} = 100;50^\circ$) и среднее расстояние Солнца ($\lambda_\odot - \lambda_a = \hat{AEA} = 182;29^\circ$) относительно линии апсид. Средняя скорость аномалии определяется отсюда согласно формуле

$$\omega_{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = \frac{\bar{\alpha}_2 - \bar{\alpha}_1}{t_2 - t_1}.$$

Подробнее см. [НАМА, р.180–182].

88. Поскольку $\widehat{B\Delta M} = \widehat{B\Delta \Xi} + \widehat{\Xi\Delta M} = 67;4^{\circ} + 180^{\circ} = 247;4^{\circ}$.

89. Суммарная погрешность округления составляет здесь около $0;3^{\circ}$; правильное значение $\widehat{BZA} = 72;43,50^{\circ}$. Погрешность влияет на конечный результат [РА, р.504, п.65].

90. $21;25^{\circ}$ Рака + $72;47^{\circ} = 4;12^{\circ}$ Весов.

91. Для верхних планет выполняется соотношение $\bar{\alpha} + \bar{\kappa} = \gamma$, см. коммент. 46.

92. Получающееся на основе этих данных среднесуточное движение Марса по аномалии

$$\omega_{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = \frac{192 \times 360^{\circ} + 61;43^{\circ}}{410 \times 365^d + 2312_3^d} = \frac{69181;43^{\circ}}{149881;40^d} = 0;27,41,40,19,28,7...^{\circ}/d$$

не соответствует величине, используемой в таблицах средних движений (кн.IX, гл.4), $\omega_{\alpha} = 0;27,41,40,19,20,58^{\circ}/d$. Вычислительная процедура, рассмотренная в коммент. 19 к кн.IX, также не приводит здесь к положительному результату. В самом деле, Птолемей, по-видимому, знал следующее приближенное соотношение: 37 обращений Марса по аномалии ($\Delta \bar{\alpha} = 37 \times 360^{\circ}$) соответствуют 79 солнечным годам ($79 \times 365;14,48^d$). Его собственные наблюдения, однако, приводят к соотношению ($69181;43^{\circ} \rightarrow 149881;40^d$), на основании которого величина промежутка для совершения 37 оборотов по аномалии

$$\Delta t = \frac{(37 \times 360^{\circ}) \times 149881;40^d}{69181;43^{\circ}} = 28857;41^d$$

(интервал $\Delta t = 28857;53^d$, в кн.IX, гл.3 исправлен Дж.Тумером на $28\ 857;43^d$ [РА, р.424, п.26]), и отсюда величина средней скорости

$$\omega_{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = \frac{37 \times 360^{\circ}}{28857;41^d} = 0;27,41,40,18,39,12^{\circ}/d;$$

эта величина не согласуется с табличной еще в большей степени, чем найденная выше.

Точное цифровое совпадение до последнего шестидесятеричного разряда при определении ω_{α} Марса получено Д.Ролинсом [Rawlins, 1987]. Предложенная им вычислительная процедура, однако, имеет, на наш взгляд, серьезные недостатки. Ролинс предполагает, что в основе определения ω_{α} лежат следующие три эмпирических соотношения: а) 303 синодических оборота планеты = 647 сидерическим годам = 236321^d ; б) число гелиоцентрических оборотов планеты = число солнечных годов – число синодических оборотов; в) $35\ 999$ сидерических годов = $36\ 000$ тропических годов. Не существует, однако, свидетельств в пользу того, что эти соотношения действительно были известны вавилонским или греческим астрономам (исключение составляет только соотношение в), но и оно в античной астрономии носило иную форму). При определении ω_{α} Марса Ролинс делает слишком много произвольных допущений, поэтому совпадение полученной им величины с величиной, используемой в таблицах Птолемея, нельзя рассматривать в данном случае как свидетельство правильности принятой вычислительной процедуры.

93. Промежутку $\Delta t = 475^y 79^d 18^h$ соответствуют $\Delta \bar{\lambda}_{\odot} = 180;38,43^{\circ}$, $\Delta \bar{\alpha} = 142;28,27^{\circ}$ (кн.IX, гл.4); чтобы получить величины, указанные Птолемеем, необходимо учесть приращение долготы и аномалии еще приблизительно за полчаса. Причины несовпадения неясны [НА II, 203; РА, р.505, п.67].

КНИГА ОДИННАДЦАТАЯ

1. Методика определения эксцентриситета $2e$ и долготы апогея λ_a орбиты Юпитера аналогична используемой в теории Марса (кн.Х, гл.7) и отличается от нее только тем, что в данном случае достаточно двух итерационных шагов. Формулировку задачи и описание вычислительной процедуры см. в коммент. 51 кн.Х.

2. 133, май 17, 23^h ; $\lambda_1 = 233;11^\circ$; для $t_1 = 879^y300^d11^h$ определенная по таблицам кн.ІХ, гл.4 средняя долгота Юпитера $\bar{\lambda}_1 = 233;12,11^\circ$.

3. 136, август 31, 22^h ; $\lambda_2 = 337;54^\circ$; для $t_2 = 883^y42^d10^h$ $\bar{\lambda}_2 = 337;52,43^\circ$.

4. 137, октябрь 8, 5^h ; $\lambda_3 = 14;23^\circ$. Для $t_3 = 884^y79^d17^h$ $\bar{\lambda}_3 = 14;23,30^\circ$. Анализ трех приведенных наблюдений средних противостояний см. в [Czwalina, 1958, p.299–300; Ньютон, 1985, с.309 и след.; Newton, 1982, p.142–144].

5. Таким образом, при определении параметров орбиты Юпитера $2e$ и λ_a исходные величины приращений истинной и средней долготы составляют $\Delta\lambda_1 = 104;43^\circ$, $\Delta\lambda_2 = 36;29^\circ$, $\Delta\bar{\lambda}_1 = 99;55^\circ$, $\Delta\bar{\lambda}_2 = 33;26^\circ$.

6. Поскольку $\widehat{E\bar{B}H} = \widehat{B\bar{A}G} - \widehat{B\bar{E}G}$.

7. $\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2 = 104;43^\circ + 36;29^\circ = 141;12^\circ$.

8. $\Delta\bar{\lambda}_1 + \Delta\bar{\lambda}_2 = 99;55^\circ + 33;26^\circ = 133;21^\circ$.

9. $\widehat{E\bar{A}Z} = 2 \times 180^\circ - \widehat{A\bar{E}L} - \widehat{A\bar{L}E} = 360^\circ - (133;21^\circ + 77;36^\circ) = 149;3^\circ$ (половинных градусов).

10. $174;6^\circ = 40;45^\circ + 133;21^\circ$.

11. $\widehat{E\bar{L}} \cdot \widehat{\Delta\bar{G}} = \widehat{\bar{L}\Delta} \cdot \widehat{\Delta\bar{M}}$ [Евклид, III, 35].

12. $\widehat{\bar{L}K}^2 = \widehat{\bar{L}\Delta} \cdot \widehat{\Delta\bar{M}} + \widehat{\Delta\bar{K}}^2$ [Евклид, II, 5].

13. Величина ΔK определена приближенно, так как в процессе вычислений неоднократно имело место округление; более точное значение $\Delta K = 5;20^p$ [РА, p.509, п.2].

14. Накопившаяся погрешность округления приводит к значительной погрешности в определении дуги $\widehat{M\bar{G}}$; правильное значение $\widehat{M\bar{G}} = 32;21^\circ$ [РА, p.510, п.3].

15. Выбор противостояний вблизи линии апсид крайне невыгоден для фиксации различия между простой эксцентрической моделью и моделью с эквантом; с этой точки зрения противостояния должны располагаться в октантах, как это имеет место при определении параметров орбиты Марса.

16. Подробнее о переходе к модели с эквантом см. коммент. 65 к кн.Х.

17. У Гейберга [Hei II 371] ошибка в чертеже: соединено $\widehat{\Delta\bar{E}}$ вместо $\widehat{\Delta\bar{B}}$ и вместо $\bar{\Lambda}$ напечатано $\bar{A}$. Похожая ошибка имеет место также в чертеже [Hei II, 373] (рис.11.5). Исправление Манициуса [НА II, 211, 213].

18. Соответствует дуге $\widehat{B\bar{M}}$ на рис. 11.2.

19. Поскольку $\widehat{B\bar{E}E} = \widehat{E\bar{E}E} - \widehat{E\bar{B}E}$.

20. Поскольку $\widehat{G\bar{E}E} = \widehat{E\bar{E}E} - \widehat{E\bar{G}E}$.

21. Как если бы эпицикл находился на экванте; в этом случае орбита уподобляется простому эксцентру. Птолемей, таким образом, переходит ко второму итерационному шагу, полагая $\Delta\lambda'_1 = 104;39^\circ$, $\Delta\lambda'_2 = 36;37^\circ$.

22. Следуя вычислительной процедуре, изложенной в пунктах [A], [B], [C].

23. А именно, дугам ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 эклиптики между направлениями из $\bar{E}$ на точки деферента и соответствующие точки экванта, определенным в пунктах [D.1], [D.2], [D.3] для трех противостояний. Третий итерационный шаг изменяет эксцентриситет на величину, меньшую $0;1^p$, и положение линии апсид на $0;10^\circ$ [РА, p.515, п.8].

24. Поскольку $\widehat{A\bar{H}} = \sqrt{\widehat{\Delta\bar{L}}^2 - \widehat{\Delta\bar{H}}^2}$.

25. Поскольку $\widehat{\Lambda EA} = \widehat{\Lambda ZA} - \widehat{EAZ}$.

26. См. пункт [G.1].

27. $180^\circ - (3;6^\circ + 72;11^\circ) = 104;43^\circ$, см. также с.340.

28. См. с.340.

29. У Гейберта ошибка в чертеже [Hei II, 381]: ошибочно соединены Δ и Γ вместо E и Γ . Исправлено Манициусом [HA II, 220].

30. 137, октябрь 8; 5^h , см. с.340 и коммент. 4 к этой кн.

31. $\bar{\alpha} = 180^\circ + \widehat{E\Gamma Z} = 182;47^\circ$.

32. 139, июль 11; 5^h ; для $t = 885^y 355^d 17^h$, согласно таблицам кн. III, гл.2, $\bar{\lambda}_\odot = 16;11,2^\circ$ Рака; «второй градус Овна» — интервал от конца 1-го до конца 2-го градуса Овна; опорная звезда — Альдебаран (№14 в созвездии Тельца; координаты: $\lambda = 122\frac{2}{3}$ Тельца, $\beta = -5\frac{1}{6}$). Согласно Дж.Бриттону, в указанный момент долгота Альдебарана $\lambda = 43;52^\circ$, долгота Юпитера $\lambda_j = 76;34^\circ$; истинная долгота Луны $\lambda_\zeta = 75;38^\circ$; центр Луны, таким образом, по долготе не достигал Юпитера; край лунного диска находился южнее планеты [Britton, 1967, p.147–148].

33. Координаты Луны определены правильно для момента $4;42^h$ после полуночи; по-видимому, Птолемей здесь учитывал уравнение времени относительно эпохи; аналогичную ситуацию см. на с.335 и в коммент. 79 к кн. X [PA, p.520, n.12].

34. В указанный момент таблицы Птолемея дают $\bar{\lambda}_\zeta = 9;10,47^\circ$ Близнецов, $\bar{\alpha} = 272;13,39^\circ$, $\bar{\omega} = 231;8,44$; $\beta_\zeta = -2;40^\circ$, $\lambda_\zeta = 14;50,20^\circ$ Близнецов; в момент наблюдения Луна находилась к востоку от меридиана, поэтому видимое положение Луны сдвинуто вследствие параллакса в направлении последовательности знаков относительно истинного положения [HA II, 220–221, Anm. c), a) 409, Anm. 8]. В момент наблюдения, согласно Птолемею, долгота Юпитера и видимая долгота центра Луны совпадают.

35. Если пренебречь уравнением времени относительно эпохи (коммент. 33). Для $\Delta t = 1^y 276^d$ $\Delta \bar{\lambda} = 53;16,52^\circ$, $\Delta \bar{\alpha} = 218;30,37^\circ$; учет уравнения времени дает $\Delta \bar{\alpha} = 218;30^\circ$ [PA, p.520, n.13].

36. Положение апогея не изменилось, поскольку прецессионным движением за два года можно пренебречь.

37. Рис. 10.17. Задача, решаемая в настоящей главе, в целом эквивалентна рассмотренной в кн. X, гл.8, см. коммент. 83 к кн. X.

38. Угол $\widehat{BEG}$ — внешний для треугольника BEZ , откуда $\widehat{BEG} = \widehat{BZG} + \widehat{EBZ}$.

39. $\widehat{BEK} = \widehat{KEG} - \widehat{BEG}$.

40. Вычисления произведены неточно; согласно Дж.Тумеру, правильное значение $r = 11;38^p$. Расхождение не является пренебрежимо малым; не вызывает, однако, сомнения, что Птолемей в данном случае стремился получить круглое число [PA, p.522, n.15].

41. -240, сентябрь 4, 6^h ; опорная звезда — δ Спс (№5 в созвездии Рака; координаты $\lambda = 10\frac{1}{3}$ Рака, $\beta = -\frac{1}{6}$); для $t = 506^y 316^d 18^h$, согласно таблице кн. III, гл.2, $\bar{\lambda}_\odot = 9;55,32^\circ$ Девы [HA II, 223, Anm. a); Ньютон, 1985, с.312; Newton, 1982, p.144–145]. По современным вычислениям в указанный Птолемеем момент Юпитер находился на $\frac{1}{4}^\circ$ к северу от δ Спс [PA, p.522, n.16; p.658].

42. Долготы в каталоге относятся к 885 г. эры Набонассара; откуда промежуток между моментом наблюдения и начальной эпохой $885 - 507 = 378$. Правильнее, однако, будет 377, поскольку наблюдение выполнено в 11-м месяце египетского года [PA, p.522, n.17].

43. Рис. 10.18 и коммент. 87 к кн. X.

44. Как внешний угол для треугольника $BZ\Delta$.

45. Подразумевается соотношение $(\widehat{HB\Theta} + \widehat{BZ\Gamma} + 180^\circ) - 360^\circ = \widehat{HB\Theta} - \widehat{AZB} = \widehat{AE\Lambda}$, откуда $\widehat{HB\Theta} = \widehat{AE\Lambda} + \widehat{AZB} = 77;2^\circ$. В предыдущих вычислениях

содержится несколько ошибок, частично компенсирующих друг друга; правильное значение $77;0^\circ$ [РА, р.524, п.19].

46. Кн.ХI, гл.1, с.348.

47. Интервал между наблюдениями $\Delta t = 377 \times 365^d + 128^d - 1^h = 137732;57,30^d$, соответствующее приращение аномалии $\Delta \bar{\alpha} = 345 \times 360^\circ + 105;45^\circ = 124305;45^\circ$, отсюда средняя скорость движения по аномалии

$$\omega_\alpha = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = 0,9025177428^\circ/d = 0;54,9,2,45,8,48...^\circ/d.$$

В таблицах средних движений (кн.IX, гл.4), однако, используется другая величина ($\omega_\alpha = 0;54,9,2,46,26,0^\circ/d$). Вычислительная процедура, рассмотренная в коммент. 19 к кн.IX, в данном случае не дает положительного результата. Получающаяся с ее помощью величина ($\omega_\alpha = 0;54,9,2,42,55,52...^\circ/d$) отличается от принятой в таблицах еще в большей степени, чем полученная на основе наблюдений Птолемея [РА, р.669–671]. Д.Ролинс заметил, что табличное значение ω_α с точностью до 5-го

шестидесятичного знака получается при делении $23400^\circ (65 \times 360^\circ)$ на $25927^{d137/225}$ (71 троп. год — $45\frac{5}{6}^\circ$); неизвестно, однако, применял ли на самом деле при определении ω_α Птолемей такое числовое отношение и если — да, то каким образом оно было им получено [Rawlins, 1987, р.239, п.27].

48. Речь идет о наблюдении Юпитера утром с 17-го на 18-е число месяца эпифи 507 г. эры Набонассара; см. с.349–350 и коммент. 41.

49. $\bar{\lambda} = 285;41$, $\bar{\alpha} = 77;2^\circ$.

50. Поправка за прецессию за интервал $\Delta t = 507^y$ составляет около $5;4^\circ$; в момент наблюдения $\lambda_a = 7;13^\circ$ Девы, отсюда долгота апогея в начальную эпоху $7;13^\circ - 5;4^\circ = 2;9^\circ$ Девы.

51. Методика определения параметров орбиты Сатурна аналогична используемой в теории Марса (кн.X, гл.7) и Юпитера (кн.XI, гл.1); см. также коммент. 51 кн.X.

52. 127, март 26, 18^h ; $\lambda_1 = 181;13^\circ$; для $t_1 = 873^y 246^d 6^h$, согласно таблице кн.III, гл.2, $\bar{\lambda}_\odot = 1;12,54^\circ$.

53. 133, июнь 3, 16^h ; $\lambda_2 = 249;40^\circ$; для $t_2 = 879^y 317^d 4^h$ $\bar{\lambda}_\odot = 9;39,16^\circ$ Близнецов.

54. 136, июль 8, 0^h ; $\lambda_3 = 284;14^\circ$; для $t_3 = 882^y 353^d 0^h$ таблицы кн.III, гл.2 дают $\bar{\lambda}_\odot = 11;14,38^\circ$ Рака. Анализ трех приведенных наблюдений средних противостояний см. в [Czwalina, 1958, р.296–299; Ньютон, 1985, с.309 и след.; Newton, 1976].

55. Таким образом, в данном случае $\Delta t_1 = 6^y 70^d 22^h$, $\Delta t_2 = 3^y 35^d 20^h$ и соответствующие величины $\Delta \lambda_1 = 68;27^\circ$, $\Delta \lambda_2 = 34;34^\circ$, $\Delta \bar{\lambda}_1 = 75;43^\circ$, $\Delta \bar{\lambda}_2 = 37;52^\circ$. См. коммент. 51 к кн.X.

56. Рис. 10.8 и 11.1.

57. Поскольку $\widehat{E\bar{H}} = \widehat{V\Delta\Gamma} - \widehat{V\bar{E}\Gamma}$.

58. Дуга эклиптики $\widehat{AB\Gamma} = \Delta \lambda_1 + \Delta \lambda_2 = 103;1^\circ$.

59. Дуга на эксцентре $\widehat{AB\Gamma} = \Delta \bar{\lambda}_1 + \Delta \bar{\lambda}_2 = 113;35^\circ$.

60. $\widehat{Z\bar{A}E} = \widehat{\Delta\bar{A}E} = \widehat{A\Delta\Gamma} - \widehat{A\bar{E}\Gamma}$.

61. Здесь и далее у Гейберга [Hei II 396, 10] стоит $99;43^p$, однако расчеты дают $99;23^p$ — число, встречающееся также в переводе «Альмагеста» на латинский язык Герардо Кремонского [РА, р.527, п.24].

62. $\widehat{E\Delta} \cdot \widehat{\Delta\Gamma} = \widehat{\Lambda\Delta} \cdot \widehat{\Delta\Gamma}$ [Евклид, III, 35].

63. $\widehat{\Lambda\Delta} \cdot \widehat{\Delta\Gamma} + \widehat{\Delta\Gamma}^2 = \widehat{\Lambda\Gamma}^2$ [Евклид, II, 5].

64. Величина эксцентриситета определена неточно; правильное значение $\Delta K = 7;3,33^p$ [РА, р.528, п.25].

65. Здесь также суммарная погрешность вычислений Птолемея достигает существенной величины; правильное значение $\Xi M = 38;1$ [РА, р.529, п.26].

66. $180^\circ - (\tilde{\Gamma}\tilde{\Xi} - \tilde{\Xi}M) = \tilde{\Gamma}L$.

67. Речь идет об экванте; подробнее о переходе от предварительной модели простого эксцентра к модели с эквантом см. коммент. 65 кн.Х.

68. Угол $EA\Theta$ — внешний для треугольника AEE , поэтому $\hat{AEE} = \hat{EA\Theta} - \hat{EE\Theta}$.

69. $\Delta\lambda'_1 = 9;46^\circ$ Стрельца — $1;4^\circ$ Весов = $68;42^\circ$.

70. $\Delta\lambda'_2 = 14;24^\circ$ Козерога — $9;46^\circ$ Стрельца = $34;38^\circ$.

71. Речь идет о дугах среднего расстояния $\bar{\kappa}$ центра эпицикла от апогея.

72. Утверждается, что третий итерационный шаг не изменит существенно параметры орбиты [РА, р.534, п.28].

73. Имеется в виду эквант.

74. Поскольку AZL — внешний угол для треугольника EAZ , $\hat{AEL} = \hat{AZL} - \hat{EAZ}$.

75. С.352.

76. У Гейберга [Hei II 411, 22] стоит $11;10$, однако вычисления дают $11;1$ — число, встречающееся также в арабских рукописях [РА, р.537, п.29].

77. С.352.

78. С.357, 359.

79. 136, июль 8; 0^h ; с.352 и коммент. 5.

80. Методика определения радиуса эпицикла r аналогична используемой в теории Марса (кн.Х, гл.8) и Юпитера (кн.ХI, гл.2).

81. 138, декабрь 22, 20^h ; «последний градус Овна» — т.е. интервал от конца 29-го до конца 30-го градусов Овна; для $t = 885^y 115^d 8^h$ таблицы кн.III, гл.2 дают $\bar{\lambda}_\odot = 28;41,14^\circ$ Стрельца; опорная звезда — Альдебаран (№14 в созвездии Тельца, $\lambda = 124;3^\circ$ Тельца, $\beta = -5\frac{1}{6}^\circ$); по определению Дж.Бриттона, Сатурн в указанный Птолемеем момент имел координаты: видимая долгота $\lambda_h = 310;27^\circ$, $\beta_h = -1;25^\circ$; координаты центра Луны с учетом рефракции $\lambda_c = 310;33^\circ$, $\beta_c = -1;29^\circ$. Следовательно, в указанный Птолемеем момент Сатурн был покрыт Луной. Данные Птолемея о расстояниях «Луна–Сатурн» и «Луна–Альдебаран» очень хорошо согласуются с результатами вычислений для 19^h [Britton, 1967, р.139–142], а также [НА II, 428–429, Апм. 22.1].

82. Не вполне ясно, для какого момента вычислены указанные величины. Согласно Дж.Тумеру, здесь уравнение времени относительно эпохи $E = -13\frac{3}{4}'$; соответственно средние положения Луны как будто вычислены для $t = 7;50^h$ после полудня, а не для 8^h , однако истинная долгота слишком велика. Дж.Тумер нашел

	$7;50^h$	8^h	Птолемей
$\bar{\lambda}_c$	$308;52^\circ$	$308;58^\circ$	$308;55^\circ$
$\bar{\alpha}_c$	$174;15^\circ$	$174;20^\circ$	$174;15^\circ$
λ_c	$309;29^\circ$	$309;35^\circ$	$309;40^\circ$

Параллакс по долготе, согласно таблицам кн.V, гл.18, $p_\lambda = -1\frac{1}{4}^\circ$ (текст: $-1;6^\circ$) [РА, р.538, п.31], а также [НА II, 410, Апм. 8].

83. 136, июль 8, с.352 и коммент. 54 к этой кн.

84. Соответственно $\bar{\kappa} = 56;30^\circ + 30;3^\circ = 86;33^\circ$ и $\bar{\alpha} = 174;44^\circ + 134;24^\circ = 309;8^\circ$.

85. Рис. 11.21 подобен рис. 10.17 и рис. 11.10, используемым соответственно в теориях Марса и Юпитера.

$$86. \hat{AEB} = \hat{AZB} - \hat{EBZ}.$$

$$87. \hat{KEB} = \hat{AEB} - \hat{AEK}.$$

$$88. \text{Дуга } HK = 360^\circ - 309;8^\circ = 50;2^\circ.$$

$$89. \hat{BKN} = \hat{OBK} - \hat{KEB}.$$

90. -228, март 1, 18^h; «звезда на южном плече Девы» — γ Vir (№7 в созвездии Девы; координаты $\lambda = 13\frac{1}{6}$ Девы, $\beta = +25\frac{5}{6}^\circ$); «на 2 пальца ниже» — т.е. южнее на $0;10^\circ$; для $t = 518^y 133^d 6^h$ таблицы кн.III, гл.2 дают $\bar{\lambda}_\odot = 6;8,50^\circ$ Рыб, для 7^h: $\bar{\lambda}_\odot = 6;11,17^\circ$ Рыб [НА II, 247, Ант. а]. Анализ наблюдения см. в [Ньютон, 1985, с.312, Newton, 1976, p.719].

91. Прецессионное смещение со скоростью 1° в 100 лет за 366 лет равно $3\frac{2}{3}^\circ$. Отсюда долгота звезды $\lambda = 13\frac{1}{6}$ Девы — $3\frac{2}{3}^\circ = 9\frac{1}{2}^\circ$ Девы.

92. С.359.

93. Методика определения средней скорости движения по аномалии аналогична используемой в теории Марса (кн.X, гл.9) и Юпитера (кн.XI, гл.3), см. коммент. 87 к кн.X.

94. Рис. 11.22 подобен рис. 10.18 и рис. 11.11; планета находится в Θ ; $\Theta B \parallel EA$; $\hat{EON} \parallel \hat{AE}$; ΔM и $\hat{ENB}$ перпендикулярны к ΔE и EN ; $ZK \perp \Delta B$.

95. $\hat{AZB} = \hat{B\hat{A}Z} + \hat{\Delta BZ}$ как внешний для треугольника $B\hat{A}Z$.

96. $19;20^\circ$ Скорпиона + $283;33^\circ = 2;53^\circ$ Девы.

97. Поскольку $\bar{\alpha} + \bar{\kappa} = \gamma$; коммент. 46 к кн.X. Точные вычисления дают $\bar{\alpha} = 183;16^\circ$ [РА, р.543, п.36].

98. Согласно Птолемею, за промежуток времени $\Delta t = 364 \times 365^d + 219;45^d = 133\,079;45^d$ средняя аномалия изменилась на величину $\Delta \bar{\alpha} = 351 \times 360^\circ + 351;27^\circ = 126\,711;27^\circ$, отсюда средняя скорость движения по аномалии $\omega_\alpha = \frac{\Delta \bar{\alpha}}{\Delta t} = 0;57,7,43,41,44,18^\circ/d$, однако в кн.IX, гл.3 и таблицах средних движений планет кн.IX, гл.4 используется другая величина: $\omega_\alpha = 0;57,7,43,41,43,40^\circ/d$. Табличное значение ω_α Сатурна с точностью до последнего шестидесятеричного знака получается на основе процедуры, изложенной в коммент. 19 к кн.IX.

99. У Гейберга принята величина $216;9^\circ$ [Hei II 425, 14], однако должно быть $216;10^\circ$. Последнее число встречается в ряде рукописей, оно подтверждается также приведенной ниже величиной $26;43^\circ$, зафиксированной также в таблицах кн.IX, гл.4. Птолемей, вероятно, допустил здесь небольшую вычислительную ошибку [НАМА, р.182, п.15; РА, р.543, п.39].

100. Во время противостояния [3] апогей имел долготу $19;20^\circ$ Скорпиона (362); прецессионное смещение за $518\frac{1}{3}$ лет со скоростью 1° в 100 лет равно $5;11^\circ$; вычитая, находим в начальную эпоху $\lambda_\alpha = 14;9^\circ$ Скорпиона; расхождение с текстом может быть объяснено округлением или допущенной ошибкой [РА, р.544, п.40].

101. До сих пор определялись средние положения планет по наблюдаемым видимым положениям; теперь решается обратная задача: по известным средним положениям ($\bar{\kappa} = \hat{AZB}$ и $\bar{\alpha} = \hat{NBK}$, рис. 11.23) и принятым параметрам орбиты должно быть вычислено видимое положение относительно линии апсид ($\hat{AEK}$).

102. Речь идет, по-видимому, о простой эксцентрической модели и о модели с эквантом.

103. Поскольку не связан с необходимостью аппроксимирования величин в таблицах.

104. Кн.III, гл.6 и кн.V, гл.8.

105. Имеется в виду величина $2e = EZ$; простаферез, или уравнение центра, на рис. 11.23 представлен углом ZBE .

106. По экванту.

107. По деференту, центр которого Δ находится посередине между наблюдателем E и центром экванта Z .

108. Кн.Х, гл.7, кн.ХI, гл.1 и кн.ХI, гл.5, а также коммент. 51 к кн.Х, в особенности пункты [D.1] [G.1].

109. В «Подручных таблицах», предназначенных для практического использования, две указанные колонки объединены в одну, однако «Альмагест» — учебник теоретической астрономии и как таковой должен включать подробности вычислений.

110. Т.е. в предположении, что эпициклическое уравнение θ есть функция истинной аномалии α , отсчитываемой в прямом направлении от истинного апогея эпицикла.

111. Радиусы эпициклов вычислены по отношению к радиусу деферента $R = 60^P$.

112. Согласно формуле $R_{\max} = R + e$ для Сатурна $60^P + 3;25^P = 63;25^P$; для Юпитера $60^P + 2;45^P = 62;45^P$; для Марса $60^P + 6^P = 66^P$; для Венеры $60^P + 1;15^P = 61;15^P$; для Меркурия $R_{\max} = R + 3e = 60^P + 3 \times 3^P = 69^P$.

113. Согласно формуле $R_{\min} = R - e$ для всех планет, кроме Меркурия, у которого минимум расстояния имеет место при $\bar{\kappa} = \pm 120^\circ$ и определяется более сложным способом, см. кн.IX, гл.9, с.310,311.

114. Содержание столбцов таблицы прокомментируем, следуя [НАМА, р.183–184], рис. 11-А и 11-В соответствуют Fig.184, 185 в [НАМА, р.1263], изменены только некоторые обозначения. Таблицы предназначены для определения истинной

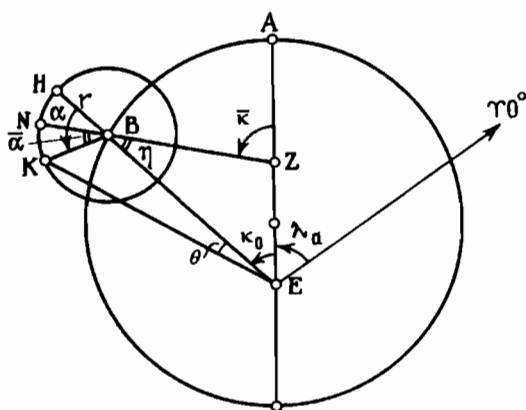


Рис. 11-А

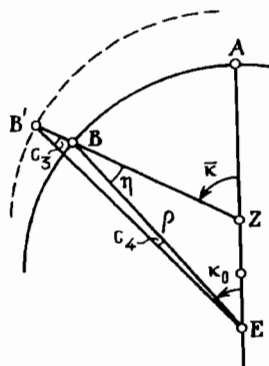


Рис. 11-В

долготы планеты ($\lambda = \widehat{Y\hat{E}K}$) по известным средним положениям $\bar{\kappa}$, $\bar{\alpha}$ и λ_a . Очевидно, что истинная долгота $\lambda = \lambda_a + \kappa_0 + \theta$, причем κ_0 может быть выражена через $\bar{\kappa}$ и η . В таблицах представлены эксцентрическая аномалия (уравнение центра) η и эпициклическая аномалия θ как функции аргументов $\bar{\kappa}$ и α . Столбцы 1 и 2 содержат значения аргумента от 0° до 180° и от 180° до 360° соответственно. Обозначим, следуя О.Нейгебауэру, функции в столбцах 3–8 через $c_3 + c_8$. Тогда $c_3(\bar{\kappa})$ — угол, под которым виден эксцентриситет $2e = EZ$ из точки экванта, где предполагается центр эпицикла B' ; $c_4(\bar{\kappa})$ — поправка, учитывающая тот факт, что центр эпицикла на самом деле находится в точке B деферента; отсюда уравнение центра $\eta = c_3 + c_4$. Аргументом для определения функций в колонках 5–7 служит истинная

аномалия планеты α . Эпициклическая аномалия θ есть функция двух переменных — истинной аномалии α и расстояния $EB = \rho$ (т.е. в конечном счете — $\bar{\kappa}$). Она определяется следующим образом. Функция $c_6(\alpha)$ дает значение θ для среднего расстояния ($EB = R = 60^p$), а $c_5(\alpha)$ и $c_7(\alpha)$ — разности между величиной θ на среднем расстоянии и соответствующими величинами на максимальном ($\bar{\kappa} = 0$) и минимальном ($\bar{\kappa} = 180^\circ$, а для Меркурия $\bar{\kappa} = \pm 120^\circ$) расстояниях. Таким образом на максимальном расстоянии $\theta = c_6(\alpha) - c_5(\alpha)$, на минимальном $\theta = c_6(\alpha) + c_7(\alpha)$. В промежуточном положении, когда величина $\bar{\kappa}$ произвольна, θ определяется с помощью нормирующего коэффициента $c_8(\bar{\kappa})$, который равен -1 в апогее, $+1$ в перигее и 0 на среднем расстоянии соответственно, как это сделано в лунной теории:

$$\theta(\alpha, \bar{\kappa}) = c_6(\alpha) + c_8(\bar{\kappa}) \times \begin{cases} c_5(\alpha), & \text{если } c_8 \leq 0, \\ c_7(\alpha), & \text{если } c_8 \geq 0 \end{cases}$$

(знак c_8 указан в таблице), причем

$$\begin{aligned} \theta(\alpha) > 0, & \text{ если } 0 \leq \alpha \leq 180^\circ (\alpha \text{ в столбце 1}), \\ \theta(\alpha) < 0, & \text{ если } 180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ (\alpha \text{ в столбце 2}). \end{aligned}$$

115. Таким образом $\bar{\kappa} = \widehat{ABE} = 30^\circ$.

116. У Гейберга [Hei II, 433,4] стоит $61;26^p$, но правильно $61;6^p$, что подтверждается расчетами и рядом рукописей [НА II, 258, Апп. а); РА, р.547, п.52].

117. Для Марса, например, $GE = 65;24^p$, $EH = 39;30^p$; полагая $GE = 120^p$, находим $EH = 72;28,37^p$, откуда дуга на EH (согласно таблице хорд кн. I, гл. 11) равна $74;18,38^\circ$ и $E\widehat{GH} = 37;9,19^\circ \approx 37;9^\circ$.

118. Для Марса на максимальном расстоянии $GE : EH = (R + r/r) = 66^p : 39;30^p$. Полагая $R + r = 120^p$, находим $r = 71;49,5^p$ и по таблице хорд дуга на $EH = 73;31,13^\circ$; откуда $\eta_{\max} = \widehat{E\widehat{GH}} = 36;45,36^\circ$.

119. Для Сатурна $6;13^\circ - 5;55,30^\circ = 0;17,30$, для Юпитера $11;3^\circ - 10;36,30^\circ = 0;26,30^\circ$; для Марса $41;10 - 37;9 = 4;1^\circ$ и т.д.

120. Для Сатурна $0;17,30 : 0;20 = 0;52,30$; для Юпитера $0;26,30 : 0;29 = 0;54,50$; для Марса $4;1 : 4;25 = 0;54,34$ и т.д.

121. Нетрудно убедиться, что значения c_8 на самом деле вычислены через 6° в той области, где аргумент меняется через 3° : нечетные значения аргумента здесь равняются всегда полусумме предшествующего и последующего значений.

122. Рассмотрим метод вычисления $c_8(\bar{\kappa})$, следуя О. Нейгебауэру. Пусть μ — максимальное эпициклическое уравнение, когда центр эпицикла находится на среднем расстоянии от наблюдателя, m — максимальное уравнение на максимальном расстоянии, M — максимальное уравнение на минимальном расстоянии, $\theta_0(\bar{\kappa})$ — максимальное эпициклическое уравнение для произвольного $\bar{\kappa}$, тогда

$$c_8(\bar{\kappa}) = \frac{\theta_0 - \mu}{\mu - m},$$

если центр эпицикла находится между апогеем и точкой среднего расстояния, и

$$c_8(\bar{\kappa}) = \frac{\theta_0 - \mu}{M - \mu},$$

если центр эпицикла находится между точкой среднего расстояния и перигеем (или между двумя перигеями для Меркурия) [НАМА, р. 185–186].

123. В таблицы внесено шесть исправлений, согласно К. Манициусу и Дж. Тумеру [РА, р. 548, п. 55].

124. Речь идет о видимой долготе центра эпицикла $\kappa_0 = \bar{\kappa} - \eta$ и истинной аномалии $\alpha = \bar{\alpha} + \eta$ (рис. 11-А).

125. Знак «минус» в этом столбце означает, что центр эпицикла расположен ближе к апогею, чем на среднем расстоянии, которому соответствует $c_8(\bar{\kappa}) = 0$; близость к перигею отмечается знаком «плюс».

126. Отсюда истинная долгота планеты по известным средним положениям определяется следующим образом.

1. Исходными величинами служат λ_a , $\bar{\kappa} = \lambda - \lambda_a$ и $\bar{\alpha}$. Долгота апогея $\lambda_a = \lambda_0 + p(t - t_0)$, где λ_0 — долгота апогея в начальную эпоху t_0 (приводится в оглавлении таблицы), p — постоянная прецессии; средняя долгота планеты $\bar{\lambda}$ и средняя аномалия $\bar{\alpha}$ определяются по таблицам кн.IX, гл.4 (см. коммент. 26 к кн.IX).

2. Эксцентрическая аномалия η . В столбцах 3 и 4 для установленного $\bar{\kappa}$ находим $c_3(\bar{\kappa})$ и $c_4(\bar{\kappa})$ со своим знаком; отсюда $\eta = c_3 + c_4$.

3. Видимое расстояние центра эпицикла от апогея $\kappa_0 = \bar{\kappa} - \eta$, причем $\eta > 0$, если $0^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 180^\circ$ (в первом столбце) и $\eta < 0$, если $180^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 360^\circ$ (в столбце 2).

4. Истинная аномалия $\alpha = \bar{\alpha} + \eta$, причем $\eta > 0$, если $0 \leq \kappa \leq 180^\circ$, и $\eta < 0$, если $180^\circ \leq \kappa \leq 360^\circ$.

5. Эпициклическое уравнение θ . В столбце 6, используя в качестве аргумента α , находим $c_6(\alpha)$ — максимальное эпициклическое уравнение на среднем расстоянии. В столбце 8, беря в качестве аргумента $\bar{\kappa}$, находим $c_8(\bar{\kappa})$. Если $c_8(\bar{\kappa}) < 0$, то в столбце 5 берем значение $c_5(\alpha)$ и определяем

$$\theta = c_6(\alpha) + c_8(\bar{\kappa}) \cdot c_5(\alpha).$$

Если $c_8(\bar{\kappa}) > 0$, то в столбце 7 берем $c_7(\alpha)$ и находим

$$\theta = c_6(\alpha) + c_8(\bar{\kappa}) \cdot c_7(\alpha).$$

В окончательной формуле для λ величина $\theta(\alpha, \bar{\kappa})$ берется со своим знаком, причем

$$\begin{aligned} \theta(\alpha) &\geq 0, & \text{если } 0 \leq \alpha \leq 180^\circ, \\ \theta(\alpha) &\leq 0, & \text{если } 180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ. \end{aligned}$$

6. Истинная долгота

$$\lambda = \lambda_a + (\bar{\kappa} - \eta) + \theta = \lambda_a + \kappa_0 + \theta,$$

где η и θ берутся с соответствующими знаками.

Рассмотрим три примера вычисления долготы планеты согласно методике Птолемея.

I. Определить истинную долготу Юпитера.

Дата: 886 г. эры Набонассара, месоре 26/27, 5^h после полуночи (наблюдение Птолемея в кн.XI, гл. 2, с.348).

1. Положение апогея в начальную эпоху 2;9° Девы.

Прецессионное смещение за 886 лет 8;52°.

Долгота апогея в момент наблюдения $\lambda_a = 2;9^\circ \text{ Девы} + 8;52^\circ = 11;1^\circ \text{ Девы} = 161;1^\circ$.

По таблицам средних движений находим среднюю долготу и среднюю аномалию:

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\alpha}$
t_0	184;41°	146; 4°
810 ^y	95; 8,54°	67;55,18°
72 ^y	24;27,27°	318; 2,15°
3 ^y	91; 1, 9°	268;15, 6°
330 ^d	27;25,49°	297;49,45°
25 ^d	2; 4,41°	22;33,46°
17 ^h	0; 3,32°	0;38,21°
885 ^y 335 ^d 17 ^h	424;52,32°	1121;18,31°

Отсюда $\bar{\lambda} = 64;52,32^\circ$, $\bar{\alpha} = 41;18,31^\circ$ (текст: 41;18°).

Среднее расстояние центра эпицикла от апогея $\bar{\kappa} = \bar{\lambda} - \lambda_a = 263;51,32 \approx 263;52^\circ$.

2. Эксцентрическая аномалия: по $\bar{\kappa}$ в столбцах 3 и 4 (таблица в кн. XI, гл. 11) находим $c_3 = 5;16^\circ$, $c_4 = -0;1$, отсюда $\eta = 5;16^\circ - 0;1^\circ = 5;15^\circ$ (текст: $\widehat{EBZ} = 10;30$ половинных градусов).

3. Видимое расстояние центра эпицикла от апогея $\kappa_0 = \bar{\kappa} - \eta = 262;52^\circ + 5;15^\circ = 269;7^\circ$; $\eta < 0$, поскольку $\bar{\kappa}$ в столбце 2.

4. Истинная аномалия $\alpha = \bar{\alpha} + \eta = 41;19^\circ - 5;15^\circ = 36;4^\circ$ (текст: $\widehat{\Theta BK} = 72;6$ половинных градусов).

5. Эпициклическая аномалия: по $\alpha = 36;4^\circ$ в столбце 6 находим $c_6 = 5;34^\circ$; по $\bar{\kappa}$ в столбце 8 находим $c_8 = +0;1,52$. Поскольку $c_8 > 0$, берем по α в столбце 7 $c_7 = 0;13^\circ$, отсюда $\theta = c_6 + c_8 c_7 = 5;34^\circ + 0;1,52^\circ \times 0;13 = 5;34 + 0;0,24 \approx 5;34^\circ$ (текст: $\widehat{BEK} = 11;14$ половинных градусов); $\theta > 0$, поскольку α в столбце 1.

6. Истинная долгота $\lambda = \lambda_a + \kappa_0 + \theta = 161;1^\circ + 269;7^\circ + 5;34^\circ = 75;42^\circ = 15;42^\circ$ Близицецов (текст: $15\frac{3}{4}^\circ$ Близицецов).

II. Вычислить истинную долготу Меркурия.

Дата: 486 г. эры Набонассара, паини 30, 8^h после полудня (наблюдение максимальной элонгации из списка Гиппарха, кн. IX, гл. 7, с. 305).

1. Положение апогея в начальную эпоху $1;10^\circ$ Весов.

Прецессионное смещение за интервал 486 лет $4;52^\circ$.

Долгота апогея в момент наблюдения $\lambda_a = 1;10^\circ$ Весов $+ 4;52^\circ = 6;2^\circ$ Весов $= 186;2^\circ$.

Средняя долгота и средняя аномалия (таблица кн. IX, гл. 4):

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\alpha}$
t_0	330;45°	21;55°
486 ^y	246;13, 6°	49;19,50°
17 ^y	355;52, 1°	197; 4, 3°
270 ^d	266; 7,17°	118;48,31°
29 ^d	28;35, 0°	90; 5, 8°
8 ^h	0;19,43°	1; 2, 8°
485 ^y 299 ^d 8 ^h	1227;52, 7°	475;20,11°

$$\bar{\lambda} = 147;52,7^\circ, \quad \bar{\alpha} = 115;20,11^\circ$$

Среднее расстояние центра эпицикла от апогея

$$\bar{\kappa} = \bar{\lambda} - \lambda_a = 147;52,7^\circ - 186;2^\circ = 321;50,7^\circ.$$

2. Эксцентрическая аномалия: по $\bar{\kappa}$ в столбцах 3 и 4, интерполируя, находим $c_3 = 1;42^\circ$, $c_4 = -0;4$, $\eta = c_3 + c_4 = 1;38^\circ$.

3. Видимое расстояние центра эпицикла $\kappa_0 = \bar{\kappa} - \eta = 321;50^\circ + 1;38^\circ = 323;28^\circ$ ($\eta < 0$, поскольку $\bar{\kappa}$ в столбце 2).

4. Истинная аномалия

$$\alpha = \bar{\alpha} + \eta = 115;20^\circ - 1;38^\circ = 113;42^\circ.$$

5. Эпициклическое уравнение:

по α в столбце 6 находим $c_6(\alpha) = 22;1^\circ$,

по $\bar{\kappa}$ в столбце 8 находим $c_8(\bar{\kappa}) = -0;37,16$.

Поскольку $c_8(\bar{\kappa}) < 0$, в столбце 5 берем $c_5(\alpha) = 3;4^\circ$, откуда

$$\theta = c_6 + c_8 c_5 = 22;1^\circ - 0;37,16 \times 3;4^\circ = 22;1^\circ - 1;54^\circ = 20;7^\circ;$$

$\theta > 0$, поскольку $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$, т.е. α в столбце 1.

6. Истинная долгота $\lambda = \lambda_a + \kappa_0 + \theta = 186;2^\circ + 323;28^\circ + 20;7^\circ = 529;37^\circ \rightarrow 169;37^\circ = 19;37^\circ$ Девы (текст: $19\frac{1}{2}^\circ$ Девы).

III. Определить истинную долготу Венеры.

Дата: 476 г. эры Набонассара, месоре 17/18, 18^h (наблюдение Тимохариса, кн.Х, гл.4, с.321–322).

1. Положение апогея в начальную эпоху $16;10^\circ$ Тельца.

Прецессионное смещение за интервал 476 лет $4;46^\circ$.

Долгота апогея в момент наблюдения $\lambda_a = 16;10^\circ$ Тельца $+ 4;46^\circ = 20;56^\circ$ Тельца $= 50;56^\circ$.

Средняя долгота и средняя аномалия (таблица кн. IX, гл.4):

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\alpha}$
t_0	330;45°	71; 7°
468 ^y	246;13, 6°	192; 1,19°
7 ^y	358;17,53°	135;10,47°
330 ^d	325;15,35°	203;26,52°
16 ^d	15;46,13°	9;51,51°
18 ^h	0;44,21°	0;27,45°
475 ^y 346 ^d 18 ^h	1277; 1, 9°	612; 5,34°

$$\bar{\lambda} = 197;1,9^\circ; \quad \bar{\alpha} = 252;5,34^\circ.$$

Среднее расстояние центра эпицикла от апогея $\bar{\kappa} = \bar{\lambda} - \lambda_a = 197;1,9^\circ - 50;56^\circ = 146;5,9^\circ$.

2. Эксцентрическая аномалия: по $\bar{\kappa}$ в столбцах 3 и 4 таблицы кн. XI, гл.11, интерполируя, находим $c_3 = 1;23^\circ$, $c_4 = -0;2^\circ$, $\eta = 1;23^\circ - 0;2^\circ = 1;21^\circ$ (текст: $\widehat{BZ\Delta} = 2;44$ половинных градуса).

3. Видимое расстояние центра эпицикла от апогея $\kappa_0 = \bar{\kappa} - \eta = 146;5^\circ - 1;21^\circ = 144;44^\circ$ ($\eta > 0$, поскольку $0 \leq \bar{\kappa} \leq 180^\circ$, т.е. $\bar{\kappa}$ в столбце 1).

4. Истинная аномалия $\alpha = \bar{\alpha} + \eta = 252;6^\circ + 1;21^\circ = 253;27^\circ$.

5. Эпициклическое уравнение: по α в столбце 6, интерполируя, находим $c_6(\alpha) = 40;55^\circ$; по $\bar{\kappa}$ в столбце 8 находим $c_8(\bar{\kappa}) = +0;49,2$. Поскольку $c_8(\bar{\kappa}) > 0$, берем из столбца 7 $c_7(\alpha) = 0;46$; откуда $\theta = c_6 + c_8 c_7 = 40;55^\circ + 0;49,2 \times 0;46^\circ = 40;55^\circ + 0;38^\circ = 41;33^\circ$ (текст: $\widehat{Z\Delta K} = 83;2$ половинных градуса); $\theta < 0$, поскольку $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$.

6. Истинная долгота $\lambda = \lambda_a + \kappa_0 + \theta = 50;56^\circ + 144;44^\circ - 41;33^\circ = 154;7^\circ = 4;7^\circ$ Девы (текст: $4\frac{1}{6}^\circ$ Девы).

Другие примеры определения долготы планеты согласно методике Птолемея см. в [НА II, 415–418, Апп. 14; НАМА, р.186–190; РА, р.657–658].

КНИГА ДВЕНАДЦАТАЯ

1. В тексте προφήσεις — буквально «предшествование», тогда как по смыслу надо было бы сказать «попятные движения». Терминология объясняется тем, что попятные движения планет происходят в направлении суточного движения небесной сферы, которое и определяет предшествование и последование. — *Примеч. И.Н.Веселовского.*

2. В кн. IX, гл. 5 Птолемей обосновывает неприменимость эксцентрической модели для описания движений планет; здесь же такая возможность допускается для трех верхних планет. На самом деле эксцентрическая модель может быть применена и для нижних планет, если предположить, что линия апсид эксцентра вращается относительно центра эклиптики, где находится наблюдатель, не со скоростью среднего солнца (как это принято для верхних планет), а со скоростью, равной сумме скоростей среднего солнца и средней аномалии планеты; эта величина есть не что иное как средняя скорость гелиоцентрического движения планеты. Птолемей, по-видимому, не обратил внимания на такую возможность.

3. По мнению О. Нейгебауэра [НАМА, p. 264 и сл.], изложенное в настоящей главе доказательство эквивалентности эпициклической и эксцентрической моделей при объяснении попятных движений планет принадлежит Аполлонию. Однако Дж. Гумер считает, что оно получено самим Птолемеем [РА, p. 556, п. 3]. Этот вопрос, на наш взгляд, не может быть разрешен с полной определенностью, так как соответствующая работа Аполлония не сохранилась. Птолемей здесь приводит собственное доказательство, которое он противопоставляет результатам своих предшественников, а не просто излагает результаты Аполлония. Доказательство Птолемея, однако, включает фрагменты из Аполлония. По этому поводу см. также [SA, p. 340].

4. Поскольку треугольники ΔDZ и ΓMZ , а также ΔDK и $\Gamma K\Lambda$ подобны.

5. Вследствие подобия треугольников $ZN\Delta$ и $ZE\Theta$, $BK\Lambda$ и $KZ\Theta$.

6. Термин «композиция», или *componendo* ($\sigmaυνθέντι$), обозначает сложение отношений согласно правилу: если $a:b=c:d$, то $(a+b):b=(c+d):d$. В данном случае известно, что $\frac{\Delta Z}{Z\Theta} = \frac{BK}{K\Theta}$, откуда $\frac{\Delta Z + Z\Theta}{Z\Theta} = \frac{BK + K\Theta}{K\Theta} = \frac{B\Theta}{K\Theta}$.

7. Термин «выделение», или *dividendo* ($\deltaιελόντι$), обозначает обычно вычитание отношений по правилу: если $a:b=c:d$, то $(a-b):b=(c-d):d$, но в данном случае подразумевается деление членов отношения согласно правилу: если $a:b=c:d$, то $\frac{a}{c}:\frac{b}{d}=\frac{c}{d}:\frac{d}{c}$. Поскольку $\Delta Z + Z\Theta = 2\Theta Z$ и $B\Theta = 2P\Theta$, то $2\Theta Z:Z\Theta = 2P\Theta:OK$, что после «выделения» дает $OZ:Z\Theta = PO:\Theta K$ [РА, p. 17–18, 558, п. 4].

8. Марс совершает (согласно кн. IX, гл. 3, с. 280–281) 37 обращений по аномалии и около 42 обращений по долготе за промежуток, приблизительно равный 79 годам.

9. Приведенная ниже лемма — единственный фрагмент в доказательстве Птолемея, безусловно принадлежащий Аполлонию.

10. [Евклид VI, 1]; площади треугольников с одинаковой высотой относятся как их основания.

11. Поскольку $ZE:EG = ZA:AB$ и $ZA:AB = \Gamma\Delta:AB$.

12. Поскольку из всех линий, проведенных к кругу из точки вне этого круга, наименьшая проходит через его центр [Евклид III, 8].

Здесь сформулировано условие, которому должны удовлетворять размеры и скорости движения в эпициклической модели, чтобы стояния в принципе оказались возможными; обратное условие сформулировано в заключение настоящей главы.

13. [Евклид III, 15].

14. Полагая, что $AB\Gamma\Delta$ на рис. 12.4 есть круг эксцентра.

15. Согласно доказанному выше (с. 374), имеет место соотношение $\Delta Z:Z\Theta = BK:K\Theta$ (рис. 12.2).

16. Так как они опираются в круге на одинаковые дуги [Евклид III, 27]. Птолемей, таким образом, предполагает, что дуга $B\Lambda$ равна дуге ΔM (рис. 12.4).

Это следует из того факта, что положение Θ на диаметре AG фиксировано при заданном Z , поскольку $AZ : ZG = A\Theta : \Theta G$, согласно доказанному выше [РА, р.561, п.13].

17. Планета будет двигаться в обратном направлении по другую сторону от точки, определяемой указанным отношением скоростей.

18. См. с.376, где показано, что при движении в прямом направлении $\frac{1}{2} BN : NZ > HZK : K\Theta N$.

19. Неравенство $\frac{K\Theta N}{KZH} < \frac{V_p}{V_c}$, о котором в данном случае идет речь (V_p — угловая скорость планеты на ее эпицикле, V_c — угловая скорость центра эпицикла), будет выполнено при увеличении угла $K\Theta N$, если одновременно происходит увеличение угла KZH , определяющего попятное движение.

20. С.376.

21. В гл.2–6 кн.ХII при определении величин и продолжительностей попятных движений Птолемей использует один и тот же упрощенный чертеж (рис. 12.6–12.12), на котором точка зрения наблюдателя предполагается совпадающей с центром деферента. На самом деле две указанные точки никогда не совпадают в планетной теории Птолемея. Правильное расположение показано на рис. 12-А (заимствованном из [РА, р.563]), где индексы 1, 2, 3 обозначают соответственно положение эпицикла на среднем, максимальном и минимальном расстояниях от наблюдателя (аналогичный рисунок [НА II, 278]).

22. На среднем расстоянии, которое имеет место в квадратурах, используется упрощенная модель, рассмотренная в предыдущей главе. Однако она дает лишь приближенное совпадение скоростей движения с табличными, поскольку центром вращения является здесь на самом деле не наблюдатель, а эквант. Из-за малости эксцентриситета, однако, этим можно пренебречь. В квадратурах нарушается условие, лежащее в основе теоремы Аполлония о стояниях, а именно то, что движение центра эпицикла заставляет планету двигаться строго перпендикулярно направлению «наблюдатель—планета». Поэтому если мы хотим воспользоваться теоремой Аполлония, то предварительно должны убедиться в том, что совмещение экванта и точки, в которой находится наблюдатель, не влияет существенно на конечный результат. Подробнее см. [РА, р.563, п.17; НАМА, р.191–192].

23. Кн.ХI, гл.6, с.361.

24. [Евклид III, 35].

25. Если использовать точные значения средних суточных движений по долготе и аномалии для Сатурна, приведенные в кн.ХI гл.4, то получим отношение 1 : 28;25,55. Однако Птолемей, возможно, использовал здесь не точные значения, а округленные. Так, если ограничиться тремя шестидесятеричными знаками, 0;57,7,43°/d и 0;2,0,34°/d, то получим 1 : 28;25,48 [РА, р.564, п.19], а также [НА II, 279 а)].

26. Точные вычисления дают 36;21,20°.

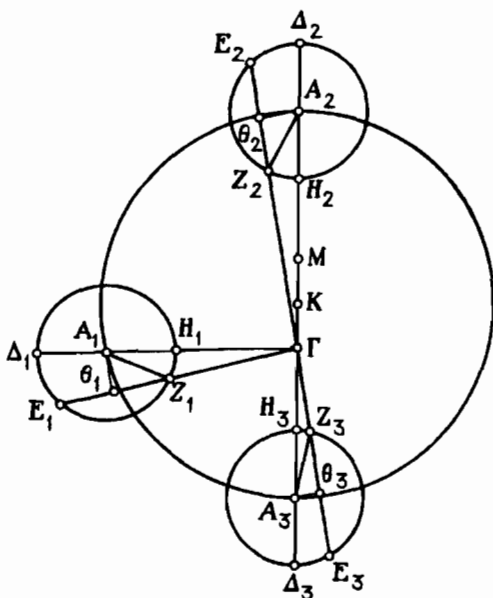


Рис. 12-А

27. Если x — число градусов долготы, на которые продвинулся центр эпицикла, то имеет место линейная зависимость $x : 65;52,12 = 1 : 28,25,46$, откуда $x = 2;19,1$.

28. Видимое смещение планеты по долготе $5;57,10^\circ - 2;19^\circ = 3;38,10^\circ$; соответствующий промежуток времени $2;19^\circ : 0;2,0,34^\circ/d = 69;11^d \approx 69^d$.

29. Птолемей предполагает, что в момент оппозиции (см. рис. 12-В) центр эпицикла находится на линии апсид эксцентра посередине между стояниями; в моменты же стояний он сдвинут относительно линии апсид на небольшую величину, так что расстояние ГА от наблюдателя до центра эпицикла остается равным максимальному $R + e = 63;25^p$, полученному в кн. XI, гл. 5. Отношение скоростей на максимальном расстоянии, как оно представляется из Г, не совпадает с полученным ранее для среднего расстояния. Скорость центра эпицикла будет меньше, чем на среднем расстоянии, поскольку наблюдатель в Г находится теперь дальше от А, чем центр равномерного вращения М. С другой стороны, скорость движения по аномалии будет казаться увеличившейся, так как наблюдатель отсчитывает ее теперь от истинного апогея Δ, а не от среднего апогея В. Изменения обеих скоростей определяются изменением угла $\eta = \widehat{BA\Delta} = \widehat{GAO}$, представляющего в одно и то же время разность между средней и истинной долготами центра эпицикла и разность между средней и истинной аномалиями планеты. Он определяется с помощью таблиц кн. XI, гл. 11, столбцы 3 и 4, в виде суммы $\eta = c_3(\kappa) + c_4(\kappa)$, как функция средней эксцентрической аномалии κ , отсчитываемой от апогея эксцентра. Если c' есть

изменение η , соответствующее $\Delta\kappa = 1^\circ$, то нетрудно показать, что на максимальном расстоянии отношение скоростей

$$c = \frac{1 - c'}{\bar{c} + c'},$$

где $\bar{c}$ — отношение скоростей на среднем расстоянии. Полагая, что вблизи апогея $\kappa \approx 0$, Птолемей по таблице кн. XI, гл. 11 для Сатурна находит

$$c' = \frac{1}{6} [c_3(6^\circ) + c_4(6^\circ)] = \frac{1}{6} [0;37^\circ + 0;2^\circ] = 0;6,30^\circ,$$

отсюда

$$c = \frac{1^\circ - 0;6,30^\circ}{28;25,46^\circ + 0;6,30^\circ} = \frac{0;53,30^\circ}{28;32,16^\circ}.$$

Подробнее см. [НАМА, р. 193–194; НА II, 418–420, Апп. 16].

30. В греческом тексте речь идет о попятном движении центра эпицикла, что с астрономической точки зрения не имеет смысла. Ошибка исправлена Дж.Тумером [РА, р. 567, п. 29].

31. Выражение «видимое движение» по эпициклу означает здесь движение относительно истинного, а не среднего апогея, см. также коммент. 29.

32. Можно предположить, как это делает К.Манициус [НА II, 283], что указанная величина получена на основе отношения $67;15,17 \times \frac{0;53,30}{28;32,16} = 2;6,5$, однако это неверно. Действительный метод определения перемещения по долготе планеты для максимального и минимального расстояний объясняется в конце гл. 6 кн. XII (с. 388). Согласно этому методу находим $\bar{\kappa}' = 67;15,17 \times \frac{1}{28;32,16} = 2;21,24^\circ$.

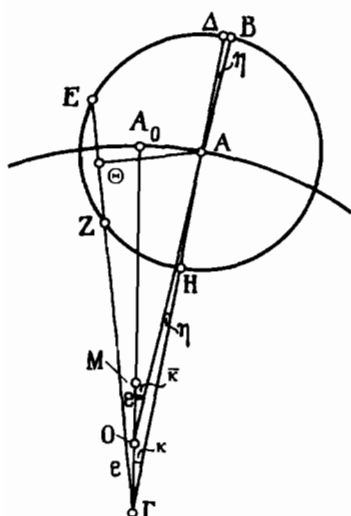


Рис. 12-В

Установленной величине $\bar{\kappa}'$ соответствует уравнение $\eta = 0;15,19^\circ$; вычитая его из $67;15,17^\circ$, получаем приблизительно 67° . Затем находим $\bar{\kappa} = 67^\circ \times \frac{1}{28;25,46} = 2;21,25^\circ$. Отсюда $\kappa = \bar{\kappa} - \eta = 2;21,25^\circ - 0;15,19^\circ = 2;6,6^\circ$, см. [РА, р.567, п.31], а также коммент. 94.

$$33. 2;21,25^\circ : 0;2,0,33^\circ/d = 70;24^d \approx 70\frac{1}{3}^d.$$

34. В перигее эксцента расстояние центра эпицикла от наблюдателя $\Gamma A = R - e = 56;35^p$. Отношение скоростей определяется формулой $c = \frac{\bar{c} - c'}{1 + c'}$, см. коммент. 29. Для аргумента $\bar{\kappa} \approx 177^\circ (180^\circ - 3^\circ)$ по таблице кн. XI, гл. 11 для Сатурна находим

$$c' = \frac{1}{3} [c_3(177^\circ) + c_4(177^\circ)] = \frac{1}{3} [0;24^\circ - 0;2^\circ] = 0;7,20^\circ,$$

отсюда

$$c = \frac{1 + 0;7,20^\circ}{28;25,46^\circ - 0;7,20^\circ} = \frac{1;7,20^\circ}{28;18,26^\circ}.$$

Подробнее см. [НАМА, р.196; РА, р.568, п.32].

35. У Гейберга [Hei II 471, 20] стоит $864;49,50$, но должно быть, как показал Дж.Тумер, $864;49,58$ [РА, р.568, п.36].

36. Должно быть $1;54,41$ [РА, р.568, п.36].

37. Вычисления аналогичны рассмотренным в коммент. 32. Находим $\bar{\kappa}' = 64;31,10^\circ \times \frac{1}{28;18,26} = 2;16,45^\circ$. При $\bar{\kappa} = 180^\circ - 2;16,45^\circ$ уравнение $\eta = 0;16,43^\circ$.

Отсюда $\beta + \eta = 64;31,10^\circ + 0;16,43^\circ = 64;47,53^\circ$. Результат умножаем на $\frac{1}{28;25,46}$, что дает $\bar{\kappa} = 2;16,45^\circ$. Отсюда $\kappa = \bar{\kappa} + \eta = 2;16,45^\circ + 0;16,43^\circ = 2;33,28^\circ$. См. [РА, р.569, п.38] и коммент. 94 к кн. XII.

$$38. 2;16,45^\circ : 0;2,0,33^\circ/d = 67;51^d \approx 68^d.$$

39. Расчет попятных движений Юпитера производится по той же схеме, что у Сатурна. См. коммент. к гл. 2 кн. XII.

40. Указанное в кн. IX, гл. 3 (с. 280) соотношение периодов для Юпитера приводит к отношению скоростей $2155\frac{1}{6}^\circ : 23\ 400^\circ = 1 : 10;51,27,28$; если же взять табличные значения в гл. IX, кн. 4, ограничившись, как это делает Дж.Тумер в [РА, р.569, п.39], тремя шестидесятеричными знаками, получаем

$$0;4,59,14^\circ/d : 0;54,9,3^\circ/d = 1 : 10;51,28,29.$$

41. Вычислительная ошибка Птолемея; правильное значение $139;36,48$ [РА, р.570, п.40].

$$42. \text{В действительности } 54;21,38^\circ : 10;51,29 = 5;0,23^\circ.$$

$$43. 5;1,24^\circ : 0;4,59,14^\circ/d = 60;26^d \approx 60\frac{1}{2}^d.$$

44. Поэтому мы вправе считать, что центр эпицикла находится на среднем расстоянии в интервале между двумя стояниями.

45. Согласно таблицам кн. XI, гл. 11 (с. 368) для Юпитера

$$c' = \frac{1}{6} (0;30^\circ + 0;1^\circ) = 0;5,10^\circ,$$

отсюда

$$c = \frac{1 - 0;5,10}{10;51,29 + 0;5,10} = \frac{0;54,50}{10;56,39}.$$

См. коммент. 29 к кн. XII.

46. Точнее, $57;6,15$, однако последующие вычисления в тексте основываются на неточной величине [РА, р.574, п.44].

47. Вычислялось согласно методике, изложенной в конце гл.6, кн.ХІІ, с.388; см. коммент. 94 и [РА, р.571, п.45].

48. $5;6,35^{\circ} : 0;4,59^{\circ}/d = 61;28^d = 61\frac{1}{2}^d$.

49. Уравнение, соответствующее 1° эксцентрической аномалии, согласно таблицам гл.11 кн.ХІ (с.368) для Юпитера, $c' = \frac{1}{3} (0;18^{\circ} - 0;1^{\circ}) = 0;5,40^{\circ}$.

Отношение скоростей $c = \frac{1 + 0;5,40}{10;51,19 - 0;5,40} = 1;5,40 : 10;45,49$. См. коммент. 34 к кн.ХІІ.

50. Вычислялось согласно методике, рассмотренной в гл.6, кн.ХІІ, коммент. 96, см. также [РА, р.572, п.47].

51. $4;54,20^{\circ} : 0;4,59^{\circ}/d = 59;1^d \approx 59^d$.

52. Отношение скоростей в обоих случаях, если взять точные периоды для Марса в кн.ІХ, гл.3, с.280–281 $[(42 \times 360^{\circ} + 3;10^{\circ}) : (37 \times 360^{\circ})]$ или же их приближенные значения из таблиц в кн.ІХ, гл.4 $(0;31,26,36 : 0;27,41,40)$, составит $1 : 0;52,50,46$.

53. Кн.Х, гл.8 и кн.ХІ, гл.10.

54. Точнее, $803;50,33$; однако ошибка не влияет на дальнейшие вычисления [РА, р.572, п.49].

55. $16;50,48 \times (1 : 0;52,51) = 19;7,33^{\circ}$.

56. $19;7,33^{\circ} : 0;31,26,37^{\circ}/d \approx 36;30^d = 36\frac{1}{2}^d$.

57. В данном случае нельзя пренебречь изменением расстояния ΓA (рис. 12-В) при удалении центра эпицикла от линии апсид эксцентра ΓA_0 на величину $\kappa \approx 19^{\circ}$, как это имело место в аналогичной ситуации для Сатурна и Юпитера (где $\kappa \approx 2^{\circ}$ и 5°) (с.380–381 и коммент. 29). Согласно О.Нейгебауэру, в апогее эксцентра $\Gamma A = R + e - 0;15^p = 65;45,5^p$, в перигее $\Gamma A = R - e - 0;26^p = 54;26,27^p$; Птолемей берет среднее из этих значений: $\pm \frac{1}{2} (0;15 + 0;26) \approx \pm 0;20^p$ [НАМА, р.200]. Однако Дж.Тумер приводит другие значения: в апогее при $\kappa = 19;7,33^{\circ}$ $\Gamma A = 65;38,12^p \approx 65^p - 0;22^p$; в перигее при $\kappa = 160;52,27^{\circ}$ $\Gamma A = 54;17,56^p \approx 54^p + 0;18^p$; средняя величина отклонения $\pm 0;20^p$ [РА, р.573, п.50].

58. Величина c' (см. коммент. 29) здесь определяется в интервале $18^{\circ} \leq \kappa \leq 24^{\circ}$; соответственно (кн.ХІ, гл.11, с.369) $c' = \frac{1}{6} (4;16^{\circ} - 3;13^{\circ}) = 0;10,30^{\circ}$ (причина расхождения с величиной Птолемея неясна); отсюда отношение скоростей в апогее

$$c = \frac{1 - 0;10,20}{0;52,51 + 0;10,20} = 0;49,40 : 1;3,11.$$

59. Точнее, $81;13,28$ [РА, р.574, п.52].

60. Метод, с помощью которого вычислены эти величины, поясняется Птолемеем в конце гл.6 кн.ХІІ, с.388, см. также коммент. 94.

61. $20;58,21^{\circ} : 0;31,26,37^{\circ}/d = 40;1^d \approx 40^d$.

62. Величина c' (см. коммент. 29) определяется здесь в интервале $159^{\circ} \leq \kappa \leq 162^{\circ}$; соответственно

$$c' = \frac{1}{3} (4;33^{\circ} - 3;55^{\circ}) = 0;12,40^{\circ}.$$

Отсюда отношение скоростей

$$c = \frac{1 + 0;12,40}{0;52,51 - 0;12,40} = 1;12,40 : 0;40,11.$$

63. Точнее, $127;40,3$ [РА, р.575, п.55].

64. Вычисления производились согласно методике кн.ХІІ, гл.6, с.388, см. также коммент. 94.

$$65. 16;52,52^{\circ} : 0;31,26,37^{\circ}/d = 32;13^d = 32\frac{1}{4}^d.$$

66. Отношение скоростей, согласно соотношению периодов для Венеры, приведенному в кн. IX, гл. 3, с. 281: $[(5 \times 360^{\circ}) : (8 \times 360^{\circ} - 2;15^{\circ})] = 1 : 0;37,31,45$; если же оставить первые три шестидесятеричных знака в табличных значениях скоростей, получим $0;36,59,26 : 0;59,8,17 = 1 : 0;37,32$.

67. Так после исправления Гейбергом приведенной в тексте величины 1057;56; однако Дж.Тумер настаивает на исправлении 1057;51, согласующемся с дальнейшими вычислениями [РА, р. 575, п. 58].

$$68. 12;52,24 \times \frac{1}{0;37,31} = 20;35,17.$$

$$69. 20;35,19^{\circ} : 0;59,8,17^{\circ}/d = 20;53^d \approx 20\frac{5}{6}^d.$$

70. Здесь, как и в случае Марса, нельзя пренебречь изменением расстояния ГА при удалении центра эпицикла от линии апсид в моменты стояний на величину $\kappa = 20;35,19^{\circ}$. Согласно О. Нейгебауэру, при указанном κ в апогее $GA = R + e - 0;4,26^p = 61;10,34^p$, в перигее $GA = R - e + 0;5,7^p = 58;50^p$, что согласуется с данными Птолемея; такой же приблизительно результат получен Дж.Тумером [РА, р. 577, п. 60].

71. Величина c' определяется в интервале $18^{\circ} \leq \bar{\kappa} \leq 24^{\circ}$; согласно таблицам неравенства для Венеры (кн. XI, гл. 11, с. 370) $c' = \frac{1}{6} (0;58^{\circ} - 0;43^{\circ}) = 0;2,30^{\circ}$, что не согласуется с величиной Птолемея. Возможно, здесь Птолемей ошибочно взял значение суммы $c_3 + c_4$ в интервале $12^{\circ} \leq \bar{\kappa} \leq 18^{\circ}$, где приращение функции составляет $0;14^{\circ}$ и $c' = \frac{0;14^{\circ}}{6} = 0;2,30^{\circ}$. Отсюда

$$c = \frac{1 - 0;2,20}{0;37,31 + 0;2,20} = \frac{0;57,40}{0;39,51}.$$

72. Вычислялось согласно методике, изложенной в конце кн. XII, гл. 6, с. 388; см. также коммент. 94 и [РА, р. 577, п. 62].

$$73. 21;9,3^{\circ} : 0;59,8,17^{\circ}/d = 21;28^d \approx 21\frac{1}{2}^d.$$

74. Таблицы неравенств Венеры (кн. XI, гл. 11; с. 370) дают в интервале $159^{\circ} \leq \bar{\kappa} \leq 162^{\circ}$ $c' = \frac{1}{3} (0;51^{\circ} - 0;45^{\circ}) = 0;2^{\circ}$. Величина c' , вычисленная по таблицам, и на этот раз не совпадает с используемой Птолемеем. Птолемееское значение получим, если пренебрежем изменением c_4 . Далее,

$$c = \frac{1 + 0;2,20}{0;37,31 - 0;2,20} = \frac{1;2,20}{0;35,11}$$

[НАМА, р. 200; РА, р. 577, п. 63].

75. Вычисления производились согласно методике, изложенной в кн. XII, гл. 6, с. 388; см. также коммент. 94 и [РА, р. 578, п. 65].

$$76. 20;4,30^{\circ} : 0;59,8,17^{\circ}/d = 20;22^d \approx 20\frac{1}{3}^d.$$

77. Периодические соотношения для Меркурия, приведенные в кн. IX, гл. 3, с. 281, дают $(145 \times 360^{\circ}) : (46 \times 360^{\circ} + 1^{\circ}) = 1 : 3;9,7$; если ограничиться двумя шестидесятеричными знаками табличных значений, получаем $0;59,8 : 3;6,24 = 3;9,7,54 \approx 3;9,8$.

$$78. 34;56,12 : 3;9,8 = 11;4,59^{\circ}.$$

$$79. \Delta t = 34;56,12^{\circ} : 3;6,24^{\circ}/d = 11;15,56^d \approx 11\frac{1}{4}^d.$$

80. В интервале $6^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 18^\circ$ (см. таблицу кн. XI, гл. 11, с. 371) $c' = \frac{1}{12} (0;47 - 0;17) = 0;2,30^\circ$; в интервале $6^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 12^\circ$ получаем то же значение; вероятно, Птолемею допущена здесь вычислительная ошибка.

81. Отношение скоростей

$$c = \frac{1 - 0;2,20}{3;9,8 + 0;2,20} = \frac{0;57,40}{3;11,28}.$$

82. В апогее эксцентра Меркурия $\Gamma A = R + 3e = 69^P$; при $\bar{\kappa} = 11;30^\circ$, согласно [НАМА, р. 201], $\Gamma A = 68;38,46^P = 69^P - 0;21,14^P$; согласно [РА, р. 580, п. 69] $\Gamma A = 68;37^P$, значение же, которое приводит Птолемей, получается при $\bar{\kappa} = 11;40^\circ$.

83. Вычислительная ошибка Птолемея; на самом деле дуга на $\Theta\Gamma$ равняется $152;22^\circ$ [РА, р. 580, п. 70].

84. Вычислительная ошибка; должно быть $76;13,58^\circ - 43;15,32^\circ = 32;58,26^\circ$.

85. Вычисления производились согласно методикам, описанным в конце настоящей главы; см. коммент. 94.

$$86. \frac{10;16,51^\circ}{0;59,8^\circ/d} = 10;26^d \approx 10\frac{1}{2}^d.$$

87. Меркурий находится на минимальном расстоянии от наблюдателя, в двух точках орбиты при $\bar{\kappa} = \pm 120^\circ$; величина c' поэтому должна определяться в двух промежутках $108^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 111^\circ$ и $129^\circ \leq \bar{\kappa} \leq 132^\circ$. В первом случае $c' = \frac{1}{3} (2;56^\circ - 2;53^\circ) = 0;1^\circ$, во втором $c' = \frac{1}{3} (2;24^\circ - 2;18^\circ) = 0;2$. Птолемей берет среднее значение.

88. Отношение скоростей

$$c = \frac{1 + 0;1,30}{3;9,8 - 0;1,30} = \frac{1;1,30}{3;7,38}.$$

89. В данном случае необходимо различать две ситуации, когда стояния происходят до ($\bar{\kappa} = 120^\circ - 11\frac{1}{2}^\circ = 108\frac{1}{2}^\circ$) и после ($\bar{\kappa} = 120^\circ + 11\frac{1}{2}^\circ = 131\frac{1}{2}^\circ$) перигея. В первом случае, согласно [НАМА, р. 201], $\Gamma A = 55;45^P = 55;34^P +$

$+ 0;11^P$ ($55;34^P$ — минимальное расстояние); во втором $\Gamma A = 55;41^P = 55;34^P + 0;7^P$; Птолемей берет величину ΓA из этого промежутка. Но, согласно [НАМА, р. 581, п. 74], в первом случае $\Gamma A = 55;45,50^P$, во втором — $55;41,58^P$; возможно поэтому, что Птолемей здесь вычислял только одно значение ΓA , а именно для $\bar{\kappa} = 131\frac{1}{2}^\circ$.

90. О методике вычисления этих величин см. с. 388 и коммент. 94.

$$91. 11;21,30^\circ : 0;59,8^\circ/d = 11;31,29^d \approx 11\frac{1}{2}^d.$$

92. Согласно О. Нейгебауэру [НА II, 291, 301], приведенная ниже вычислительная процедура перенесена сюда в античности из гл. 4 кн. XII, посвященной Марсу. Однако Дж. Тумер показал, что она применяется не только в случае Марса, но и для всех остальных планет. Дж. Тумер

правильно отмечает, что Птолемей нередко поясняет свои вычислительные методы не там, где они впервые встречаются, а в конце соответствующего раздела [РА, р. 582, п. 76].

93. Кн. XII, гл. 4, с. 383.

94. Метод вычислений Птолемея поясняется на рис. 12-С, соответствующем с небольшими изменениями [РА, р. 582, Fig. R]. В момент оппозиции центр эпицикла находится в апогее, а планета на линии апсид эксцентра. В момент второго стояния центр эпицикла находится в С, а планета в S, при этом средняя аномалия планеты

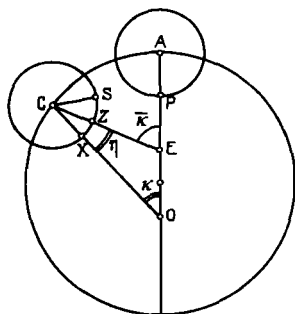


Рис. 12-С

равна $\bar{\kappa}$, истинная аномалия — κ и неравенство (простаферез) — η . Известно, что «видимая дуга эпицикла от каждого из стояний до оппозиции», т.е. угол $XCS = \beta$, составляет $22;13,19^\circ$; требуется найти $\bar{\kappa}$ и κ . Задача решается следующим образом.

1. Находим приближенное значение средней эксцентрической аномалии

$$\bar{\kappa}' = \frac{\beta}{\bar{c} + c'} = \frac{22;13,19^\circ}{1;3,11} = 21;10^\circ \text{ (точнее, } 21;6,8^\circ)$$

(в перигее делим на $\bar{c} - c'$).

2. На основе $\bar{\kappa}'$ по таблицам кн. XI гл. 11, с. 369 находим $\eta = c_3 + c_4 = 3;45^\circ$ (точнее $3;46.15^\circ$).

3. Отсюда угол $ZCS = \beta - \eta = 18;28,19^\circ$ (в перигее складываем $\beta + \eta$).

4. Находим точное значение средней эксцентрической аномалии

$$\bar{\kappa} = \frac{\beta - \eta}{\bar{c}} = \frac{18;28,19^\circ}{0;52,51} = 20;58,21^\circ \text{ (точнее, } 20;58,15^\circ).$$

5. Отсюда истинная эксцентрическая аномалия

$$\kappa = \bar{\kappa} - \eta = 17;13,21^\circ$$

(в перигее $\kappa = \bar{\kappa} + \eta$).

Другие примеры вычислений см. коммент. 32, 37, а также [НАМА, р.198].

95. Для определения положений точек стояний на эпицикле при произвольных κ необходимо знать соответствующие расстояния центра эпицикла от наблюдателя. Таблица расстояний $\rho(\kappa)$, хотя и не приводится в явном виде, использовалась Птолемеем в кн. XI, гл. 10 при вычислении планетной аномалии. Вероятно, этой таблицей он воспользовался и в данном случае.

96. Параметры стояний, вычисленные в кн. XII гл. 2-6, относятся к ситуации, когда центр эпицикла в моменты стояний сдвинут на некоторую величину относительно линии апсид; теперь же требуется найти положения точек стояний на эпицикле, когда центр эпицикла совпадает с апогеем или перигеем эксцентра.

97. Кн. XII, гл. 2, с. 379, 380.

98. Кн. XII, гл. 3, с. 382.

99. Кн. XII, гл. 4, с. 383.

100. При $\bar{\kappa} = 20;58^\circ$.

101. Птолемей определяет положение точек стояний на эпицикле (угол $\angle ZAH = \beta$ на рис. 12-D) в момент, когда центр эпицикла А совпадает с апогеем эксцента A_0 . Угол β есть функция $\bar{\kappa}$. Известна величина $\delta\beta$ — изменение угла β при перемещении центра эпицикла от точки среднего расстояния планеты до максимального. Известно соответствующее изменение $\delta\rho$ расстояния $AG = \rho$. Известно также изменение $\delta\rho = e$ расстояния AG при перемещении центра эпицикла от точки среднего расстояния до апогея A_0 . Птолемей далее предполагает линейный характер зависимости $\beta(\bar{\kappa})$ от ρ . Отсюда

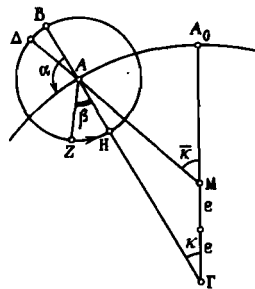


Рис. 12-D

$$\Delta\beta = \frac{\delta\beta}{\delta\rho} \Delta\rho$$

и, следовательно,

$$\beta(0^\circ) = \bar{\beta} + \Delta\rho \frac{\delta\beta}{\delta\rho},$$

где $\beta(0^\circ)$ — расстояние по аномалии от перигея эпицикла до точки стояния при $\bar{\kappa} = 0^\circ$, $\bar{\beta}$ — величина β на среднем расстоянии. В данном случае $\bar{\beta} = 16;51^\circ$, $\delta\beta = 22;13^\circ - 16;51^\circ = 5;22^\circ$; $\delta\rho = 65;40^p - 60^p = 5;40^p$; $\Delta\rho = 6^p$, откуда

$$\beta(0^\circ) = 16;51^\circ + 6^p \times \frac{5;22^\circ}{5;40^p} = 16;51^\circ + 5;41^\circ = 22;32^\circ.$$

Видимая эпициклическая аномалия для первого и второго стояний определяется отсюда как $\alpha(0^\circ) = 180^\circ \pm \beta(0^\circ)$.

Аналогичная процедура для определения $\beta(0^\circ)$ и $\alpha(0^\circ)$ применяется также и в случае Венеры и Меркурия [НАМА, р.202–203; SA, р.349–351].

102. Кн. XII, гл. 4, с. 384.

103. Здесь $\bar{\beta} = 16;51^\circ$; $\delta\beta = 16;51^\circ - 11;11^\circ = 5;40^\circ$; $\delta\rho = 60^p - 54;20^p = 5;40^p$; $\Delta\rho = 6^p$. Отсюда $\beta(180^\circ) = 16;51^\circ - 6^p \times \frac{5;40^\circ}{5;40^p} = 10;51^\circ$.

104. Кн. XII, гл. 5, с. 385.

105. Кн. XII, гл. 5, с. 386.

106. Кн. XII, гл. 6, с. 387.

107. Кн. XII, гл. 6, с. 387.

108. При произвольном $\bar{\kappa}$ возможны два случая:

1. $AG = \rho(\bar{\kappa}) > R = 60^p$; тогда

$$\delta\rho(\bar{\kappa}) = \rho(\bar{\kappa}) - R, \quad \Delta\rho = R_{\max} - R,$$

$$\Delta\beta = \beta(0^\circ) - \bar{\beta}, \quad \delta\beta(\bar{\kappa}) = \frac{\Delta\beta}{\Delta\rho} \delta\rho(\bar{\kappa})$$

$$\text{и } \beta(\bar{\kappa}) = \bar{\beta} + \frac{\Delta\beta}{\Delta\rho} \delta\rho(\bar{\kappa}).$$

2. $AG = \rho(\bar{\kappa}) < R$, тогда

$$\delta\rho(\bar{\kappa}) = R - \rho(\bar{\kappa}), \quad \Delta\rho = R - R_{\min}, \quad \Delta\beta = \bar{\beta} - \beta(\bar{\kappa}_{\min}),$$

причем $\bar{\kappa}_{\min} = 180^\circ$ для Марса и Венеры, но $\bar{\kappa}_{\min} = \pm 120^\circ$ для Меркурия;

$$\delta\beta(\bar{\kappa}) = \frac{\Delta\beta}{\Delta\rho} \delta\rho(\bar{\kappa}) \text{ и } \beta(\bar{\kappa}) = \bar{\beta} - \delta\beta(\bar{\kappa}).$$

Зная $\beta(\bar{\kappa})$, находим аномалию $\alpha = 180^\circ \pm \beta(\bar{\kappa})$, зафиксированную в таблицах [НАМА, р.204–205].

109. Кн. XI, гл. 10, с. 366.

110. Для каждой планеты в таблице приводятся значения видимой аномалии α для первого и второго стояний как функции средней аномалии $\bar{\kappa}$ (рис. 12-D).

111. Кн. IX, гл. 7 и кн. X, гл. 1.

112. «Наибольшее отклонение», или максимальная элонгация ($\delta\acute{\iota}\alpha\sigma\tau\iota\varsigma$ или $\acute{\alpha}\lambda\acute{o}\tau\alpha\sigma\tau\iota\varsigma$) Меркурия и Венеры (от Солнца), определяется, согласно Птолемею, как максимум разности истинных долгот планеты и Солнца. Величина разности зависит от расстояния центра эпицикла планеты от наблюдателя и, следовательно, от положения его относительно линии апсид. Птолемей стремится построить таблицу значений максимальной элонгации как функции долготы планеты. Однако максимальные элонгации вычисляются им только для крайних точек знаков зодиака; промежуточные значения должны затем определяться линейной интерполяцией. С течением времени вследствие прецессии изменяется положение линии апсид относительно точки весеннего равноденствия, что приводит к изменению табличных значений максимальной элонгации. Таблицы поэтому должны периодически обновляться.

113. Вычисление максимальной элонгации Венеры, как утренней, так и вечерней, производится по стандартной схеме. В момент, когда планета находится в точке Θ (рис. 12.13) касания эпицикла прямой из Δ , считаются известными: истинная долгота планеты λ (одно из фиксированных в таблице значений: 0° Овна, 0° Тельца, 0° Близнецов и т.д.), параметры движения Венеры и Солнца, в частности долгота ее апогея $\lambda_a = 25^\circ$ Тельца и долгота солнечного апогея $\lambda(A_\odot) = 5;30^\circ$ Близнецов. Требуется определить истинную долготу Солнца $\lambda_\odot$. Решение: по известным λ и λ_a находим среднюю эксцентрическую аномалию планеты $\bar{\kappa}$ ($\hat{A}\hat{B}\hat{Z}$ на рис. 12.13) и долготу центра эпицикла $\bar{\lambda} = \lambda_a - \bar{\kappa} = \bar{\lambda}_\odot$; поскольку известна $\lambda(A_\odot)$, также известна

и солнечная аномалия $\bar{\kappa}_\odot = \bar{\lambda}_\odot - \lambda(A_\odot)$ и уравнение $c(\bar{\kappa}_\odot)$, определяемое по таблицам кн. III, гл. 6; отсюда $\lambda_\odot = \bar{\lambda}_\odot + c(\bar{\kappa}_\odot)$ и максимальная элонгация $\Delta\lambda_{\max} = \eta_{\max} = |\lambda - \lambda_\odot|$. Подробнее см. [НАМА, р. 231–232; SA, р. 351–354].

114. Здесь $\bar{\kappa} = \widehat{ABZ} = 10;35^\circ$, $\bar{\lambda} = \lambda_a - \bar{\kappa} = 25^\circ$ Тельца $- 10;35^\circ = 14;25^\circ$ Тельца $= \bar{\lambda}_\odot$, $\bar{\kappa}_\odot = \bar{\lambda}_\odot - \lambda(A_\odot) = 338;55^\circ$, отсюда $c(\bar{\kappa}) = +0;49^\circ$, $\lambda_\odot = 14;25^\circ$ Тельца $+ 0;49^\circ = 15;14^\circ$ Тельца и $\Delta\lambda_{\max} = 15;14^\circ$ Тельца $- 0^\circ$ Овна $= 45;14^\circ$.

115. Здесь $\bar{\kappa} = \widehat{ABZ} = 103;35^\circ$, $\bar{\lambda} = \lambda_a - \bar{\kappa} = 25^\circ$ Тельца $- 103;35^\circ = 11;25^\circ$ Водолея $= \bar{\lambda}_\odot$, $\bar{\kappa}_\odot = 11;26^\circ$ Водолея $- 5;30^\circ$ Близнецов $= 245;55^\circ \approx 246^\circ$, $c(\bar{\kappa}) = +2;13^\circ$, отсюда $\lambda_\odot = 11;25^\circ$ Водолея $+ 2;13^\circ = 13;38^\circ$ Водолея и $\Delta\lambda_{\max} = 360^\circ - 13;38^\circ$ Водолея $= 46;22^\circ$.

116. Кн. XIII, гл. 8.

117. В кинематической модели, принятой для описания движения Меркурия, среднее положение планеты в максимальной элонгации не определяется однозначно по известному истинному положению (как это имеет место в случае Венеры), поскольку при заданном направлении $\Delta\Theta$ положение деферента, а значит, и расстояние ГЗ от его центра до центра эпицикла варьируется. Поэтому Птолемей здесь решает обратную задачу. Он находит по двум известным средним положениям, характеризующимся средней аномалией $\bar{\kappa}_1$, $\bar{\kappa}_2$, соответствующие значения $\lambda_{\odot 1}$, $\lambda_{\odot 2}$ и λ_1 , λ_2 , считая, что планета находится в максимальной элонгации. Значения $\bar{\kappa}_1$, $\bar{\kappa}_2$ выбираются таким образом, чтобы искомое табличное значение долготы планеты λ (0° Овна, 0° Тельца и т.д.) попадало в интервал $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$. Соответствующее λ значение $\Delta\lambda_{\max}$ определяется затем линейной интерполяцией.

118. Кн. IX, гл. 9, с. 309.

119. Птолемей определяет $\Delta\lambda_{\max}$ для случая, когда истинная долгота Меркурия $\lambda = 0^\circ$ Скорпиона. Полагая $\bar{\kappa}_1 = 0^\circ$, находим $\bar{\lambda}_1 = \lambda_a - \bar{\kappa}_1 = \bar{\lambda}_{\odot 1} = 10^\circ$ Весов, $\bar{\kappa}_{\odot 1} = \bar{\lambda}_{\odot 1} - \lambda(A_\odot) = 10^\circ$ Весов $- 5;30^\circ$ Близнецов $= 124;30^\circ$, $c(\bar{\kappa}_{\odot 1}) = -2^\circ$, $\lambda_{\odot 1} = \bar{\lambda}_{\odot 1} - c(\bar{\kappa}_{\odot 1}) = 8^\circ$ Весов. Этому значению $\lambda_{\odot 1}$ соответствует истинная долгота планеты $\lambda_1 = 29;2^\circ$ Весов, отсюда $\Delta\lambda_{\max 1} = |\lambda_1 - \lambda_{\odot 1}| = 21;2^\circ$. Полагая далее $\bar{\kappa}_2 = 3^\circ$, находим $\bar{\lambda}_2 = \lambda_a + \bar{\kappa}_2 = \bar{\lambda}_{\odot 2} = 10^\circ$ Весов $+ 3^\circ = 13^\circ$ Весов; $\bar{\kappa}_{\odot 2} = \bar{\lambda}_{\odot 2} - \lambda(A_\odot) = 13^\circ$ Весов $- 5;30^\circ$ Близнецов $= 127;30^\circ$; $c(\bar{\kappa}_{\odot 2}) = -1;56^\circ$, $\lambda_{\odot 2} = \bar{\lambda}_{\odot 2} - c(\bar{\kappa}_{\odot 2}) = 13^\circ$ Весов $- 1;56^\circ = 11;4^\circ$ Весов; полученному значению $\lambda_{\odot 2}$ соответствует $\lambda_2 = 1;55^\circ$ Скорпиона, отсюда $\Delta\lambda_{\max 2} = |\lambda_2 - \lambda_{\odot 2}| = 20;51^\circ$.

Табличное значение $\lambda = 0^\circ$ Скорпиона попадает в интервал $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$, отсюда линейной интерполяцией находим

$$\Delta\lambda_{\max} = \Delta\lambda_{\max 1} - \frac{(\Delta\lambda_{\max 1} - \Delta\lambda_{\max 2})(\lambda - \lambda_1)}{(\lambda_2 - \lambda_1)} =$$

$$= 21;2^\circ - \frac{0;11^\circ \times 0;58^\circ}{2;53^\circ} = 21;2^\circ - 0;4^\circ = 20;58^\circ.$$

120. Методика определения $\Delta\lambda_{\max}$ для $\lambda = 0^\circ$ Тельца аналогична рассмотренной в коммент. 119.

121. Указанная величина зафиксирована во всех рукописях, но, как показал Дж.Тумер, здесь должно быть $55;53^p$ — величина, соответствующая предшествующим и последующим вычислениям [РА, р. 597, п. 100].

122. Здесь $Z\upsilon\upsilon\beta\varsigma$ — «Весы»; в других местах почти всегда $\chi\eta\lambda\alpha\iota$ — «Клешни». — Примеч. И.Н.Веселовского.

123. Вычислительная ошибка Птолемея; должно быть $18;54^\circ$ [НАМА, р.234, п.10].

КНИГА ТРИНАДЦАТАЯ

1. Таким образом, движение планеты по широте Птолемей рассматривает как аномалию, т.е. как отклонение истинного положения планеты от среднего, причем последнее определяется плоскостью эклиптики. Две составляющие этого движения могут быть выявлены на основе наблюдений. Так, в случае верхних планет наблюдается постепенное изменение широты, которая на протяжении одного периода обращения по долготе положительна на одной половине эклиптики и отрицательна на другой. Изменение широты будет носить такой характер, если деферент наклонен к плоскости эклиптики. На фоне плавного изменения наблюдаются также резкие колебания широты во время попятных движений, связанные, согласно Птолемею, с движением планеты по эпициклу. Сопоставление теории Птолемея с действительным изменением широт планет см. в [НАМА, р.1255–56, Fig.155–156].

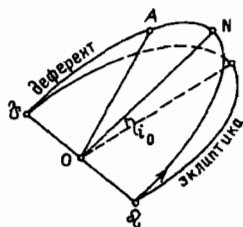


Рис. 13-А

2. Кн. XIII, гл. 4, а также кн. IX, гл. 6, с. 299.

3. Утверждение Птолемея носит скорее качественный, а не математический характер; в противном случае приходим к противоречию. Половина эксцентра, прилегающая к апогею, отклонена всегда к северу от эклиптики лишь в том случае, если апогей эксцентра A совпадает с наиболее северной точкой деферента N , что выполняется только для Марса (рис. 13-А и коммент. 5).

4. К северу от эклиптики эпицикл ориентирован таким образом, что его перигей будет всегда севернее плоскости деферента.

5. В основе расчетов движения верхних планет по широте лежат следующие значения долгот наиболее северной точки деферента $\lambda(N)$ и апогея эксцентра планеты $\lambda(A)$:

	Марс	Юпитер	Сатурн
$\lambda(N)$	$\sim 120;00^\circ$	180°	180°
$\lambda(A)$	$115;30^\circ$	161°	233°

Для верхних планет, таким образом, справедливо соотношение $|\lambda(N) - \lambda(A)| < 90^\circ$, свидетельствующее о том, что апогеи расположены к северу от эклиптики.

6. Если деферент отклонен к северу от эклиптики, то перигей эпицикла — к северу от деферента, и наоборот, если деферент отклонен к югу, то перигей эпицикла — также к югу.

7. В апогее и перигее эксцентра, которые в случае Венеры и Меркурия совпадают с наиболее северной и южной точками деферента, наклон эпицикла к эклиптике, измеренный в плоскости, проходящей через центры эпицикла и эклиптики (рис. 13-В) перпендикулярно последней, равен наклону деферента; другими словами, в наиболее северной и южной точках деферента $i_1 = 0$.

8. Имеются в виду не сами планеты, а центры их эпициклов.

9. Это возможно лишь в том случае, если наклон деферента к плоскости эклиптики $i_0 = 0$ (рис. 13-В), когда центр эпицикла находится в узлах планетной орбиты, т.е. в точках пересечения деферента и эклиптики.

10. Для определения меняющегося наклона плоскости эпицикла относительно деферента Птолемей использует два диаметра эпицикла d_1 и d_2 . Первый есть линия пересечения плоскости эпицикла и плоскости, проходящей через центры эпицикла

и эклиптики перпендикулярно последней ($P_e A_e$ на рис. 13-В). Диаметр d_2 перпендикулярен d_1 . Соответственно Птолемей использует два угла: «инклинацию» ($\epsilon\gamma\kappa\lambda\iota\sigma\iota\varsigma$) i_1 — угол между $СП_e$ и $СО$ и «облиkvацию» ($\lambda\delta\xi\omega\sigma\iota\varsigma$) i_2 — угол между

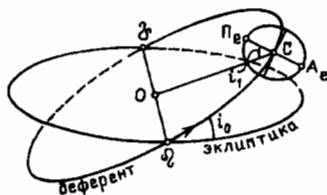


Рис. 13-В

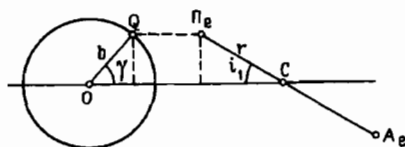


Рис. 13-С

восточной половиной d_2 и плоскостью эклиптики. В случае верхних планет $i_0 = \text{const}$, $i_2 = 0$, меняется только i_1 ; в случае нижних планет меняются все три угла i_0 , i_1 , i_2 .

11. В случае нижних планет перигей эпицикла P_e движется относительно деферента всегда в том же направлении (северном или южном), что и центр эпицикла C на деференте (рис. 13-В).

12. Диаметр эпицикла d_1 совершает колебательные движения вокруг перпендикулярной ему оси d_2 относительно среднего положения, определяемого плоскостью деферента. Период колебания равен периоду обращения центра эпицикла по долготе. Кинематически это колебательное движение можно представить с помощью кругового равномерного движения. Птолемей вводит с этой целью в плоскости, проходящей через d_1 и $ОС$ перпендикулярно деференту, малый круг радиусом $b = r \sin i_{1\text{max}}$, где r — радиус эпицикла, $i_{1\text{max}}$ — максимальное значение i_1 (рис. 13-С). По кругу в указанном направлении равномерно движется точка Q со скоростью, равной средней скорости движения эпицикла по долготе, так что угол γ возрастает линейно. Диаметр $d_1 = P_e A_e = 2r$ совершает при этом синхронные колебания так, что имеет место равенство $r \sin i_1 = b \sin \gamma$. Аналогичный механизм используется Птолемеем и для описания колебательного движения диаметра d_2 . Подробный анализ см. в [Riddell, 1978].

13. С.399.

14. Буквально «по направлению к вечеру»; однако речь здесь на самом деле должна идти о восточном направлении [НА II, 331 а); РА, р.600, п.13].

15. Имеется в виду половина эксцента, на которой уравнение соответственно будет положительным или отрицательным.

16. Малый круг, управляющий колебаниями диаметра d_1 , делится пополам плоскостью деферента; круг, управляющий колебаниями диаметра d_2 , делится плоскостью, проведенной через центр эпицикла C параллельно эклиптике.

17. Речь идет о пятом элементе — эфире, из которого, по Аристотелю, построено все, что находится выше орбиты Луны.

18. «Принцип простоты» упоминается также в кн. III, гл. 1, с. 79.

19. Вместо «объяснить» Дж. Тумер употребляет здесь глагол to save — спасти, перевод греческого διασώβω. Похожее выражение («спасти явление») использовал позднее Симпликий, анализируя систему эксцентров и эпициклов.

20. Кругу, проходящему через полюса деферента или эпицикла, в зависимости от задачи.

21. В узлах и в наиболее северной или южной точках деферента, через которые в случае Венеры и Меркурия проходит линия апсид эксцента.

22. «Вблизи», потому что в самих этих точках планета не видна.

23. Рассмотрен случай, когда $i_1 = 0$ и наклон эпицикла i_2 также не оказывает влияния на широту, и, следовательно, широта планеты $\beta = i_{0\max}$. Наблюдения дают для Венеры $i_{0\max} = +0;10^\circ$, для Меркурия $i_{0\max} = -0;45^\circ$; деференты Венеры и Меркурия, таким образом, наклонены в противоположные стороны при аналогичных положениях эпицикла. Здесь и далее Птолемей не приводит подробных сведений о наблюдениях, которые легли в основу полученных параметров.

24. Определяется разность по широте $\Delta\beta$ планеты, обусловленная наклоном диаметра d_2 эпицикла, соответственно в наибольшей утренней и вечерней элонгациях. Величина $\Delta\beta$ зависит от положения центра эпицикла на эксцентре, причем расхождение значений $\Delta\beta$ будет наибольшим, если центр эпицикла находится в перигее и апогее эксцента. Наблюдения, однако, дают для Венеры $\Delta\beta \approx 5^\circ$ в каждом из двух положений, для Меркурия же $\Delta\beta_A = 4;30^\circ$ в апогее и $\Delta\beta_{II} = 5;30^\circ$ в перигее эксцента.

25. Для Венеры $\frac{\Delta\beta}{2} = 2;30^\circ$, для Меркурия $\frac{\Delta\beta_A}{2} = 2;15^\circ$, $\frac{\Delta\beta_{II}}{2} = 2;45^\circ$, среднее значение $\frac{2;15^\circ + 2;45^\circ}{2} = 2;30^\circ$.

26. Кн. XIII, гл. 4.

27. Последнее верно для Венеры, но не для Меркурия. У обеих планет линии апсид эксцентов перпендикулярны линиям узлов, но у Венеры центр эпицикла будет на среднем расстоянии при $\kappa = 90^\circ$, у Меркурия же при $\kappa \approx 93^\circ$.

28. При $\kappa_0 = 90^\circ$ в апогее эпицикла Венера будет севернее, при $\kappa_0 = 270^\circ$ — южнее.

29. Каким образом получены эти величины? В данном случае имеет место ситуация (рис. 13-D), когда центр эпицикла находится в узле; при этом плоскость деферента совпадает с плоскостью эклиптики ($i_0 = 0$), диаметр d_2 параллелен эклиптике ($i_2 = 0$), а наклон диаметра

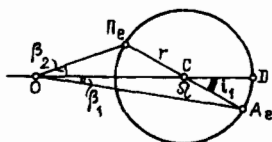


Рис. 13-D

d_1 максимален ($i_1 = i_{1\max}$). На рис. 13-D DQO — плоскость эклиптики; центр эпицикла Венеры C находится в узле Q ; P_e и A_e — перигей и апогей эпицикла на

d_1 ; проведем круг P_eDA_e с центром в C перпендикулярно эклиптике и эпициклу. Из наблюдений известно

$\widehat{A_eOC} = \beta_1 = 1^\circ$, $\widehat{P_eOC} = \beta_2 = 6\frac{1}{2}^\circ$. Определить величину угла i_1 . Поскольку $OC = R = 60^P$ (так как центр эпицикла находится на среднем расстоянии) — радиус деферента, а $P_eC = CA_e = r$ — радиус эпицикла, углы β_1, β_2 можно интерпретировать как эпициклическое уравнение, получающееся при значениях эпициклической аномалии $|i_1|$ для A_e и $|180^\circ - i_1|$ для P_e . Поскольку Венера находится на среднем расстоянии, уравнение должно определяться с помощью таблиц кн. XI, гл. 11, с. 370, столбец 6. Соответственно, интерполируя, находим: при $\alpha = 1\frac{1}{2}^\circ$ у апогея $c_6 = 1;2^\circ$, при $\alpha = 180^\circ - 2\frac{1}{2}^\circ$ у перигея $c_6 = 6;22^\circ$, как утверждает в тексте. См. также [НА II, 423, Анн. 18; НАМА, р. 215].

30. При $\kappa_0 = 90^\circ$ в апогее эпицикла Меркурий будет находиться южнее эклиптики, при $\kappa_0 = 270^\circ$ — севернее.

31. Вычисления аналогичны рассмотренным в коммент. 29. Центр эпицикла Меркурия будет на расстоянии $\kappa_0 = 90^\circ$ от апогея при $\bar{\kappa} = 92;52^\circ$. Таблицы кн. XI,

гл.11, столбцы 6–8 дают при $\bar{\kappa} = 92;52^\circ$ и $\alpha = 6\frac{1}{4}^\circ$ $c_6 \approx 1;45,51^\circ$ и при $\bar{\kappa} = 92;52^\circ$ и $\alpha = 180^\circ - 6\frac{1}{4}^\circ = 173\frac{3}{4}^\circ$ $c_6 = 4;4,47^\circ$ в соответствии с тем, что приводит Птолемей. См. также [НАМА, р.216; РА, р.602, п.23; НА II, 423, Анн. 18].

32. Плоскость рис. 13.1 перпендикулярна эклиптике и проходит через наиболее северную и южную точки деферента; следовательно, она перпендикулярна также и плоскости эксцента.

При определении параметров i_0 и i_1 для внешних планет Птолемей принимает следующие три допущения:

а) наблюдатель находится в плоскости деферента;

б) плоскости эпициклов в апогее и перигее эксцента параллельны (на рис. 13.1 они параллельны также плоскости эклиптики, что в действительности не имеет места);

в) линии апсид эксцентров перпендикулярны линиям узлов; но, с точки зрения самого Птолемея, это положение не должно выполняться в случае Сатурна и Юпитера (с.398 и коммент. 5).

Подробнее см. [НАМА, р.209–212].

33. Круги $\text{HZK}\Theta$ и AMNE на рис. 13.1 представляют положения эпицикла соответственно в апогее и перигее эксцента; углы $\widehat{\text{KEG}}$ и $\widehat{\text{EEA}}$ — это эпициклические уравнения при значениях аномалии $\alpha = 180^\circ \pm i_1$ ($i_1 = \widehat{\text{K}\Theta} = \widehat{\text{NE}}$). Для Марса они определяются с помощью таблицы кн.XI, гл.11, с.369 как $c_6(\alpha) - c_5(\alpha)$ и $c_6(\alpha) + c_5(\alpha)$. Полагая, что при малых значениях i_1 уравнения пропорциональны указанным величинам, определяем их отношение при $\alpha = 183^\circ$:

$$\frac{\widehat{\text{KEG}}}{\widehat{\text{AEA}}} = \frac{c_6(183) - c_5(183)}{c_6(183) + c_5(183)} = \frac{5;45 - 1;16}{5;45 + 1;16} = \frac{4;29}{8;5} \approx \frac{5}{9}.$$

См. [НАМА, р.209–210], а также [Toomer, 1977, р.141; SA, р.363].

34. Лемма: если даны две величины A и B и отношение l/m двух других величин C и D таких, что $A = x + C$ и $B = x + D$, то справедливы соотношения

$$C = l \frac{B - A}{m - l}, \quad D = m \frac{B - A}{m - l}.$$

Доказательство см. в [РА, р.604, п.26].

35. В данном случае $\widehat{\text{AEK}}(A) = 4\frac{1}{3}^\circ$, $\widehat{\text{BEZ}}(B) = 7^\circ$, $\frac{\widehat{\text{GK}}(C)}{\widehat{\text{EZ}}(D)} = \frac{l}{m} = 5/9$, $\widehat{\text{AEK}} = \widehat{\text{BED}} = x = |i_0|$, причем $\widehat{\text{AEK}} = \widehat{\text{AEG}} + \widehat{\text{GK}}$ и $\widehat{\text{BEZ}} = \widehat{\text{BED}} + \widehat{\text{EZ}}$; условия леммы выполнены, отсюда находим

$$\widehat{\text{GK}} = 5 \times \frac{7 - 4\frac{1}{3}}{9 - 5} = \frac{5 \times 2\frac{2}{3}}{4} = 3\frac{1}{3}^\circ,$$

$$\widehat{\text{EZ}} = 9 \times \frac{7 - 4\frac{1}{3}}{9 - 5} = \frac{9 \times 2\frac{2}{3}}{4} = 6^\circ.$$

36. Метод определения величины $i_2 = 2;15^\circ$ аналогичен рассмотренному в коммент. 29, 31. Таблицы аномалии Марса кн.XI, гл.11, с.369, столбцы 5–7 дают при $\alpha = 180^\circ - 2;15^\circ$ в апогее $(5;45 - 1;16) \times \frac{2;15}{3} \approx 3;22^\circ$, в перигее $(5;45 + 2;20) \times \frac{2;15}{3} \approx 6;4^\circ$. См. также [НА II, 424, Анн. 19; РА, р.604, п.27].

37. Эксцентриситеты и радиусы эпициклов Сатурна и Юпитера невелики, поэтому на рис. 13.1 $\widehat{\text{AEK}} \approx \widehat{\text{BED}}$ и процедура, использованная для нахождения параметров орбиты Марса i_0 и i_1 , не может быть применена. Величины i_0 и i_1

нивает для каждой планеты значения аномалии, вычисленные с помощью наклонной и плоской моделей при $\alpha = 135^\circ$. Расхождение оказывается в каждом случае не столь значительным, чтобы его можно было заметить при наблюдении.

44. Согласно таблице кн. XI, гл. 11, с. 370 для Венеры эпициклическая аномалия на среднем расстоянии при $\alpha = 135^\circ$ равна $45;59^\circ$; таким образом, здесь имеет место почти полное совпадение величин аномалии, полученных на основании плоской модели и модели с наклоном.

45. Указанное значение АВ не приводится больше нигде в «Альмагесте». Согласно расчетам О. Нейгебауэра [НАМА, р. 221], $AB = 56;37^P$; согласно Дж. Тумеру [РА, р. 609, п. 33], $AB = 56;43,9^P$. Вероятно, Птолемей вычислял расстояния АВ до центра эпицикла Меркурия для всех точек орбиты, представленных в таблице кн. XI, гл. 11. Эта не вошедшая в «Альмагест» таблица расстояний, вероятно, имеется в виду в данном случае.

46. Наклона эксцента, который постоянен, и наклона эпицикла, который, согласно Птолемею, имеет у верхних планет максимальную величину в апогее и перигее эксцента.

47. См. также рис. 13-F, заимствованный с небольшими изменениями из [РА, р. 612, Fig. T].

48. Кн. XIII, гл. 1, с. 398.

49. Согласно Дж. Тумеру, $AG = 62;8,21^P$, если центр эпицикла имеет долготу 0° Весов, а апогей эксцента — 20° Скорпиона [РА, р. 613, п. 35].

50. Если наиболее северная часть деферента находится на 0° Весов, то наиболее южная — на 0° Овна; согласно Дж. Тумеру, точ-

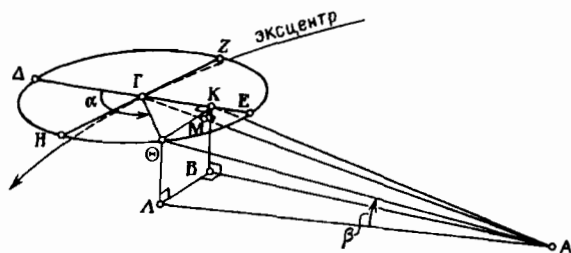


Рис. 13-F

ные вычисления дают $AG = 57;44,48^P$ [РА, р. 614, п. 37].

51. С. 408.

52. Если для перигея эксцента разница простаферезов по долготе для плоской и наклонной орбит мала, то для апогея она должна быть еще меньше; сравнение поэтому производить не нужно.

53. Ранее (с. 408) было показано, что если $\Gamma\Theta = 120^P$, то $\Gamma K (= K\Theta) = 84;52^P$; отсюда, полагая $\Gamma\Theta = 11;30$, находим $\Gamma K = 84;52^P \times \frac{11;30^P}{120^P} = 8;8^P$.

54. Согласно Дж. Тумеру, $AG = 62;34,36^P$, если истинная долгота центра эпицикла равна 0° Весов, а апогея — 10° Девы [РА, р. 617, п. 38].

55. См. коммент. 50. Точные вычисления дают $AG = 57;24,31^P$, если расстояние между апогеем эксцента и наиболее южной точкой эксцента соответствует указанному в кн. XIII, гл. 6, с. 419 [РА, р. 617, п. 39].

56. О методике вычисления см. коммент. 53.

57. Птолемей здесь предполагает, что апогей эксцента Марса совпадает с наиболее северной точкой деферента (кн. XIII, гл. 1, с. 398 и коммент. 5); расстояние АГ до центра эпицикла в апогее максимально и равно $60^P + 6^P$ (кн. X, гл. 7).

58. Наименьшее расстояние в перигее эксцента $AG = 60^P - 6^P = 54^P$.

59. Если обликвация, т.е. широта планеты, обусловленная наклоном диаметра d_2 , суммируется с широтой, обусловленной наклоном эксцента, то набор коэффициентов c_5 , представленный в столбце 5, уже не может быть использован одновременно для определения наклонности и обликвации как функций аномалии α при произвольных положениях эпицикла на эксцентре.

60. Ситуация, представленная на рис. 13.12, поясняется на рис. 13-G, заимствованном из [PA, p.624, Fig. U]. На этих рисунках линия пересечения эпицикла и эклиптики проходит через центр эпицикла, что в действительности имеет место только в узлах. Параллельный перенос плоскости эклиптики необходим Птолемею, чтобы оценить вклад обликации в изменение широты планеты.

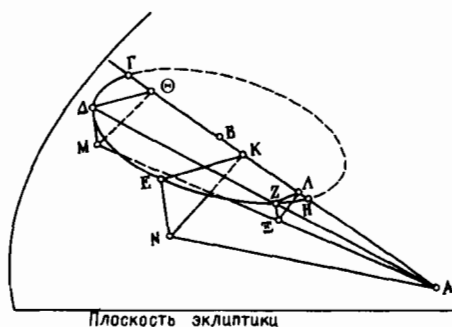


Рис. 13-G

62. Таким образом, если $EN = \beta_0$ — широта планеты, обусловленная наклоном эпицикла, при наибольшей элонгации; $EK = \max c_6$ — наибольшее значение эпициклической аномалии, как она представлена в таблице кн. XI, гл. 11, столбец 6; $\beta(\alpha)$ и $c_6(\alpha)$ — соответственно широта и эпициклическая аномалия при произвольном α , то теорема утверждает:

$$\frac{\max c_6}{\beta_0} = \frac{c_6(\alpha)}{\beta(\alpha)}.$$

Это положение не является вполне точным, поскольку в нем углы замещены хордами; соотношение между синусами углов считается здесь тождественным соотношению между самими углами [SA, p.382]. Формула Птолемея, однако, может служить хорошей аппроксимацией зависимости между дугами; Дж.Тумер показал, что в случае Венеры максимальная погрешность, обусловленная неточностью приведенной формулы, не превосходит $0;7^\circ$ [Toomer, 1977, p.145].

63. Кн. XIII, гл. 3, с. 402.

64. Кн. X, гл. 3, с. 319–320. Если радиус деферента $R = 60^P$ и эксцентриситет $e = 1;15^P$, то $R_{\max} = R + e = 61;15^P$, $R_{\min} = R - e = 58;45^P$.

65. Точные вычисления дают $\Delta ZH = 3;28,30^\circ$ [PA, p.626, n.46].

66. Максимальное расстояние до центра эпицикла составляет у Меркурия $R_{\max} = R + 3e = 60^P + 3 \times 3^P = 69^P$; расстояние до центра эпицикла в точке, отстоящей от апогея на 120° , $R_{\min} = R - e = 60^P - 3^P = 57^P$; среднее расстояние $\frac{R_{\max} + R_{\min}}{2} = 63^P$.

67. Точнее, $\Delta ZH = 7;1^\circ$ [PA, p.627, n.47].

68. Вычисления Птолемея не точны. Правильные значения: $\hat{ZAN} = 41;33,58$, $\Delta AZ = 41;50,50$, их разность $0;16,52$ половинных градусов или около $0;8,30^\circ$ [PA, p.628, n.48].

69. Здесь $AD = \sqrt{AB^2 - BD^2}$ и $\Delta Z = AD \times \frac{BD}{AB}$.

70. Здесь неточность; в таблице хорд кн. I, гл. 11 углу 14° соответствует хорда $14;37,27$ [PA, p.629, n.49].

71. Речь идет о расстоянии вдоль линии апсид (с.416 и коммент. 66).

72. Строго говоря, это не вполне верно; см. коммент. 62.

73. Приведенные числа представляют округленные значения наибольшей элонгации Меркурия и Венеры, как они даны в столбце 6 табл. кн. XI, гл. 11.

74. Величины $c_4(\alpha)$ в столбце 4 таблицы широты определяются по правилу, эквивалентному формуле

$$c_4(\alpha) = 2;30^\circ \times \frac{c_6(\alpha)}{\max c_6},$$

где $c_6(\alpha)$ — величина эпициклической аномалии, приведенная в таблице кн. XI, гл. 11, столбец 6; $\max c_6$ — максимум соответствующих значений $c_6(\alpha)$.

75. См. коммент. 12.

76. Функция $c_5(\omega)$ в столбце 5 таблицы кн. XIII, гл. 5 предназначена для вычисления широты планеты при произвольных положениях центра эпицикла на деференте. Величина ω представляет расстояние центра эпицикла от наиболее северной точки деферента. Функция имеет один и тот же вид $c_5(\omega) \approx |\cos \omega|$, но по-разному используется в случае верхних и нижних планет. Математически она тождественна функции лунной широты $c_7(\omega)$ в столбце 7 таблицы гл. 8 кн. V, умноженной на 12, чтобы максимум составил 60. Небольшие отклонения от этого правила рассмотрены в [НА II, 428]. Идея ее использования проста: если известно значение широты в точках экстремумов ($\omega = 0, 90, 180$ или 270°), то промежуточные значения определяются умножением экстремального значения на $c_5(\omega)$ с учетом фазы и знака. См. кн. XIII, гл. 6 и соответствующие примечания.

Таблицы Птолемея для вычисления широты состоят из пяти самостоятельных таблиц по одной для каждой планеты. Каждая такая таблица включает пять столбцов: 1, 2 — значения аргументов α, ω , 3 — $c_3(\alpha)$, 4 — $c_4(\alpha)$, 5 — $c_5(\omega)$, причем столбцы 1, 2, 5 повторяются в каждой из пяти планетных таблиц; в нашем издании повторяющиеся колонки ради экономии места опущены.

77. «Уравненная долгота» (в обозначениях Нейгебауэра κ_0) — расстояние центра эпицикла от апогея эксцента, как она фиксируется наблюдателем из точки, сдвинутой относительно центра; $\kappa_0 = \bar{\kappa} \pm \eta$, где $\bar{\kappa}$ — среднее расстояние центра эпицикла от апогея, η — эксцентрическая аномалия (рис. 11-A).

78. Определяем $c_5(\omega)$ для верхних планет. Если κ_0 — «уравненная долгота» центра эпицикла, то $\omega = \kappa_0$ для Марса, $\omega = \kappa_0 - 20^\circ$ для Юпитера и $\omega = \kappa_0 - 50^\circ$ для Сатурна.

79. «Уравненная (или истинная) аномалия» планеты $\alpha = \bar{\alpha} + \eta$, где $\bar{\alpha}$ — средняя аномалия, η — эксцентрическая аномалия (рис. 11-A, 11-B).

80. Таким образом, согласно Птолемею, в случае верхних планет широта определяется по правилу, эквивалентному формуле

$$\beta = \pm c_5(\omega) \times \begin{cases} c_3(\alpha), & \text{если } 270^\circ \leq \omega \leq 90^\circ, \\ c_4(\alpha), & \text{если } 90^\circ \leq \omega \leq 270^\circ \end{cases}$$

[НАМА, р.219]. К северу от эклиптики широта положительна, к югу отрицательна.

81. В столбце 4 таблицы, приводится значение широты как функции α , обусловленной обликвацией эпицикла, на среднем расстоянии. Эффект обликвации, однако, будет различным в апогее и перигее эксцента. В случае Венеры различие несущественно, но в случае Меркурия изменение широты от обликвации в апогее $\Delta\beta = 2;30' - 0;15' = 1/10 \times 2;30'$, в перигее $\Delta\beta = 2;30' + 0;15' = 1 1/10 \times 2;30'$.

82. Широта, обусловленная инклинацией, определяется по правилу, эквивалентному формуле

$$\beta_1(\alpha, \kappa_0) = \pm c_5(\kappa'_0) \times c_3(\alpha),$$

где аргумент функции c_5 имеет вид

$$\kappa'_0 = \kappa_0 + \begin{cases} 90^\circ & \text{для Венеры,} \\ 270^\circ & \text{для Меркурия} \end{cases}$$

и выполняется следующее правило для знаков:

$$c_5(\kappa'_0) \begin{cases} > 0, & \text{если } 270^\circ \leq \kappa'_0 \leq 90^\circ, \\ < 0, & \text{если } 90^\circ \leq \kappa'_0 \leq 270^\circ, \end{cases}$$

$$c_3(\alpha) \begin{cases} > 0, & \text{если } 90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ, \\ < 0, & \text{если } 270^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ. \end{cases}$$

См. [НАМА, р.223].

83. Широта от обликвации эпицикла в случае Венеры вычисляется по формуле

$$\beta_2(\alpha, \kappa_0) = \pm c_5(\kappa''_0) \times c_4(\alpha),$$

где $\kappa''_0 = \kappa_0$ и закономерность знаков такова:

$$c_5(\kappa''_0) \begin{cases} > 0, & \text{если } 270^\circ \leq \kappa''_0 \leq 90^\circ, \\ < 0, & \text{если } 90^\circ \leq \kappa''_0 \leq 270^\circ, \end{cases}$$

$$c_4(\alpha) \begin{cases} > 0, & \text{если } 0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ, \\ < 0, & \text{если } 180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ. \end{cases}$$

В случае Меркурия

$$\beta_2(\alpha, \kappa_0) = \pm c_5(\kappa''_0) \times c'_4(\alpha),$$

где $\kappa''_0 = \kappa_0 + 180^\circ$, а

$$c'_4(\alpha) = \begin{cases} 9/10 \times c_4(\alpha), & \text{если } 270^\circ \leq \kappa_0 \leq 90^\circ, \\ 11/10 \times c_4(\alpha), & \text{если } 90^\circ \leq \kappa_0 \leq 270^\circ. \end{cases}$$

Знаки в формуле для β_2 у Меркурия совпадают с установленными для Венеры с тем отличием, что здесь $\kappa''_0 = \kappa_0 + 180^\circ$.

84. Плоскости орбит нижних планет меняют свои наклонения относительно плоскости эклиптики. Когда центр эпицикла находится в апогее и перигее эксцента ($\kappa_0 = 0^\circ$ или 180°) в его наиболее северной или наиболее южной точках, наклон $i_0 = +0;10^\circ$ для Венеры и $i_2 = -0;45^\circ$ для Меркурия. В точках эксцента, отстоящих от линии апсид на $\pm 90^\circ$, т.е. в узлах, наклон $i_0 = 0$. Наклонение не меняет своего знака при прохождении узлов, а это возможно лишь в том случае, если плоскость орбиты совершает колебания вокруг линии узлов синхронно с обращением центра эпицикла по деференту. Можно предположить поэтому, что i_0 есть функция κ_0 следующего вида:

$$i_0(\kappa_0) = \begin{cases} +0,10 \times c_5(\kappa_0) & \text{для Венеры,} \\ -0,45 \times c_5(\kappa_0) & \text{для Меркурия,} \end{cases}$$

где $c_5(\kappa_0) \approx |\cos \kappa_0| > 0$.

$$CC' = \beta_3(\kappa_0) = \frac{AB \times CD}{AO} = c_5(\kappa_0) \times i_0(\kappa_0) =$$

$$= \begin{cases} +0;10 \times c_5(\kappa_0)^2 & \text{для Венеры,} \\ -0;45 \times c_5(\kappa_0)^2 & \text{для Меркурия.} \end{cases}$$

Рис. 13-Н

$$\beta(\alpha, \kappa_0) = \beta_1(\alpha, \kappa_0) + \beta_2(\alpha, \kappa_0) + \beta_3(\kappa_0).$$

В кн. XI, коммент. 126 мы нашли для приведенной даты $\kappa_0 = 269;7^\circ$, $\alpha = 36;4^\circ$. Расстояние центра эпицикла от наиболее северной точки деферента $\omega = \kappa_0 - 20^\circ = 249;7^\circ$. Отсюда $c_5(249;7^\circ) = 0;21,17$ (таблица кн. XIII, гл. 5, столб. 5). Поскольку $90^\circ < \omega < 270^\circ$, необходимо определить $c_4(\alpha) = c_4(36;4^\circ) = 1;9^\circ$ и далее $\beta = -c_5 \times c_4 = -0;21,17 \times 1;9^\circ = -0;24,29^\circ$. Вычисления по современным таблицам дают $\beta = -1;55^\circ$ [Britton, 1967, p.148].

В кн. XI, коммент. 126 мы нашли $\kappa_0 = 144;44^\circ$, $\alpha = 253;27^\circ$.

1. Находим $\beta_1(\kappa_0, \alpha) = \pm c_5(\kappa'_0) \times c_3(\alpha)$.

Аргумент $\kappa'_0 = \kappa_0 + 90^\circ = 144;44^\circ + 90^\circ = 234;44^\circ$. Отсюда

$$c_{\xi}(\kappa'_0) = c_{\xi}(234; 44^\circ) = -0;34,34$$

($c_5 < 0$, поскольку $90^\circ < \kappa'_0 < 270^\circ$);

$$c_3(\alpha) = c_3(253; 27^\circ) = 0; 29,6^\circ$$

($c_3 > 0$, поскольку $90^\circ < \alpha < 270^\circ$). Отсюда $\beta_1 = -0;34,34 \times 0;29,6^\circ = -0;16,46^\circ$.

2. Определяем $\beta_2(\kappa_0, \alpha) = \pm c_5(\kappa_0'') \times c_4(\alpha)$. Аргумент $\kappa_0'' = \kappa_0 = 144;44^\circ$.

Соответственно $c_5(\kappa_0'') = -0,48,50$ ($c_5 < 0$, поскольку $90^\circ \leq \kappa_0'' \leq 270^\circ$),

$$c_4(\alpha) = -2;13,33^\circ$$

($c_4 < 0$, поскольку $180^\circ < \alpha < 360^\circ$). Отсюда $\beta_2 = 0;48,50 \times 2;13,33^\circ = 1;48,42^\circ$.

3. Находим $\beta_3(\kappa_0) = +0;10^\circ \times c_5(\kappa_0)^2$,

$$c_5(\kappa_0) = c_5(144;44^\circ) = -0;48,50^\circ,$$

отсюда

$$\beta_3 = +0;10^\circ \times (0;48,50^\circ)^2 = 0;6,37^\circ.$$

В итоге получаем

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = -0;16,46^\circ + 1;48,42^\circ + 0;6,37^\circ = 1;38,33^\circ.$$

Птолемей утверждает, что Тимохарис наблюдал соединение Венеры и η Vir. Однако современные вычисления показывают, что в указанный момент Венера находилась на $12'$ южнее η Vir [РА, р.477, п.17]. В каталоге (кн.VII, гл.5, с.243) широта η Vir принята равной $\beta = +1\frac{1}{6}^\circ$.

Другие примеры вычисления широт планет по таблицам Птолемея см. в [НА II, 428–431, Ант. 22; РА, р.658–659].

86. Кн.VIII, гл.6, с.274.

87. Т.е. расстояние от Солнца в гелиакических восходах и заходах зависит от яркости планеты.

88. Дуга ВД (рис. 13.17) определяет минимальное расстояние центра Солнца относительно линии горизонта после его захода или перед восходом, при котором планета, находящаяся на самой линии горизонта, видна невооруженным глазом. В современной литературе для обозначения этого понятия используется выражение «*normal arcus visionis*». О происхождении термина см. [НАМА, р.234, п.1].

89. Планета будет видна, если ее блеск сравним с яркостью неба у горизонта до восхода или после захода Солнца. Величина минимального погружения ВД (h в современном обозначении), таким образом, есть функция блеска или звездной величины планеты.

90. Наблюдать планету удобно в точке летнего солнцестояния, поскольку в это время угол, образуемый эклиптической и горизонтом при восходе и заходе, имеет одинаковую величину [НАМА, р.235].

91. Элонгация планеты в моменты гелиакических восходов или заходов — основной параметр, используемый Птолемеем для предвычисления значений *arcus visionis*. Элонгация определяется из наблюдений, но каких именно, не указывается. Дж.Тумер установил, что Сатурн имел требуемую долготу 0° Рака лишь около 120 г. н.э., т.е. намного раньше эпохи наблюдений самого Птолемея. Можно предположить поэтому, что, по крайней мере в том, что касается Сатурна, Птолемей основывался не на своих наблюдениях [РА, р.637, п.64].

92. Наблюдения, на которые ссылается Птолемей, имеют, вероятно, в основном вавилонское происхождение. В «Географии» широта Вавилона определяется величиной $\varphi = 35^\circ$, что хорошо соответствует стандартному отношению $M:m = 3:2$ и наибольшего дня к наименьшей ночи, принятому в вавилонских текстах. Продолжительность дня $M = 14\frac{1}{4}^h$ в Финикии есть полусумма соответствующих значений для Родоса ($M = 14\frac{1}{2}^h$) и Нижнего Египта ($M = 14^h$), см. кн.II, гл.6, с.41–42. См. также [НАМА, р.234, 249, п.12, 367; РА, р.638, п.65].

93. Кн.II, гл.11.

94. Угол между эклиптической и горизонтом ν будет одним и тем же для всех планет, если заданы географическая широта и положение Солнца на эклиптике. Используя таблицу кн.II, гл.13 при $\lambda = 0^\circ$ Рака, О.Нейгебауэр нашел для климата III ($M = 14^h$) $\nu = 56;28'$ и климата IV ($M = 14;30^h$) $\nu = 50;1'$. Линейная интерполяция для $M = 14\frac{1}{4}^h$ дает $\nu = 53;15'$, тогда как Птолемей приводит $\nu = 51;30'$. Аналогичные расхождения между значениями угла ν , полученными на основе метода, описанного в кн.II, и приведенными Птолемеем, встречаются также в кн.XIII, гл.8 при вычислении угла ν для $\lambda = 0^\circ$ Тельца и $\lambda = 0^\circ$ Девы (с.425, 426 и коммент. 104, 108), а также в таблице кн.XIII, гл.10. О.Нейгебауэр предполагает, что вместо

точной процедуры здесь применялись более грубый метод и параметры, в частности, величина ϵ предполагалась, по-видимому, равной 24° (вместо $\epsilon = 23;51^\circ$, используемой повсюду в «Альмагесте») [НАМА, р.236, 245–250].

95. Широтами Юпитера и Сатурна можно пренебречь, поскольку наиболее северная точка деферента находится на 0° Весов (см. с.398 и коммент. 5) и, значит, 0° Рака попадает в окрестность узла. В случае Марса, однако, широта должна учитываться. По расчетам О.Нейгебауэра, $\beta \approx 0;10,9^\circ$, если долгота планеты $\lambda = 0^\circ$ Рака, а ее элонгация $\eta = 14\frac{1}{2}^\circ$ [НАМА, р.237, п.9].

96. Имеется в виду $\nu = 51;30^\circ$.

97. Расстояние Солнца от апогея $\kappa = \lambda_\odot - \lambda_a = 18;50^\circ$ в случае Венеры и $\kappa = 13^\circ$ в случае Меркурия; отсюда по таблице кн.ІІІ, гл.6 находим соответствующие аномалии $c_\odot(18^\circ) = -0;42^\circ$ и $c_\odot(12^\circ) = -0;28^\circ$ и далее $\bar{\lambda}_\odot = \lambda_\odot - c_\odot \approx 25^\circ$ Близнецов для Венеры и $\bar{\lambda}_\odot = 19^\circ$ Близнецов для Меркурия.

98. Для нахождения широты необходимо определить расстояние центра эпицикла от апогея κ_0 и истинную аномалию планеты α . Птолемей находит эти величины с помощью таблицы планетной аномалии кн.ХІ, гл.11. Известна истинная и средняя долгота планеты, а также долгота ее апогея. Эти данные позволяют определить $\bar{\kappa}$ — среднее расстояние центра эпицикла от апогея и κ — расстояние планеты от апогея. Каким образом дальше действовал Птолемей, неизвестно. Возможную реконструкцию вычислительной процедуры см. в [НАМА, р.237–238], а также [НА ІІ, 431–434, Ант. 23].

99. Такие же точно значения *arcus visionis* для всех планет, кроме Меркурия, приведены в «Канопской надписи» [Hamilton etc., 1987, р.68]; в «Планетных гипотезах» и в «Подручных таблицах» система параметров, характеризующих гелиакические восходы и заходы планет, коренным образом отличается от принятой в «Альмагесте» [Goldstein, 1967, р.9; НАМА, р.107].

100. За один синодический период при движении Венеры или Меркурия по эпициклу должны наблюдаться два промежутка невидимости (рис. 13-К, соответствующий [НАМА, р.1290, Fig. 243]): от Σ до Ξ в верхнем соединении и от Ω до Γ во время попятного движения в нижнем соединении различной, но приблизительно постоянной величины. Наблюдения, однако, свидетельствуют, что период невидимости Венеры от последнего вечернего захода (Ω) до первого утреннего восхода (Γ) изменяется от 2 дней, когда центр эпицикла находится в начале Рыб, до 16 дней, когда центр эпицикла в начале Девы. Прокл утверждает, что эта проблема привлекала особое внимание античных астрономов [Manitius, 1909, S.11, 13, 221]. У Меркурия же целиком не наблюдаются периоды видимости от Ξ до Ω , когда центр эпицикла в начале Скорпиона, или от Γ до Σ , когда центр эпицикла в начале Тельца. Неправильности в чередовании конфигураций Меркурия были известны уже вавилонским астрономам [НАМА, р.403].

Движения Венеры и Меркурия, однако, представляются странными лишь в том случае, если считать, что эпицикл находится в плоскости деферента. Однако это не так в модели Птолемея. Промежутки видимости или невидимости планеты должны поэтому существенно зависеть от положения плоскости эпицикла относительно «конуса невидимости» планеты $\Xi\Omega\Gamma\Sigma$ с осью OC . Подробнее см. [НАМА, р.239, 241]. В настоящей главе показано, что наблюдаемые явления можно объяснить с достаточной степенью точности на основе принятой кинематической модели и вычислений значений *arcus visionis*.

101. Наиболее северная и южная точки деферента Венеры, через которые проходит линия апсид эксцентра, имеют долготы 25° Тельца и 25° Скорпиона; линия узлов деферента поэтому пересекает эклиптику в точках 25° Льва и 25° Водолея;

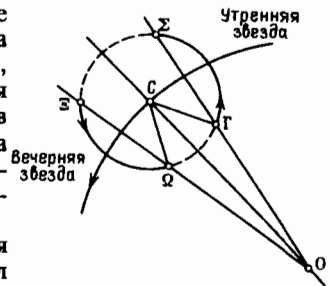


Рис. 13-К

интересующая нас точка 0° Рыб находится, таким образом, в узле, и, следовательно, имеет место ситуация, рассмотренная в кн. XIII, гл. 3, с. 402, когда $\beta = \pm 6\frac{1}{3}^\circ$ (плюс — в Рыбах, минус — в Деве).

102. Когда имеет место последняя видимость Венеры как вечерней звезды; при этом 0° Рыб заходит, а 0° Девы восходит.

103. Значение $\nu = 77^\circ$ угла между эклипкой и горизонтом, единственное из определенных Птолемеом, которое может быть получено интерполяцией на основе таблиц кн. II, гл. 13; в них 0° Рыб в климате III соответствует угол $10;5^\circ$, в климате IV — $15;53^\circ$; средняя величина — $12;59^\circ$, а ее дополнение — $\nu = 77;1^\circ$ [НАМА, р. 236; РА, р. 641, п. 74].

104. В указанный момент 0° Рыб восходит и 0° Девы заходит на широте Финикии; согласно Птолемею $\nu = 34;30^\circ$. Но, как показал О. Нейгебауэр [НАМА, р. 236], расчеты, выполненные при помощи таблицы кн. II, гл. 13, дают $\nu = 35;1^\circ$. См. также коммент. 94.

105. Равенство приближенное, поскольку среднее движение планеты по долготе равно среднему движению Солнца, а не истинному. В данном случае этой разницей пренебрегается.

106. Угол $\Omega OG = 3;14^\circ$ (рис. 13-K) соответствует движению по аномалии $\alpha = \hat{\Omega}G \approx 1\frac{1}{4}^\circ$. В самом деле, таблица кн. XI, гл. 11, с. 370 для Венеры дает на среднем расстоянии $c_6 = 7;38^\circ$ при $\alpha = 177^\circ$, откуда $\alpha = \frac{3 \times 3;14}{7;38} = 1;16^\circ \approx 1\frac{1}{4}^\circ$; аналогично для $\hat{\Omega}OC = 18;2^\circ$ $\alpha = \frac{9 \times 18;2^\circ}{21;15^\circ} = 7;35^\circ \approx 7\frac{1}{2}^\circ$ и для $OCG = 6;38^\circ$ $\alpha = \frac{3 \times 6;38^\circ}{7;38^\circ} = 2;36^\circ \approx 1\frac{1}{2}^\circ$, см. также [НА II, 434, Anm. 24].

107. Коммент. 101.

108. Точка эклиптики с долготой 0° Девы заходит, а 0° Рыб восходит, т.е. имеет место ситуация, аналогичная рассмотренной в коммент. 104, и, значит, $\nu = 34;30^\circ$.

109. Коммент. 106.

110. Здесь 0° Девы восходит и 0° Рыб заходит, поэтому $\nu = 77^\circ$, см. коммент. 103.

111. Коммент. 106.

112. Коммент. 100.

113. Заходит 0° Скорпиона, и 0° Тельца восходит, т.е. восходит точка эклиптики с долготой $\lambda = 30^\circ$. Как показал О. Нейгебауэр [НАМА, р. 240], для угла наклона ν эклиптики к горизонту справедливо соотношение $\nu(\lambda) = \nu(-\lambda)$, и, следовательно, $\nu(0^\circ \text{ Тельца}) = \nu(30^\circ) = \nu(-30^\circ) = \nu(0^\circ \text{ Рыб}) = 34;30^\circ$; аналогично $\nu(0^\circ \text{ Скорпиона}) = \nu(-150^\circ) = \nu(150^\circ) = \nu(0^\circ \text{ Девы}) = 77;0^\circ$.

114. О вычислении широты в данном случае см. [НАМА, р. 241, п. 11; р. 1292, Fig. 248].

115. Кн. XII, гл. 9, с. 396.

116. Коммент. 114.

117. Кн. XII, гл. 9, с. 397.

118. Последнее утверждение, строго говоря, неверно. Широта планеты не может быть определена по известным значениям $\argus\ visionis$ и углу наклона эклиптики к горизонту, который вообще с планетной теорией не связан. Птолемеи, очевидно, вводил здесь какие-то дополнительные ограничения. Исследование вычислительной процедуры Птолемея см. в [Аабое, 1960; НАМА, р. 242–256].

119. Для географической широты Финикии, см. с. 423 и коммент. 92. То, что таблицы составлены для одной только географической широты, свидетельствует как будто об уменьшении интереса к предвычислению дат гелиакических восходов и заходов планет во времена Птолемея. Однако в «Подручных таблицах» соответствующие таблицы вычислены для семи климатов. Птолемей, кроме того, является автором специального сочинения, посвященного гелиакическим восходам и заходам звезд, известного под названием «Фазы». См. также [НАМА, р. 242, 256–261].

120. В случае верхних планет «утренний восход» — это первая видимость планеты утром, «вечерний заход» — последняя видимость вечером; в случае нижних планет

«вечерний восход» — первая видимость как вечерней звезды (Ξ на рис. 13-K), «вечерний заход» — последняя видимость как вечерней звезды (Ω), «утренний восход» — первая видимость как утренней звезды (Γ), «утренний заход» — последняя видимость как утренней звезды (Σ). В таблицах приведены расстояния по долготе $\Delta\lambda$ ($\Delta\lambda$ или ΔK на рис. 13.25) планеты от истинного Солнца, соответствующие каждой из конфигураций. Величины $\Delta\lambda$ вычислены для значений долготы планеты $\lambda = 30^\circ k$, где $k = 0, 1, 2, \dots, 11$.

Приведем один пример предвычисления дат гелиакических восходов и заходов планеты по таблицам Птолемея, рассмотренный в [НАМА, р.243–244].

Пусть требуется определить даты вечернего захода (Ω) и утреннего восхода (Γ) Венеры вблизи нижнего соединения в начале 443 г. по эре Набонассара (–305, ноябрь).

В окрестности указанной даты определяем элонгации Венеры $\Delta\lambda_\odot = \lambda_\odot - \lambda_\oplus$ с интервалом 5 суток. Соответствующие величины $\lambda_\odot$, $\lambda_\oplus$ и $\Delta\lambda_\odot$, вычисленные по таблицам кн.III, гл.2, 6, кн.IX, гл.4 и кн.XI, гл.11, представлены в приводимой здесь таблице. Столбец 1 таблицы содержит номер наблюдения (согласно нумерации О.Нейгебауэра), столбец 2 — дату по эре Набонассара (номер месяца, день) и по юлианскому календарю; столбцы 3, 4, 5 — соответственно долготу Солнца, долготу Венеры и элонгацию в указанные моменты времени. В таблице кн.XIII, гл.10, однако, значения элонгации приводятся лишь для долгот $\lambda_\odot = 30^\circ k$. Мы должны поэтому пересчитать ее таким образом, чтобы определить элонгации для требуемых значений долготы.

Набонассара 443 (–305)				$\lambda_\odot$	$\lambda_\oplus$	$\Delta\lambda_\odot$
6	I 3	Ноябрь 10	10	224;24°	241; 3°	– 16;39°
7		8	15	229;32	232;54	– 9;22
8		13	20	234;34	236;14	– 1;35
9		18	25	239;48	233;28	+ 6;20
10		23	30	244;57	231;11	+ 13;46

В таблице гл.10 кн.XIII приведены следующие значения элонгации Венеры для Ω и Γ в окрестности $\lambda_\odot = 240^\circ = 0^\circ$ Стрельца:

$\lambda_\odot$	$\Delta\lambda(\Omega)$	$\Delta\lambda(\Gamma)$
210°	– 13;47°	+ 5;28°
240°	– 8; 1°	+ 4;39°
270°	– 4; 8°	

По этим данным линейной интерполяцией находим элонгации $\Delta\lambda$, которые должны иметь место в Ω и Γ для приведенных значений $\lambda_\odot$:

№	$\Delta\lambda(\Omega)$	$\Delta\lambda(\Gamma)$
6	– 7;53°	
7	– 8;13°	
8	– 8;46°	+ 4;45°
9		+ 4;50°
10		+ 4;52°

Отсюда ясно, что последний вечерний заход (Ω) будет иметь место в день №7 (ноябрь 15), так как в этот день элонгация Венеры (–9;22°) еще будет превышать требуемое значение (–8;13°), а в следующий — станет меньше его (1;35 < 8;46); первый же утренний восход (Γ) произойдет в день №9 (ноябрь 25), поскольку в этот день элонгация Венеры (+6;20°) превысит требуемое значение (+4;50°), а в предыдущий еще не достигнет нужной величины (–1;35° < +4;45°). Оценки, полученные с помощью таблиц Птолемея, в целом согласуются с современными данными [Schram, 1908].

121. В таблицы внесены исправления согласно [РА, р.646–647, п.83].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арат.* — Арат. Явления (Феномены). См. [Россиус, 1992. С.24—61].
- Аристотель, Метафиз.* — Аристотель. Метафизика /Пер. А.В.Кубицкого //Сочинения. Т.1. М.: Мысль, 1976. С.63—367.
- Аристотель, Метеор.* — Аристотель. Метеорология /Пер. Н.В.Брагинской //Сочинения. Т.3. М.: Мысль, 1981. С.441—556.
- Аристотель. О небе.* — Аристотель. О небе /Пер. А.В.Лебедева //Сочинения. Т.3. М.: Мысль, 1981. С.263—378.
- Архимед.* 1962. — Архимед. Сочинения /Пер. И.Н.Веселовского. М.: Физматгиз, 1962.
- Беруни.* 1973. — Беруни Абу Райхан. Канон Мас'уда. Кн.I—V /Вступ. статья, пер. и примеч. П.Г.Булгакова и Б.А.Розенфельда при участии М.М.Рожанской и А.Ахмедова; под ред. С.Х.Сираждинова и Г.П.Матвиевской //Беруни. Избранные произведения. Т.V, ч.1. Ташкент: Фан, 1973.
- Беруни.* 1976. — Беруни Абу Райхан. Канон Мас'уда. Кн.VI—XI /Пер. и примеч. Б.А.Розенфельда и А.Ахмедова при участии М.М.Рожанской, С.А.Красновой и Ю.П.Смирнова; под ред. С.Х.Сираждинова и Г.П.Матвиевской //Беруни. Избранные произведения. Т.V, ч.2. Ташкент: Фан, 1976.
- Бикерман.* 1975. — Бикерман Э. Хронология древнего мира /Пер. с англ. И.М.Стеблин-Каменского; отв. ред. М.А.Дандамаев. М.: Наука, 1975.
- Боднарский.* 1953. — Античная география: Книга для чтения /Сост. М.С.Боднарский. М., 1953. С.286—318 (Клавдий Птолемей. Руководство по географии. Кн. I, гл.1—24, Кн.III, гл.5—8, 10 /Пер. К.С.Апта, В.В.Латышева).
- Бронштэн.* 1988. — Бронштэн В.А. Клавдий Птолемей /Отв. ред. А.А.Гурштейн. М.: Наука, 1988.
- Бронштэн.* 1996. — Бронштэн В.А. «Альмагест» Птолемея на Руси //Земля и Вселенная. 1996. №1. С.61—68.
- Бронштэн.* 1997. — Бронштэн В.А. Русский перевод XVII века первой книги «Альмагеста» Птолемея //Рукописи, редкие издания, архивы. М.: Археографический центр, 1997. С.7—20.
- Ван-дер-Варден.* 1959. — Ван-дер-Варден Б.Л. Пробуждающаяся наука. I. Математика древнего Египта, Вавилона и Греции /Пер. с голланд. И.Н.Веселовского. М.: Физматгиз, 1959.
- Ван-дер-Варден.* 1991. — Ван-дер-Варден Б.Л. Пробуждающаяся наука. II. Рождение астрономии /Пер. с англ. Г.Е.Куртика; под ред. А.А.Гурштейна. М.: Наука, 1991.
- Веселовский.* 1974. — Веселовский И.Н. Очерки истории теоретической механики. М.: Высшая школа, 1974.
- Веселовский, Белый.* 1974. — Веселовский И.Н., Белый Ю.А. Николай Коперник. М.: Наука, 1974.
- Вильев.* 1919. — Вильев М.А. Сравнение некоторых наблюдений Луны и планет, упоминаемых в древних и средневековых источниках, с их положением, определяемым по современным таблицам их движений //Изв. Петроград. науч. ин-та им. П.Ф.Лесгафта, 1919. Т.I. С.18—27.
- Витрувий.* 1936. — Витрувий М.П. Десять книг об архитектуре /Пер. с лат. Ф.А.Петровского. М.: Изд-во Академии архитектуры, 1936.
- Германик.* 1988. — Германик Цезарь. Небесные явления по Арату /Пер. с лат.; под ред. Н.А.Федорова //ИАИ, 1988. Вып. 20. С.336—372.
- Гигин.* 1997. — Гигин. Астрономия /Пер. с лат. и коммент. А.И.Рубана; вступ. статья А.В.Петрова. СПб: Изд-во «Алетейя», 1997.

- Гиппарх. Комментарии к Арату. См. [Manitius, 1894; Германик, 1988, Россиус, 1992].
- Гурштейн, 1988. — Гурштейн А.А. Птолемей и Коперник // Природа. 1988. №3. С.85—92.
- Дамбис, 1998. — Дамбис А.К. Датировка эпохи наблюдения звезд каталога «Альмагеста» по собственным движениям // Древняя астрономия: Небо и Человеч. Труды конференции по археоастрономии (19—24 ноября 1997 г.). М.: Кудесник, 1998.
- Данилов, 1994. — Данилов Ю.А. «Тетрабиблос», или «Математический трактат в четырех книгах» Клавдия Птолемея // На рубежах познания Вселенной, М.: Янус, 1994. С.371—374. (ИАИ, Вып.24).
- Данилов, 1996. — Данилов Ю.А. Астрологический «Тетрабиблос» // Знание за пределами науки: Мистицизм, герметизм, астрология, алхимия, магия в интеллектуальной традиции I—XIV веков. М.: Республика, 1996. С.131—133.
- Дрейер, 1918. — Дрейер Е. О происхождении звездного каталога Птолемея // Мироздание. 1918. Т.7, №4 (34). С.158—170.
- Евклид, I—XV. — Евклид. Начала / Пер. М.М.Мордухай-Болтовского при ред. участии М.Я.Выгодского и И.Н.Веселовского. М.; Л.: Гостехиздат. 1948. Т.1 (Кн.I—VI); 1949. Т.2 (Кн.VII—X); 1950. Т.3 (Кн.XI—XV).
- Ефремов, Павловская, 1989. — Ефремов Ю.Н., Павловская Е.Д. Определение эпохи звездного каталога «Альмагеста» по анализу собственных движений звезд (К проблеме авторства звездного каталога Птолемея) // ИАИ, 1989. Вып. 21. С.175—192.
- Житомирский, 1983. — Житомирский С.В. Античные представления о размерах мира // ИАИ, 1983. Вып.16. С.291—326.
- Жмудь, 1994. — Жмудь Л.Я. Наука, философия и религия в раннем пифагореизме. СПб: Изд-во «Алетейя», 1994.
- ИАИ.—Историко-астрономические исследования.
- Идельсон, 1975. — Идельсон Н.И. Этюды по истории небесной механике. М.: Наука, 1975.
- История математики, 1970. — История математики с древнейших времен до начала XIX столетия: В 3т. /Под ред. А.П.Юшкевича. Т.1. М.: Наука, 1970.
- Климишин, 1985. — Климишин И.А. Календарь и хронология. М.: Наука, 1985.
- Коперник, 1964. — Коперник Н. О вращениях небесных сфер. Малый комментарий. Послание против Вернера. Упсальская запись /Пер. с лат. И.Н.Веселовского; под ред. А.А.Михайлова. М.: Наука, 1964.
- Крачковский, 1957. — Крачковский И.Ю. Арабская географическая литература // Избр. соч. Т.IV. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957.
- Куртик, 1986. — Куртик Г.Е. Теория восхождения и нисхождения Сабита ибн Корры // ИАИ, 1986. Вып.18. С.111—150.
- Куртик, 1989. — Куртик Г.Е. Наблюдение и его интерпретация в астрологии и астрономии Древней Месопотамии // Вопросы истории естествознания и техники, 1989, №1. С.36—47.
- Куртик, 1990. — Куртик Г.Е. Астрономия Древнего Египта // На рубежах познания Вселенной. М.: Наука, 1990. С.207—256.
- Куртик, 1994. — Куртик Г.Е. Ранние этапы развития астрологии // Саплин А.Ю. Астрологический энциклопедический словарь. М.: Русская историческая энциклопедия; Внешсигма, 1994. С.11—29.
- Куртик, 1997. — Куртик Г.Е. Понятие скорости в античной науке: Аристотель—Птолемей // Исследования по истории физики и механики. М.: Наука, 1997. С.219—248.
- Латышев, 1948. — Латышев В.В. Известия древних писателей о Скифии и Кавказе // Вестник древней истории, 1948. № 2.
- Лурье, 1970. — Лурье С.Я. Демокрит. Тексты. Перевод. Исследования. Л.: Наука, 1970.
- Матвеевская, 1990. — Матвеевская Г.П. Очерки истории тригонометрии. Ташкент: Фан, 1990.
- Матвеевская, Розенфельд, 1983. — Матвеевская Г.П., Розенфельд Б.А. Математики и астрономы мусульманского средневековья и их труды (VIII—XVII вв.). Т.1—3. М.: Наука, 1983.
- Михайлов, 1945. — Михайлов А.А. Теория затмений. М.; Л.: Гостехиздат, 1945.

- Нейгебауэр, 1968. — Нейгебауэр О. Точные науки в древности /Пер. с англ. Е.В.Гохман; под ред. А.П.Юшкевича. М.: Наука, 1968.
- Ньютон, 1985. — Ньютон Р. Преступление Клавдия Птолемея. /Пер. с англ. Н.Б.Малышевой; под ред. Е.А.Гребеникова. М.: Наука, 1985.
- Окулич, 1918. — Окулич Л.В. Первый звездный каталог //Мироведение. 1918. Т.7, №2. С.120—126.
- Паннекук, 1966. — Паннекук А. История астрономии /Пер. с англ. Н.И.Невской; под ред. Б.В.Кукаркина и П.Г.Куликовского. М.: Наука, 1966.
- Птолемей. *Альмагест*. См. [Ptolemaeus, 1515; 1528; 1538; Hei I, II; PA; HA I, II; Halma, 1813; 1816; Taliaferro, 1952; HAMA; SA].
- Птолемей. *Аналемма*. См. [Heiberg, 1907, S.189—223; Luckey, 1927; HAMA, P.839—857].
- Птолемей. *Гармоники*. См. [Düring, 1930; 1934].
- Птолемей. *География*. См. [Nobbe, 1843—1845; Stevensen, 1932; Fischer, 1932; Боднарский, 1953].
- Птолемей. *Канопская надпись*. См. [Heiberg, 1907, S.147—155; Halma, 1920, P.57—62; HAMA, P.901, 913—917; Hamilton etc., 1987].
- Птолемей. *Оптика*. См. [Lejeune, 1956].
- Птолемей. *Планетные гипотезы*. См. [Heiberg, 1907, S.69—145; Goldstein, 1967; Halma, 1820, P.41—56; HAMA, P.900—926; Murschel, 1995].
- Птолемей. *Планисферий*. См. [Heiberg, 1907, S.225—259; Drecker, 1927; HAMA, P.857—868].
- Птолемей — Теон Александрийский. *Подручные таблицы*. См. [Heiberg, 1907, S.157—185; Halma, 1822—1825; Tihon, 1978; 1985(I); HAMA, P.969—1028].
- Птолемей. *Фазы*. См. [Heiberg, 1907, S.1—67; HAMA, P.926—931; Grasshoff, 1993].
- Птолемей. *Четверокнижие*. См. [Boll, Boer, 1957; Robbins, 1948; Птолемей, 1992; 1994; 1996].
- Птолемей, 1992. — Птолемей Клавдий. Тетрабиблос. М., 1992.
- Птолемей, 1994. — Клавдий Птолемей. Тетрабиблос. Кн. I. Гл. 1—16 /Пер. и коммент. Ю.А.Данилова //На рубежах познания Вселенной. М.: Янус, 1994. С.375—392. (ИАИ, Вып. 24).
- Птолемей, 1996. — Клавдий Птолемей. Математический трактат, или Четверокнижие: Кн. I—II /Пер. с древнегреч. и примеч. Ю.А.Данилова //Знание за пределами науки: Мистицизм, герметизм, астрология, алхимия, магия в интеллектуальной традиции I—XIV веков. М.: Республика. С.92—131.
- Райт, 1988. — Райт Дж.К. Географические представления в эпоху крестовых походов /Пер. с англ. М.: Наука, 1988.
- Рожанская, 1976. — Рожанская М.М. Механика на средневековом Востоке. М.: Наука, 1976.
- Рожанская, Куртик, 1993. — Рожанская М.М., Куртик Г.Е. Механика и наука средневекового Востока /Механика в истории мировой науки. М.: Наука, 1993. С.81—151.
- Рожанский, 1979. — Рожанский И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности: Ранняя греческая наука о природе. М.: Наука, 1979.
- Рожанский, 1988. — Рожанский И.Д. История естествознания в эпоху эллинизма и Римской империи. М.: Наука, 1988.
- Россиус, 1992. — Небо, наука, поэзия: Античные авторы о небесных светилах /Пер. с древнегреч. и коммент. А.А.Россиуса; вступ. статья Г.М.Дашевского; под ред. Н.А.Федорова и П.В.Щеглова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992.
- Рыбников, 1974. — Рыбников К.А. История математики. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974.
- Страбон, 1964. — Страбон. География. В 17 кн. /Пер. с древнегреч.; вступ. статья и коммент. Г.А.Стратановского. М.: Наука, 1964.
- Фрагменты. — Фрагменты ранних греческих философов: Ч. I /Изд. подгот. А.В.Лебедев. М.: Наука, 1989.
- Хеннинг, 1961. — Хеннинг Р. Неведомые земли. Т.1 /Пер. с нем. М.: Наука, 1961.
- Цицерон. О дивин. — Цицерон. О дивинации /Пер. с лат. М.И.Рижского //Философские трактаты. М.: Наука, 1985. С.191—298.

- Шевченко*, 1988. — Шевченко М.Ю. Звездный каталог Клавдия Птолемея: Специфика астрометрических наблюдений древности // ИАИ, 1988. Вып.20. С.167—186.
- Шевченко*, 1997. — Шевченко М.Ю. Клавдий Птолемей: Суд людей и суд истории // Земля и Вселенная. 1997. №2.
- Шпилевский*, 1988. — Шпилевский А.В. Альмагест и хронология // Вестник древней истории. 1988. №3. С.135—159.
- Юшкевич*, 1961. — Юшкевич А.П. История математики в средние века. М.: Физматгиз, 1961.
- Aaboe*, 1955. — Aaboe A. On the Babylonian Origin of Some Hipparchian Parameters // Centaurus. 1955. V.4. P.122—125.
- Aaboe*, 1960. — Aaboe A. On the Tables of Planetary Visibility in the Almagest and the Handy Tables // Danske Vidensk. Selskab, Hist.-filos. Medd. 1960. Vol.37, No.8.
- Aaboe*, 1980. — Aaboe A. Observation and Theory in Babylonian Astronomy // Centaurus. 1980. V.23. P.14—35.
- ACT I, II, III. — Astronomical Cuneiform Texts /Ed. O. Neugebauer. V.I—III. London: Lund Humphries, 1955.
- Berger*, 1880. — Berger H. Die geographischen Fragmente des Eratosthenes. Leipzig, 1880.
- Boeckh*, 1863. — Boeckh A. Ueber die vierjährigen Sonnenkreise der Alten, vorzüglich den Eudoxischen. Berlin, 1863.
- Boer*, 1952. — Claudii Ptolemaei opera quae extant omnia. V.III, 2. Karpos /Ed. A.Boer. Leipzig: Teubner, 1952 (Reprint 1961), S.XVII—XXXIV, 37—69.
- Boll*, 1894. — Boll F. Studien über Claudius Ptolemäus // Jahrbücher für classische Philologie. 1894. Suppl. Bd.21. S.51—224.
- Boll*, 1901. — Boll F. Die Sternkataloge des Hipparch und des Ptolemaios // Bibliotheca Mathematica. 1901. Folge 3, Bd.2. S.182—195.
- Boll, Boer*, 1957. — Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia. V.III, 1. Apotelesmatica /Ed. F.Boll et A.Boer. Leipzig: Teubner, 1957.
- Bowen, Goldstein*, 1988. — Bowen A.C., Goldstein B.R. Meton of Athens and Astronomy in the Late Fifth Century B.C. // A Scientific Humanist: Studies in Memory of Abraham Sacks /Ed. E.Leichty. Philadelphia, 1988. P.39—81.
- Braunmühl*, 1900, 1903. — Braunmühl A. Vorlesungen über die Geschichte der Trigonometrie. Bd.I,II. Leipzig, 1900, 1903.
- Bouché-Leclercq*, 1899. — Bouché-Leclercq A. L'astrologie grecque. Paris, 1899 (Reprint. Brussels, 1963).
- Britton*, 1967. — Britton J.P. On the Quality of Solar and Lunar Observations and Parameters in Ptolemy's Almagest. A Dissertation submitted to Yale University, 1967.
- Britton*, 1969. — Britton J.P. Ptolemy's Determination of the Obliquity of the Ecliptic // Centaurus. 1969. V.14. P.29—41.
- Britton*, 1992. — Britton J.P. Models and Precision: The Quality of Ptolemy's Observations and Parameters. N.Y., Garland, 1992.
- Bruin*, 1976. — Bruin F., Bruin M. The Equator Ring, Equinoxes and Atmospheric Refraction // Centaurus. 1976. V.20. P.89—111.
- Cantor*, 1892. — Cantor M. Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. Bd.I, Aufl.3. Leipzig: Teubner, 1907.
- Caspar*, 1929. — Kepler Johannes. Neue Astronomie /Übersetz. u. eingeleitet von M. Caspar. München, Berlin, 1929.
- Czwalina*, 1958. — Czwalina A. Über einige Beobachtungsfehler des Ptolemäus und die Deutung Ihrer Ursachen // Centaurus. 1958. V.5. P.283—306.
- Czwalina*, 1959. — Czwalina A. Ptolemäus, die Bahnen der Planeten Venus und Merkur // Centaurus. 1959. V.6. P.1—35.
- Dambis, Efremov*. — Dambis F.K., Efremov Yu.N. Star Proper Motions Yield Hipparchus' Epoch for Ptolemy's Catalogue // JHA (в печати).
- Delambre*, 1817. — Delambre J.B.J. Histoire de l'astronomie ancienne. Vol.I—II. Paris, 1817.
- Dicks*, 1954. — Dicks D.R. Ancient Astronomical Instruments // J. Brit. Astron. Ass. 1954. V.64. P.77—85.
- Dicks*, 1970. — Dicks D.R. Early Greek Astronomy to Aristotle. Bristol: Thames & Hudson, 1970.

- Drecker*, 1927. — Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus /Übersetz. von J.Drecker //Isis. 1927. V.9. P.255—278.
- Dreyer*, 1906. — Dreyer J.L.E. History of Planetary Systems from Thales to Kepler. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1906 (Reprint: A History of Astronomy from Thales to Kepler. N.Y.: Dover, 1953).
- Dreyer*, 1917, 1918. — Dreyer J.L.E. On the Origin of Ptolemy's Catalogue of Stars //MN. 1917. V.77. P.528—539; 1918. V.78. P.343—349.
- Duhem*, 1913—1959. — Duhem P. Le système du monde. Vol.1—10. Paris: Hermann, 1913—1959.
- Düring*, 1930. — Die Harmonielehre des Klaudios Ptolemaios /Hrsg. von I.Düring //Göteborgs Hogskolas Arskrift. 1930. Bd.36, No.1.
- Düring*, 1934. Ptolemaios und Porphyrios über die Musik /Übersetz. u. komm. von I.Düring //Göteborgs Hogskolas Arskrift. 1934. Bd.40, No.1.
- Evans*, 1984. — Evans J. On the Function and Probable Origin of Ptolemy's Equant //Amer. J. Phys. 1984. V.52, No.12. P.1080—1089.
- Evans*, 1987. — Evans J. On the Origin of Ptolemy's Star Catalog //JHA. 1987. V.18. P.155—172, 233—278.
- Fischer*, 1932. — Claudii Ptolemaei Geographiae Codex Urbinae Graecus 82 /Ed. J.Fischer. Pars. I,II. Leipzig: Harrassowitz; Leiden: Brill, 1932.
- Fotheringham*, 1918. — Fotheringham J.K. The Secular Acceleration of the Sun as Determined from Hipparchus' Equinox Observations; with Note on Ptolemy's False Equinox //MN. 1918. V.78. P.406—423.
- Fotheringham*, 1920. — Fotheringham J.K. Note on the Secular Accelerations of the Sun and Moon as determined from the Ancient Lunar and Solar Eclipses, Occultations and Equinox Observations //MN. 1920. V.80. P.578—581.
- Fotheringham*, 1923. — Fotheringham J.K. The Secular Acceleration of the Moon's Mean Motion as Determined from Occultations and Conjunctions in the «Almagest» (a correction) //MN. 1923. V.83. P.370—373.
- Fotheringham*, 1924. — Fotheringham J.K. The Metonic and Callippic Cycles //MN. 1924. V.84. P.383—392.
- Fotheringham*, 1928. — Fotheringham J.K. The Indebtedness of Greek to Chaldaean Astronomy //The Observatory. 1928. V.51, No.653. P.301—315.
- Fotheringham, Longbottom*, 1915. — Fotheringham J.K., Longbottom G. The Secular Acceleration of the Moon's Mean Motion as Determined from the Occultations in the «Almagest» //MN. 1915. V.75. P.377—394.
- Fowler*, 1983. — Fowler D.H. Eratosthenes' Ratio for the Obliquity of the Ecliptic //Isis. 1983. V.74. P.556—562.
- Gingerich*, 1983. — Gingerich O. Ptolemy and the Maverick Motion of Mercury //Sky and Telescope. 1983. V.66, No.1. P.11—13.
- Gingerich*, 1980. — Gingerich O. Was Ptolemy a Fraud? //Quart. J. Roy. Astr. Soc. 1980. V.21. P.253—266.
- Gingerich*, 1981. — Gingerich O. Ptolemy Revisited: A Reply to R.R. Newton //Ibid. 1981. V.22. P.40—44.
- Gingerich, Welther*, 1984. — Gingerich O., Welther B. Some Puzzles of Ptolemy's Star Catalogue //Sky and Telescope. 1984. V.67, No.5. P.421—423.
- Ginzel*, 1899. — Ginzel F.K. Spezieller Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse. Berlin: Mayer & Müller, 1899.
- Ginzel*, 1906—1914. — Ginzel F.K. Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie. Bd.I—III. Leipzig: Hinrichs, 1906, 1911, 1914.
- Glowatzki, Gottsche*, 1976. — Glowatzki E., Gottsche H. Die Sehrentafel des Klaudios Ptolemaios. Nach den historischen Formelplanen Neuberechnet. München, 1976.
- Goldstein*, 1967. — Goldstein B.R. The Arabic Version of Ptolemy's «Planetary Hypothesis» //Trans. Amer. Philos. Soc. (N.S.). 1967. V.57, pt.4.
- Goldstein*, 1977. — Goldstein B.R. Remarks on Ptolemy's Equant Model in Islamic Astronomy /With Appendix by F.W.Sawyer //Prismata. Festschrift für Willy Hartner /Ed. Y.Maeyama, W.G.Salter. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag, 1977. S.165—181.
- Goldstein*, 1983. — Goldstein B.R. The Obliquity of the Ecliptic in Ancient Greek Astronomy //Archives internationales d'histoires des sciences. 1983. V.33, No.110. P.3—14.

- Goldstein, Bowen, 1989. — Goldstein B.R., Bowen A.C. On Early Hellenistic Astronomy: Timocharis and the First Callippic Calendar // *Centaurus*. 1989. V.32. P.272—293.
- Goldstein, Bowen, 1991. — Goldstein B.R., Bowen A.C. The Introduction of Dated Observations and precise Measurement in Greek Astronomy // *Archive for History of Exact Sciences*, 1991. V.43. P.93—132.
- Grasshoff, 1990. — Grasshoff G. The History of Ptolemy's Star Catalogue. Springer-Verlag, 1990.
- Grasshoff, 1993. — Grasshoff G. The Babylonian Tradition of Celestial Phenomena and Ptolemy's Fixed Star Calendar // *Die Rolle der Astronomie in den Kulturen Mesopotamiens*. Graz, 1993. P.95—134.
- HA I, II. — Ptolemaeus C. Handbuch der Astronomie. Bd.1—2, Aufl.2 /Deutsche Übersetz. u. erläut. Anm. von K.Manitius. Vorwort und Bericht. von O.Neugebauer. Leipzig: Teubner, 1963.
- Hallo, 1988. — Hallo W.W. The Nabonassar Era and other Epochs in Mesopotamian Chronology and Chronography // *A Scientific Humanist: Studies in Memory of Abraham Sachs* /Ed. E.Leichty. Philadelphia, 1988. P.175—190.
- Halma, 1813, 1816. — *Composition mathématique de Claude Ptolémée. I—II* //Traduite pour la première fois du grec en français par N.Halma et suivie des notes de M.Delambre. Paris, 1813, 1816.
- Halma, 1819. — Halma M. Table chronologique des regnes... apparitions des fixes et annonces par Ptolémée. Paris, 1819.
- Halma, 1820. — Hypothèses et époques des planètes, de C.Ptolémée, et hypotyposes de Proclus Diadochus /Ed. N.Halma. Paris, 1820.
- Halma, 1822—1825. — Tables manuelles astronomiques de Ptolémée et de Théon. Pt.I—III /Ed. N.Halma. Paris, 1822, 1823, 1825.
- HAMA. — Neugebauer O. A History of Ancient Mathematical Astronomy. V.1—3. Berlin; Heidelberg; N.Y.: Springer-Verlag, 1975.
- Hamilton etc. 1987. — Hamilton N.T., Swerdlow N.M., Toomer G.J. The Canobic Inscription // *From Ancient Omens to Statistical Mechanics*. Copenhagen: Univ. Library, 1987. P.55—73.
- Hartner, 1955. — Hartner W. The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venis // *Vistas in Astronomy*. 1955. V.1. P.84—138.
- Hartner, 1974. — Hartner W. Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shatir, and Copernicus on Mercury // *Archives internationales d'histoire des sciences*. 1974. V.24, No.94. P.5—25.
- Haskins, 1924. — Haskins C.H. Studies in the History of Mediaeval Science. Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press, 1924 (Reprint 1960).
- Heath, 1921. — Heath T.L. A History of Greek Mathematics. Vol.I,II. Oxford: Clarendon Press, 1921.
- Hei I, II. — Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia. Vol.I. Sintaxis Mathematica /Ed. J.L.Heiberg. Pars.I,II. Leipzig: Teubner, 1898, 1903.
- Heiberg, 1907. — Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia. Vol.II. Opera astronomica minora /Ed. J.L.Heiberg. Leipzig: Teubner, 1907.
- Henning, 1936. — Henning R. Terrae incognitae. Eine Zusammenstellung und kritische Bewertung der wichtigsten vorkolumbischen Entdeckungsreisen. I. Altertum bis Ptolemaeus. Leiden: E.J.Brill, 1936 (рус. пер. см. [Хеннинг, 1961]).
- Hill, 1900. — Hill G.W. Ptolemy's Problem // *Astr. J.* 1900. V.21. P.33—35.
- Honigmann, 1929. — Honigmann E. Die sieben Klimata. Heidelberg, 1929.
- Hunger, Pingree, 1989. — Hunger H., Pingree D. MUL. APIN. An Astronomical Compendium in Cuneiform // *Archiv für Orientforschung. Beiheft 24*, 1989.
- Ideler, 1806. — Ideler L. Historische Untersuchungen über die astronomischen Beobachtungen der Alten. Berlin, 1806.
- JHA — Journal for the History of Astronomy.
- Jones, 1983. — Jones A. The Development and Transmission of the 248-day Schemes for Lunar Motion in Ancient Astronomy // *Archive for History of Exact Science*, 1983. V.29. P.1—36.
- Jones, 1990. — Ptolemy's first commentator /Ed. A.Jones. — Philadelphia: Amer. philos. soc., 1990. (Trans. Amer. Philos. Soc., Vol.80, Pt.7).
- Jones, 1991. — Jones A. Hipparchus's Computations of the Solar Longitudes // *JHA*, 1991, V.22. P. 101—125.

- Kennedy, 1956. — Kennedy E.S. A Survey of Islamic Astronomical Tables // Trans. Amer. Philos. Soc. 1956. V.46, No.2. P.123—177.
- Krause, 1936. — Krause-M. Die Sphärik von Menelaus aus Alexandria in der Verbesserung von Abu Nasr Mansur b. Ali b. 'Iraq. Berlin, 1936.
- Kugler, 1900. — Kugler F.X. Die Babylonische Mondrechnung. Freiburg im Breisgau, 1900.
- Kunitzsch, 1974. — Kunitzsch P. Der Almagest. Die Syntax Mathematica des Claudius Ptolemaeus in arabisch-lateinischer Überlieferung. Wiesbaden, 1974.
- Kunitzsch, 1975. — Ibn-as-Salah. Zur Kritik der Koordinatenüberlieferung im Sternkatalog des Almagest /Hrsg. von P.Kunitzsch. Göttingen, 1975.
- Kunitzsch, 1986. — Ptolemaeus C. Der Sternkatalog des Almagest. Die arabisch-mittelalterliche Tradition. Teil I.: Die arabischen Übersetzungen /Hrsg. u. Übers. von P.Kunitzsch. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986.
- Kunitzsch, 1990. — Ptolemaeus C. Der Sternkatalog des Almagest. Die arabisch-mittelalterliche Tradition. Teil II. Die lateinische Übersetzung Gerhards von Cremona /Hrsg. von P.Kunitzsch. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1990.
- Kunitzsch, 1991. — Ptolemaeus C. Der Sternkatalog des Almagest. Die arabisch-mittelalterliche Tradition. Teil III: Gesamtkonkordanz der Sternkoordinaten /Bearb. von P.Kunitzsch. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1991.
- Kurtik, 1984. — Kurtik G.E. Die Entdeckung der Präzession // Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin. 1984. Bd.21, No.1, S.69—78.
- Lammert, 1952. — Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia. V.III, 2. Peri kriterion kai hegemonikon /Ed. F.Lammert. Leipzig: Teubner, 1952, S.I—XVI, 3—36 (Reprint 1961).
- LBAT. — Pinches T.G., Strassmaier J.N., Sachs A.J. Late Babylonian Astronomical and Related Texts. Providence: Brown Univ. Press, 1955.
- Lejeune, 1956. — L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugene de Sicile /Ed. A.Lejeune // Université de Louvain. Recueil de travaux d'histoire et de philologie. 4^e ser., fasc.8. Louvain, 1956.
- Luckey, 1927. — Luckey P. Das Analemma von Ptolemaeus // Astronomische Nachrichten. 1927. Bd.230. S.17—46.
- Maeyama, 1981. — Maeyama Y. The Basic Problems of the Babylonian Lunar Theory // Archives internationales d'histoire des sciences. 1981. V.31, No.107. P.253—372.
- Maeyama, 1984. — Maeyama Y. Ancient Stellar Observations, Aristyllus, Hipparchus, Ptolemy; the Dates and Accuracies // Centaurus. 1984. V.27. P.280—310.
- Manitius, 1894. — Hipparchi in Arati et Eudoxi Phaenomena Commentariorum Libri Tres /Ed. C.Manitius. Leipzig: Teubner, 1894.
- Manitius, 1898. — Gemini Elementa Astronomiae /Ed. C.Manitius. Leipzig: Teubner, 1898.
- Manitius, 1904. — Manitius K. Fixsternbeobachtungen des Altertums // Das Weltall. 1904. 5 Jahrgang, Heft 1—2. S.14—18, 22—26.
- Manitius, 1909. — Procli Diadochi hypotyposis astronomicarum positionum /Hrsg. u. Deutsch. Übersetz. von K.Manitius. Leipzig: Teubner, 1909.
- Meeus, Mücke, 1979. — Meeus J., Mücke H. Canon of Lunar Eclipses — 2002 to + 2526. Wien, 1979.
- MN — Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
- Moesgaard, 1974. — Moesgaard K.P. Success and Failure in Copernicus' Planetary Theories // Archives internationales d'histoire des sciences. 1974. V.24. P.73—111, 243—318.
- Moesgaard, 1987. — Moesgaard K.P. In Chase of an Origin for the Mean Planetary Motions in Ptolemy's Almagest // From Ancient Omens to Statistical Mechanics. Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe /Ed. J.L.Berggren & B.R.Goldstein. Copenhagen: Univ. Library, 1987.
- Murschel, 1995. — Murschel A. The Structure and Function of Ptolemy's Physical Hypotheses of Planetary Motion // JHA, 1995, V.XXVI. P.33—61.
- Neugebauer, 1934. — Neugebauer P.V. Spezieller Kanon der Mondfinsternisse für Vorderasien und Agypten von 3450 bis 1 v. Chr. // Astronomische Abhandlungen. Ergänzungshefte zu den Astronomischen Nachrichten. Bd.9. No.2. Kiel, 1934.
- Neugebauer, 1957. — Neugebauer O. The Exact Sciences in Antiquity. 2nd ed. Providence: Brown Univ. Press, 1957 (рус. пер. см. [Нейгебауэр, 1968]).

- Neugebauer*, 1959. — Neugebauer O. The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion according to Apollonius // *Scripta Mathematica*. 1959. V.24. P.5—21.
- Neugebauer*, 1968. — Neugebauer O. On the Planetary Theory of Copernicus // *Vistas in Astronomy*. 1968. V.10. P.89—103.
- Neugebauer*, 1983. — Neugebauer O. *Astronomy and History. Selected Essays*. N.Y.; Berlin; Heidelberg; Tokyo: Springer-Verlag, 1983.
- Neugebauer, Van Hoesen*, 1959. — Neugebauer O., Van Hoesen H.B. Greek Horoscopes // *Mem. Amer. Philos. Soc.* 1959. V.48.
- Nevalainen*, 1996. — Nevalainen J. The Accuracy of the Ecliptic Longitude in Ptolemy's Mercury Model // *JHA*, 1996. V.27, No.2. P.147—160.
- Newton*, 1973. — Newton R.R. The Authenticity of Ptolemy's Parallax Data. Pt.I // *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* 1973. V.14, No.4. P.376—388.
- Newton*, 1974. — Newton R.R. The Authenticity of Ptolemy's Eclipse and Star Date // *Ibid.* 1974. V.15. P.107—121.
- Newton*, 1976. — Newton R.R. *Ancient Planetary Observations and the Validity of Ephemeris Time*. Baltimore: John Hopkins Press, 1976.
- Newton*, 1977. — Newton R.R. *The Crime of Claudius Ptolemy*. Baltimore and London: The John Hopkins Univ. Press, 1977 (рус. пер. см. [Ньютон, 1985]).
- Newton*, 1979. — Newton R.R. On the Fractions of Degrees in an Ancient Star Catalogue // *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* 1979. V.20. P.383—394.
- Newton*, 1982. — Newton R.R. *The Origins of Ptolemy's Astronomical Parameters. The Centre for Archaeoastronomy*, Univ. of Maryland. The John Hopkins Univ., Applied Physical Laboratory, 1982.
- Newton*, 1983. — Newton R.R. The Authenticity of Ptolemy's Star Date—II // *Quart. J. Roy. Astron. Soc.* 1983. V.24. P.27—35.
- Nobbe*, 1843—1845. — Claudii Ptolemaei Geographia. Bd.I,II /Hrsg. von C.F.A.Nobbe. Leipzig, 1843, 1845 (Reprint 1898, 1966).
- Nolte*, 1922. — Nolte F. *Die Armillarsphäre // Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin*, Erlangen, 1922. No.2.
- Oppolzer*, 1887. — Oppolzer T.R. von. *Canon der Finsternisse*. Wien, 1887 (Denks. Kaiser. Akad. Wiss., Math.-Natur. Cl., Bd.52).
- PA.* — Ptolemy's *Almagest* /Transl. and Annot. by G.J.Toomer. N.Y.; Berlin; Heidelberg; Tokyo: Springer-Verlag, 1984.
- Pannekoek*, 1955. — Pannekoek A. Ptolemy's Precession // *Vistas in Astronomy*. 1955. V.1. P.60—66.
- P.-K.* — Peters C.H.F., Knobel E.B. *Ptolemy's Catalogue of Stars*. Washington, 1915 (Publ. of the Carnegie Inst. of Washington. V.86).
- Pappus*. — Pappi Alexandrini Collectionis quae supersunt. /Ed. F.Hultsch. 3 vols. Berlin, 1876—1878.
- Parker*, 1950. — Parker R.A. *Calendar of Ancient Egypt*. Chicago: Univ. of Chicago Press. 1950.
- Pedersen*, 1975. — Pedersen O. The Corpus Astronomicum and the Traditions of Mediaeval Latin Astronomy // *Studia Copernicana*. 1975. V.13. P.57—96.
- Petersen*, 1966. — Petersen V.M. A Comment on a Comment by Manitius // *Centaurus*, 1966. V.11, No.4. P.306—309.
- Petersen, Schmidt*, 1967. — Petersen V.M., Schmidt O. The Determination of the Longitude of the Apogee of the Orbit of the Sun according to Hipparchus and Ptolemy // *Centaurus*. 1967. V.12. P.73—96.
- Petersen*, 1969. — Petersen V.M. The Three Lunar Models of Ptolemy // *Centaurus*. 1969. V.14. P.142—71.
- Pines*, 1964. — Pines S. Ibn Al-Haytham's Critique of Ptolemy // *Proc. Tenth Inter. Cong. of Hist. Sci.* Paris: Hermann. 1964. P.547—550.
- Pingree*, 1963. — Pingree D. Astronomy and Astrology in India and Iran // *Isis*. 1963. V.54, Pt.2. No.176, P.229—246.
- Pingree*, 1973. — Pingree D. The Greek Influence on Early Islamic Mathematical Astronomy // *J. Amer. Orien. Soc.* 1973. V.93. P.32—43.
- Pingree*, 1978. — Pingree D. *History of Mathematical Astronomy in India // Dictionary of Scientific Biography*. 1978. V.15. P.533—633.

- Pliny*, 1938. — Pliny. Natural History /Transl. H.Rackham. V.II. London: Loeb Classical Library, 1938.
- Price*, 1957. — Price D.J. Precision Instruments to 1500 //A History of Technology. V.III /Ed. Ch.Singer. Oxford, 1957. P.582—619.
- Ptolemaeus*, 1515. — Almagestum Cl. Ptolemei Pheludiensis Alexandrini, astronomorum principis, opus ingens ac nobile, omnes coelorum motus continens. Venetiis: Petrus Lichtenstein, 1515.
- Ptolemaeus*, 1528. — Almagestum seu magnae constructionis mathematicae opus plane divinum latina donatum lingua ab Georgio Trapezuntio. In urbe Veneta, 1528.
- Ptolemaeus*, 1538. — C.Ptolemaei Magnae Constructionis, id est Perfectae coelestium motuum pertractationis, Libri XIII. Basileae: Joh. Walder, 1538.
- Rawlins*, 1982(1). — Rawlins D. An Investigation of the Ancient Star Catalog //Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 1982. V.94, No.58. P.359—373.
- Rawlins*, 1982(2). — Rawlins D. Eratosthenes' Geodesy Unraveled: Was There a High-accuracy Hellenistic Astronomy? //Isis, 1982. V.73. No.267. P.259—265.
- Rawlins*, 1987. — Rawlins D. Ancient Heliocentrists, Ptolemy and the Equant //Amer. J. Phys. 1987. V.55, No.3. P.235—239.
- Regiomontanus*, 1496. — Epitoma Joannis de Monte regio in Almagestum Ptolemei. Venetiis: Hamman, 1496.
- Rehm*, 1916. — Rehm A. Griechische Windrosen //Sitz. d. Königl. Bayer. Akad. d. Wiss., Philos.-philolog. u. hist. Kl. 1916. Abh.3.
- Riddell*, 1978. — Riddell R.C. The Latitudes of Venus and Mercury in the Almagest //Archive for History of Exact Sciences. 1978. V.19. P.95—111.
- Robbins*, 1948. — Ptolemaeus C. Tetrabiblos /Ed. and transl. by F.E. Robbins. Cambridge (Mass.), London: Harvard Univ. Press, Heinemann, 1948.
- Roberts*, 1957. — Roberts V. The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shâtir, a Precopernican Copernican Model //Isis. 1957. V.48. P.428—432.
- Rome*, 1927(1). — Rome A. L'Astrolabe et le Météoroscope d'après le commentaire de Pappus sur le 5^e livre de l'Almagest //Annales de la Société Scientifique de Bruxelles. 1927. T.47, No.2. Mémoires. P.77—102.
- Rome*, 1927(2). — Rome A. L'instrument paralactique d'après le commentaire de Pappus au 5^e livre de l'Almagest //Annales de la Société Scientifique de Bruxelles. Ser.A. Sciences Mathématiques. 1927. T.47, No.4. P.137.
- Rome*, 1931. — Pappus d'Alexandrie. Commentaire sur les livres 5 et 6 de l'Almageste //Commentaire de Pappus et de Théon d'Alexandrie sur l'Almageste. T.I /Ed. A.Rome, (Biblioteca Apostolica Vaticana, Studi e Testi 54).
- Rome*, 1936. — Théon d'Alexandrie. Commentaire sur les livres 1 et 2 de l'Almageste //Commentaires de Pappus et de Théon d'Alexandrie sur l'Almageste. T.II /Ed. A.Rome. Roma, 1936 (Biblioteca Apostolica Vaticana, Studi e Testi 72).
- Rome*, 1937, 1938. — Rome A. Les observations d'équinoxes et de solstices dans le chapitre 1 du livre 3 du «Commentaire sur l'Almageste» par Théon d'Alexandrie //Annales de la Société Scientifique de Bruxelles. Ser.I. 1937. V.57. P.213—236; 1938. V.58. P.6—26.
- Rome*, 1939. — Rome A. Le probleme de l'équation du temps chez Ptolémée //Annales de la Société Scientifique de Bruxelles. Ser.I. 1939. V.59. P.211—224.
- Rome*, 1943(1). — Théon d'Alexandrie. Commentaire sur les livres 3 et 4 de l'Almageste //Commentaires de Pappus et de Théon d'Alexandrie sur l'Almageste. T.III /Ed. A.Rome. Roma, 1943 (Biblioteca Apostolica Vaticana, Studi e Testi 106).
- Rome*, 1943(2). — Rome A. Les observations d'équinoxes de Ptolémée et le mouvement de l'apogée solaire //Ciel et Terre. 1943. V.59. P.1—15.
- Rome*, 1950. — Rome A. The Calculation of an Eclipse of the Sun according to Theon of Alexandria //Proc. Intern. Congr. Math. Cambridge (Mass.). USA. Aug.30—Sept.6. 1950. V.1. P.209—219.
- SA — Pedersen O. A Survey of the Almagest. Odense Univ. Press., 1974.
- Sachs, Hunger*, 1988, 1989. — Sachs A.J., Hunger H. Astronomical Diaries and Related Texts from Babylonia. V.I—II. Vienna: Verlag der Österreichischen Akad. d. Wiss., 1988, 1989.
- Samuel*, 1972. — Samuel A.E. Greek and Roman Chronology. Calendars and Years in Classical Antiquity. München: Beck, 1972.

- Sawyer*, 1977. — Sawyer F.W. On Ptolemy's Determination of the Apsidal Line for Venus. C. [Goldstein, 1977].
- Schjellerup*, 1881. — Schjellerup C.F.C. Recherches sur l'astronomie des anciens. III. Sur les conjonctions d'étoiles avec la lune rapportées par Ptolémée // Copernicus I. 1881. P.223—236.
- Schlachter*, 1927. — Schlachter A. Der Globus, seine Entstehung und Verwendung in der Antike. Leipzig; Berlin, 1927 (Stoicheia, 8).
- Shevchenko*, 1990. — Shevchenko M. An Analysis of Errors in the Star Catalogues of Ptolemy and Ulugh Beg // JHA. 1990. V.XXI. P.187—201.
- Steinschneider*, 1892. — Steinschneider M. Die arabischen Bearbeiter des Almagest // Bibliotheca mathematica, 1892. Folge 2, Bd 2. S.53—62.
- Steinschneider*, 1960. — Steinschneider M. Die arabischen Übersetzungen aus dem Griechischen. Graz, 1960.
- Stevenson*, 1932. — The Geography of Claudius Ptolemy /Transl. and ed. by E.L.Stevenson; Introduction by J.F.Fischer. N.Y., 1932.
- Swerdlow*, 1969. — Swerdlow N. Hipparchus on the Distance of the Sun // Centaurus. 1969. V.14. P.287—305.
- Swerdlow*, 1979. — Swerdlow N. Ptolemy on Trial // The American Scholar. 1979. V.48. P.523—531.
- Swerdlow*, 1980. — Swerdlow N. Hipparchus' Determination of the Length of the Tropical Year and the Rate of Precession // Archive for History of Exact Sciences. 1980. V.21, No.4. P.291—309.
- Swerdlow*, 1989. — Swerdlow N. Ptolemy's Theory of the Inferior Planets // JHA. 1989. V.28. P.29—60.
- Swerdlow*, 1992. — Swerdlow N.M. The Enigma of Ptolemy's Catalogue of Stars // Ibid. 1992. V.23. P.173—183.
- Taliaferro*, 1952. — Ptolemy C. The Almagest /Transl. by R.C. Taliaferro // Great Books of the Western World. Chicago, 1952. V.16. P.1—478.
- Tannery*, 1893. — Tannery P. Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne. Paris, 1893.
- Thurston*, 1995. — Thurston H. Three Solar Longitudes in the Almagest due to Hipparchus // JHA, 1995, V.26. P.164.
- Tihon*, 1976. — Tihon A. Le calcul de l'éclipse de Soleil du 16 juin 364 p. C. et le «Petit Commentaire» de Théon // Bulletin de l'Institut Belge de Rome. 1976. Fasc.46—47. P.35—79.
- Tihon*, 1978. — Tihon A. Le «Petit Commentaire» de Théon d'Alexandrie aux Tables Faciles de Ptolémée // Biblioteca Apostolica Vaticana, Studi e Testi. V.282. Vatican, 1978.
- Tihon*, 1985(1). — Le Grand Commentaire de Théon d'Alexandrie aux Tables Faciles de Ptolémée: Livre I. /Histoire du Texte, Edition Critique, Traduction par A.Tihon; comment. par A.Tihon // Ibid. V.315. Vatican, 1985.
- Tihon*, 1985(2). — Tihon A. Théon d'Alexandrie et les Tables Faciles de Ptolémée // Archives internationales d'histoire des sciences. 1985. V.35, No.114—115. P.106—123.
- Tihon*, 1991. — Le «Grand commentaire» de Théon d'Alexandrie aux Tables faciles de Ptolémée. Livres II et III. Edition critique, traduction, commentaire par A.Tihon // Biblioteca Apostolica Vaticana, Studi e Testi. V.340. Vatican, 1991.
- Toomer*, 1967. — Toomer G.J. The Size of the Lunar Epicycle According to Hipparchus // Centaurus. 1967. V.12. P.147—150.
- Toomer*, 1972. — Toomer G.J. The Mathematician Zenodorus // Greek, Roman and Byzantine Studies. V.13. 1972. P.177—192.
- Toomer*, 1973. — Toomer G.J. The Chord Table of Hipparchus and the Early History of Greek Trigonometry // Centaurus. 1973. V.18. P.6—28.
- Toomer*, 1974(1). — Toomer G.J. Meton // Dictionary of Scientific Biography. 1974. V.9. P.337—340.
- Toomer*, 1974(2). — Toomer G.J. Hipparchus on the Distance of the Sun and Moon // Archive for History of Exact Sciences. 1974. V.14. P.126—142.
- Toomer*, 1975. — Toomer G.J. Ptolemy // Dictionary of Scientific Biography. 1975. V.11. P.186—206.

- Toomer, 1977(1). — Toomer G.J. Ptolemaic Astronomy in Islam //JHA. 1977. V.8. P.204—210.
- Toomer, 1977(2). — Toomer G.J. Review of Olaf Pedersen. A Survey of the Almagest //Archives Internationales d'Histoire des Sciences. 1977. V.27. P.137—150.
- Toomer, 1978. — Toomer G.J. Hipparchus //Dictionary of Scientific Biography. 1978. V.15. P.207—224.
- Toomer, 1980. — Toomer G.J. Hipparchus' Empirical Basis for His Lunar Mean Motions //Centaurus. 1980. V.24. P.97—109.
- Toomer, 1985. — Toomer G.J. Galen on the Astronomers and Astrologers //Archive for History of Exact Science. 1985. V.32. P.193—206.
- Toomer, 1988. — Toomer G.J. Hipparchus and Babylonian Astronomy //A Scientific Humanist: Studies in Memory of Abraham Sachs /Ed. E.Leichty. Philadelph. 1988. P.353—362.
- Tuckerman, 1962, 1964. — Tuckerman B. Planetary, Lunar and Solar Positions 601 B.C. to A.D. 1649 at Five-day and Ten-day Intervals. Vol.I—II //Mem. Amer. Philos. Soc. Philadelphia, 1962, 1964. V.56, 59.
- Schram, 1908. — Schram R. Kalendariographische und chronologische Tafeln. Leipzig: Hinrichs, 1908.
- Vogt, 1920. — Vogt H. Der Kalendar des Claudius Ptolemäus (Griechische Kalendar, V /Ed. F.Boll) //Sitz. Heidel. Akad. d. Wiss., Phil.-Hist. Kl. 1920. Bd.15.
- Vogt, 1925. — Vogt H. Versuch einer Wiederherstellung von Hipparch's Fixsternverzeichnis //Astronomische Nachrichten, 1925. Bd.224, Col.17—57. S.18—54.
- Waerden, 1953. — Waerden B.L., van der. Bemerkungen zu den Handlichen Tafeln des Ptolemaios /Sitz. der Bayer. Akad. der Wiss. zu München. Math.-Naturw. Kl. 1953. S.261—272.
- Waerden, 1958. — Waerden B.L., van der. Die handlichen Tafeln des Ptolemaios /Osiris. 1958. Bd.13. S.54—78.
- Waerden, 1959. — Waerden B.L., van der. Ptolemaios //Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft. Bd. XXIII, 2. Stuttgart, 1959. Col.1788—1859.
- Waerden, 1974. — Waerden B.L., van der. Science Awakening II. The Birth of Astronomy. Leiden; N.Y.: Noordhoff intern. Publ.; Oxford Univ. Press, 1974 (рус. пер. см. [Ван-дер-Варден, 1991]).
- Waerden, 1979. — Waerden B.L., van der. «Evige Tafeln» //Arithmos-Arrythmos. Festschrift für Joachim Fleckenstein /Ed. K.Figala & E.H.Berningen. München, 1979. P.285—293.
- Waerden, 1984(1). — Waerden B.L., van der. Greek Astronomical Calendar II. Callippos and His Calendar //Archive for the History of Exact Science. 1984. V.29, No.2. P.115—124.
- Waerden, 1984(2). — Waerden B.L., van der. Greek Astronomical Calendar III. The Calendar of Dionysios //Ibid. 1984. V.29, No.2. P.125—130.
- Waerden, 1988(1). — Waerden B.L., van der. Reconstruction of a Greek Table of Chords //Ibid. 1988. V.38, No.3. P.23—38.
- Waerden, 1988(2). — Waerden B.L., van der. Die Astronomie der Griechen: Eine Einführung. Darmstadt: Wiss. Buchges., 1988.
- Wilson, 1972. — Wilson C. The Inner Planets and the Keplerian Revolution //Centaurus. 1972. V.17. P.205—248.
- Wilson, 1984. — Wilson C. The Sources of Ptolemy's Parameters //JHA. 1984. V.15. P.37—47.
- Włodarczyk, 1987. — Włodarczyk J. Observing with the Armillary Astrolabe //Ibid. 1987. V.18. P.173—195.
- Włodarczyk, 1990. — Włodarczyk J. Notes on the Compilation of Ptolemy's Catalogue of Stars //Ibid. 1990. V.21. P.283—295.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СИМВОЛОВ

Сферическая астрономия

- Υ — точка весеннего равноденствия
 Ω — точка осеннего равноденствия
 ε — угол наклона эклиптики к экватору
 α — прямое восхождение
 δ — склонение
 λ — 1) эклиптическая долгота; 2) географическая долгота
 β — эклиптическая широта
 φ — географическая широта
 h — высота
 z — зенитное расстояние
 η — амплитуда восхода
 ν — угол между эклиптикой и горизонтом
 γ — угол между эклиптикой и кругом высоты
 d — продолжительность дня
 m — минимальная продолжительность дня на данной широте
 M — 1) максимальная продолжительность дня на данной широте; 2) кульминирующая точка эклиптики
 H — восходящая точка эклиптики
 $\bar{M}$ — точка эклиптики, находящаяся в нижней кульминации
 $\rho(\lambda)$ — время восхода дуги эклиптики от точки весеннего равноденствия Υ до точки с долготой λ
 $\bar{t}$ — среднее солнечное время
 t — истинное солнечное время
 $E = (t - \bar{t})$ — уравнение времени
 d — дни
 h — равноденственные часы
 m — 1) минуты; 2) месяцы
 y — годы
 crd — хорда
 P — «часть», $1/60$ радиуса или $1/120$ диаметра
 $^\circ/d$ — градусы за день

Теории движения Солнца, Луны и планет

- R — радиус эксцента или деферента
 e — эксцентриситет
 r — радиус эпицикла
 ρ — геоцентрическое расстояние до светила или до центра эпицикла
 i — наклон плоскости орбиты Луны или планеты к плоскости эклиптики

- Ω — восходящий узел орбиты
 ϖ — нисходящий узел орбиты
 λ, λ — геоцентрическая долгота
 β — геоцентрическая широта
 $\bar{\eta}, \eta$ — средняя и истинная элонгации от Солнца
 $\eta_{\max}$ — максимальная элонгация внутренней планеты
 $\bar{\alpha}, \alpha$ — средняя и истинная эпициклическая аномалии
 $\bar{\kappa}, \kappa$ — средняя и истинная эксцентрическая аномалии
 κ_0 — расстояние центра эпицикла планеты по долготе от апогея
 $\bar{\omega}', \omega'$ — средний и истинный аргументы широты, отсчитываемые от наиболее северной точки N орбиты
 $\omega_\lambda, \omega_\alpha, \omega_\eta, \omega_\beta$ — средние скорости движения по долготе, аномалии, элонгации и широте
 v_ζ — истинная часовая скорость движения Луны по долготе
 $\rightarrow$ — знак, указывающий на то, что значение долготы (аномалии, аргумента широты) уменьшено на величину $360^\circ \times n$, соответствующую целым оборотам
 J_1, J_2, J_3, J_4 — продолжительность астрономических сезонов (весны, лета, осени, зимы)
 $c = (\lambda - \bar{\lambda})$ — 1) эксцентрическое уравнение, или неравенство в теории Солнца; 2) эпициклическое уравнение в теории Луны; 3) отношение видимой скорости движения планеты по эпициклу к видимой скорости движения центра эпицикла по деференту
 $c_{\max}$ — максимальное уравнение
 θ — эпициклическое уравнение в теории планет
 η — эксцентрическое уравнение (уравнение центра) в теории планет
 h — дуга видимости (*arcus visionis*)

Параллакс и затмения

- p — общий параллакс по высоте
 p_S — параллакс в сизигиях
 p_Q — параллакс в квадратурах
 p_λ — параллакс по долготе
 p_β — параллакс по широте
 t_0 — момент средней оппозиции Солнца и Луны
 t_0 — 1) момент истинной оппозиции; 2) начальная эпоха таблиц Птолемея
 r_e — радиус Земли
 $r_\odot, r_\zeta, (d_\odot, d_\zeta)$ — видимые полудиаметры (диаметры) Солнца и Луны
 s, u — видимые полудиаметры тени
 τ_1 — момент начальной фазы затмения
 τ_0 — момент средней фазы
 τ_2 — момент окончания затмения
 $\Delta\tau = (\tau_2 - \tau_1)$ — продолжительность затмения
 m — величина фазы затмения
 μ — величина максимального погружения в тень

Планетные символы

$\odot$ Солнце	♀ Венера	♄ Сатурн
☾ Луна	☿ Меркурий	♃ Юпитер
		♂ Марс

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абукир, город 430
 Авалитский залив, параллель через него 40, 52, 484
 Август, римский император, его эра 99, 505
 Аврелий Марк, римский император 430
 Автолик из Питаны 433, 474
 Агриппа, наблюдение покрытия Плеяд Луною 220, 434
 Аденский залив 484
 Адриан, римский император 99, 100, 123, 126, 128, 157, 303, 306, 307, 308, 316–318, 326, 340, 352, 360, 430
 Адула, город 484
 Адулийский залив, параллель через него 41, 484
 Александр Македонский, его эра 80, 81, 91, 99, 142, 144, 336, 505
 Александрия, библиотека в ней 432
 —, длина сезонного часа 181, 182
 —, Квадратная Стоя 76
 —, меридиан начальный через нее 118, 140
 —, наблюдения в ней неизвестных 77, 133, 134, 181, 182, 497
 —, — Птолемея 118, 123, 128, 139, 156, 215, 430, 481
 —, — Теона 128, 434
 —, — Тимохариса 220–222, 434, 544
 —, палестра 77
 —, расстояние по долготе от Вавилона 118, 181, 517
 —, — до Рима 574
 —, широта географическая 156, 157, 538, 539
 —, экваториальные кольца в ней 76–78
 Альдебаран 213, 219, 221, 303, 306, 308, 348, 360, 597, 601, 611, 613
 Альма (Halma N.) 439, 449, 450
 «Альмагест» 430–448
 —, переводы средневековые 445–448
 —, печатные издания 447–449
 —, подразделение на книги и на главы 435
 —, происхождение названия 435
 —, средневековые греческие и арабские рукописи 446, 447
 —, структура и порядок изложения материала 7, 437, 438
 Альциона 217, 219, 303, 308, 319, 348, 578
 Амплитуда восхода 35, 480, 481, 563, 564
 Анаксагор 464
 Анаксимандр 465
 Антарес 246
 —, использование в качестве опорной звезды 219, 303, 318
 Антиной 235, 578
 Антиподы 556
 Антонин, римский император 139, 215, 254, 269, 303, 307, 308, 311, 316, 319, 320, 322, 326, 335, 340, 342, 360, 430, 439
 Антонин, первый год его правления (эпоха звездного каталога Птолемея) 216, 224, 263, 570, 575
 Аполлон (миф.) 577
 Аполлоний Пергский 433, 435, 478
 —, лемма для точек стояния 373
 —, предварительная лемма 375
 —, эквивалентность эксцентрической и эпиклической моделей 433, 500, 620, 621
 Апсевд, афинский архонт 81, 461
 Арат 581
 —, «Явления» 582
 Ариабхата I 478
 Аристарх Самосский 433, 453, 467
 —, гелиоцентрическая система 433
 —, наблюдение солнцестояния 80, 81, 495, 498
 Аристилл 434
 —, наблюдения неподвижных звезд (использованные Гиппархом) 210
 —, — склонений звезд 218, 219, 571
 Аристоксен 444
 Аристотель 5, 432, 464–467, 479, 483, 500, 588, 631
 —, подразделения теоретической философии 5, 6
 —, «Метафизика» 432, 464, 465
 —, «О небе» 465, 466, 467
 Арктур 211, 213, 214, 218, 219, 228,
 Архимед 76, 195, 443, 453, 454, 478
 —, инструмент для измерения видимого диаметра Солнца 539
 —, наблюдения солнцестояний, упоминаемые Гиппархом 76, 495
 —, «Об измерении круга» 559
 —, порядок планет 587
 —, пределы для π 195, 559
 Аспекты астрологические 270, 585
 Астабора, река 484
 Астопус, река 484
 Астрология 442, 443, 585
 —, основные направления в эпоху эллинизма 442
 Астролябия (Армиллярная сфера) 135, 136, 215, 223, 445, 466, 527, 565, 567, 575, 578, 593, 597
 —, использование Гиппархом 142, 527, 532
 —, конструкция 135, 136, 528, 588
 —, методика наблюдений 136, 215, 223, 528, 567, 568–570
 Астролябия, средневековый угломерный инструмент 442
 Астрономия античная 432–435, 588
 —, зависимость от вавилонской астрономии 434, 435, 491
 —, роль в ней наблюдений 434
 —, связь с развитием математики 434
 —, связь с философской традицией 432

- Астрономия вавилонская 491, 495, 509, 510, 531, 553
 —, методы арифметические 435
 —, наблюдения 434, 540, 565, 588, 595, 640
 —, период лунных затмений 553
 —, планетные периоды 434, 510, 588, 589, 604
 — средневековая в странах ислама 446, 447, 491, 493, 494, 502, 591
 — индийская 462, 523, 588
 Атбара, река 484
 Афины, наблюдения в них 81, 132, 133, 434, 495, 498 434, 495, 498
- Байер (Bayer J.) 567
 ал-Баттани 447
 Белый Ю.А. 451, 454
 Бёк (Boeckh A.) 462, 594, 608
 Бикерман (Bickerman E.J.) 457
 Бируни 447, 510
 —, «Канон Мас'уда» 498
 —, перевод «Альмагеста» на санскрит 447
 Болль (Boill F.) 430, 464, 576
 Борисфен (совр. Днепр), параллель через его устье 42, 47, 54, 67, 74, 183, 484, 493
 Бригантий, город, параллель через него 3, 485
 Британия Великая 43, 485
 Британия Малая 43, 44, 485
 Бриттон (Britton J.P.) 495, 498, 574, 575, 602, 607, 611, 613
 Бронштэн В.А. 4, 449, 451
- Вавилон, широта географическая 640
 —, место наблюдений, согласно Птолемею 118, 119, 129, 128, 132, 161
 —, расстояние по долготе от Александрии 118, 128, 129
 Ван-дер-Варден (Van der Waerden B.L.) 452, 453, 462, 478
 Венера, величина ее эписцикла 317, 318
 —, видимый диаметр 600
 —, дуга видимости 424
 —, дуги попятного движения 384–386, 625
 —, кинематическая схема для описания движения по долготе 299, 300, 591, 592
 —, максимальная элонгация 316, 317, 393–397, 593, 600, 601, 628, 629
 —, наблюдения
 —271, октябрь, 12 (Тимохарис) 321, 322, 602, 619, 639
 —271, октябрь, 16 (Тимохарис) 322, 603
 127, октябрь, 12 (Теон) 316, 317, 600
 129, май, 20 (Теон) 317, 600
 132, март, 8 (Теон) 316, 599
 134, февраль, 18 (Птолемей) 318, 319, 601
 136, ноябрь, 18 (Птолемей) 317, 318, 601
 136, декабрь, 25 (Птолемей) 317, 600,
 138, декабрь, 16 (Птолемей) 320, 602
 140, февраль, 18 (Птолемей) 319, 601
 140, июль, 30 (Птолемей) 316, 600
 —, наклонение орбиты 400–402
 —, нарушения в последовательности конфигураций 425, 426, 641
 —, периоды и средние движения 281, 282, 320–323, 589, 601, 603
 —, прохождения по диску Солнца 277, 587
 —, теория движения по широте 398, 399, 630, 631, 632
 —, эксцентриситет и долгота апогея 316–320, 600
- Венера, эпоха периодических движений 323
 Веселовский И.Н. 3, 4, 450–454, 463, 531, 539, 605, 630
 Ветры 205, 563
 «Вечные таблицы» 279, 499
 Видимость первая и последняя звезд 269–272, 441, 485, 486, 585, 586
 — планет 428, 441, 640
 Византия 439, 447, 451
 Виллем из Мербеке, перевод «Аналеммы» на латинский язык 441
 «Виноградарь» (Виндемиатрикс) 243, 602
 Витрувий 441, 473, 538, 587
 Вифиния, область в Малой Азии, календарь в ней 462
 —, наблюдения в ней 220, 434
 Влодарчик (Włodarczyk J.) 528
 Волосы Вероники, созвездие 243, 579
 Восход вечерний последний видимый (акронический) 272, 441, 585
 — утренний первый видимый (гелиакический) 271, 441, 585, 586, 640
 Времена восхода в наклонной сфере 45–51, 52–55, 485, 486
 — в прямой сфере 31–33, 479
 Время истинное 100–102
 — среднее 100–102
 —, определение промежутка среднего времени по истинному 102, 508, 519, 520
 «Выделение» 20, 28, 374, 376, 470, 620
- Гамильтон (Hamilton N.T.) 521
 Гейберг (Heiberg J.L.) 3, 449, 450, 463, 469, 480, 483–485, 499, 504, 527, 539, 574, 575, 599, 605, 607, 610–614, 623, 625
 Гекатей Милетский 479
 Гелиотроп 498
 Геллеспонт (совр. Дарданеллы), пролив, параллель через него 42, 484, 537
 Гемин 462, 510
 Геометрия начертательная 441, 442
 Георгий Трапезундский, перевод «Альмагеста» на латинский язык 448, 449
 Гераклд Понтийский 467
 Гераклит 465
 Герардо Кремонский, перевод «Альмагеста» на латинский язык 447, 612
 Герман из Каринтии, перевод «Планисферия» на латинский язык 442
 Гермес (миф.) 577
 Гермисва Птолемида (Гермейон), город 41, 431, 484
 Герон Александрийский 441, 443, 453
 —, диоптр (инструмент) 532
 —, «Диоптра» 441
 Гесиод 479, 582
 Гиады, астеризм 239
 Гингерич (Gingerich O.) 596
 Гипатия 445
 Гипотеза, термин 499
 — эксцентрическая 85–90, 500, 590
 — эписцилическая 85–90, 500, 590
 Гиппарх 27, 75, 76, 78–81, 93, 105, 107, 109, 129, 131–135, 137, 140, 142, 160, 162, 171, 200, 201, 210, 211, 213–219, 278, 280, 305, 433–435, 440, 441, 455–457, 467, 472–474, 480, 483, 494–497, 504, 509, 510, 519–522, 526, 527, 531, 539, 550, 565–567, 575, 588, 589

- Гиппарх, вычисления параллакса 140, 142, 144, 171, 433, 532, 546
- , геометрический метод для нахождения расстояний до Солнца и Луны 154, 162, 163, 433, 537, 538, 540, 541
 - , глобус небесный 214, 434, 567
 - , его роль в истории астрономии 433, 434
 - , тригонометрии 467, 468
 - , зависимость от вавилонской астрономии 105, 510, 588
 - , звездные уравнивания 211, 212, 565
 - , измерения эклиптических координат звезд 216, 217, 570, 572
 - , интервал между наблюдениями Гиппарха и Птолемея, 265-летний 219, 576
 - , использование армиллярной сферы 142, 434, 527, 532
 - , величины Эратосфена для дуги между солнцестояниями 27, 472
 - , 248-суточного периода лунной аномалии 140, 530, 531
 - , египетских месяцев 77, 78, 129, 132-134, 140, 142, 144, 455, 461
 - , циклов Калиппа 77, 78, 80, 133, 134, 140, 200, 216, 461
 - , эры Пабонассара 524
 - , эры Александра 80, 142, 144
 - , исследование периодов затмений 105, 106, 434, 510
 - , каталог неподвижных звезд 433, 434, 565, 570, 576
 - , «любитель истины» 75, 79, 278, 279
 - , максимальная продолжительность дня на Родосе 481
 - , метод определения среднего движения Луны по широте 127, 521
 - , наблюдения Луны вне сизигий 142, 144
 - , лунных затмений, см. Затмения лунные
 - , на Родосе 140, 142, 144
 - , планет 278, 279, 618
 - , равноденствий, см. Равноденствия весенние и осенние
 - , Регула 216, 570
 - , склонений звезд 217-219, 571, 572
 - , солнцестояний 81
 - , Сикки во время лунных затмений 78, 79, 215, 567
 - , невозможность объяснить движения планет при помощи гипотез простого эксцентра или эпицикла 279, 588
 - , определение видимого диаметра Луны и размеров тени 127, 521, 539
 - , видимых диаметров светил 4-локтевым дионтром 160, 539
 - , диаметров и объемов небесных тел 440, 541
 - , интервалов лунных и солнечных затмений 553
 - , лунной аномалии по трем затмениям 109, 513, 514, 519
 - , определение наклона орбиты Луны 127, 521
 - , продолжительности астрономических сезонов 91, 502
 - , сидерического года 75
 - , тропического года 75-81, 498
 - , радиуса эпицикла и эксцентриситета лунной орбиты 131, 468, 523, 524
 - , средних движений Луны 105-107, 127, 200-201, 521
 - , эксцентриситета и долготы апогея орбиты Солнца 91, 502
- Гиппарх, открытие прецессии 73, 210, 433, 494
- , ошибки, приписываемые ему Птолемею 107, 127, 131-134, 171, 200, 201, 524, 546
 - , планетные периоды 280, 281, 588
 - , процедура для нахождения параллакса 154, 537, 538
 - , ранняя гипотеза для объяснения прецессии 210, 565
 - , расхождения с Птолемею при описании созвездий 224, 575
 - , собрание планетных наблюдений 279, 305
 - , сомнения в постоянстве тропического года 76, 78
 - , сочинение «Комментарии к Арату» 565, 570, 571, 582
 - , «О вставных месяцах и днях» 81
 - , «О неподвижных звездах» (?) 565
 - , «О параллаксах» 171
 - , «О продолжительности года» 81, 216, 217
 - , «О размерах и расстояниях» 542, 537
 - , «О смещении солнцеворотных и равноденственных точек» 76, 215, 217, 565
 - , список его работ 277, 498
 - , таблица хорд 468
 - , цикл календарный 304-летний 498
- Гипсикл 433, 474
- Глобус небесный 223
- , конструкция 268, 584, 585
 - , расположение фигур созвездий на нем 214, 223, 268, 269, 567, 576
- Гномон 11, 38, 39, 465, 473
- , отношение длины тени к длине гномона как показатель географической широты 38-45, 482, 483, 538
- Год аномалистический 502, 513
- сидерический 75, 495
 - тропический 75, 76, 495, 502, 513
 - , его продолжительность, согласно Гиппарху 78-81
 - , согласно Птолемею 78-82, 498
 - , неизменность 76
 - , значение в эпоху Птолемея 495
 - , основа теории Солнца у Птолемея 76, 495
- Голдштейн (Goldstein B.R.) 474
- Гомер 479
- Гомоцентр 499
- Гомоцентрическая теория движения планет 432, 433, 454
- Гороскоп (асцендент) 56, 488
- Градусы времени 32, 478
- половинные 482, 483
- Грасхоф (Grasshoff G.) 576, 577, 578, 580-583
- Гюйгенс 454
- Дамбис А.К. 576, 577
- Дарий I, ахеменидский царь 128, 129, 522
- Два вида первых движений 14, 15, 467
- Движение круговое равномерное, его роль при моделировании движений светил 82, 85
- Деламбр (Delambre J.B.J.) 450, 576
- Деление круга на 360° 16, 468
- День, вычисление продолжительности 56
- самый длинный 35, 481, 483
 - , характеристика географической широты 39-45
- Дефрепт 499

- Дидим 444
 Дионис, его культ 583
 Дионисий, 594, см. также Календарь Дионисия
 Дионтр Герона 532
 — Гиппарха 160, 539
 Диофант 453
 «Дневники астрономические» 504, 588
 Домициан, римский император 220
 «Древние математики» 75, 104, 509
 Дрейер (Dreyer J.L.E.) 450
 Дроби простые в «Альмагесте» 468, 469, 576
 — ценные 473
 — шестидесятиричные 16, 469
 Дуга видимости (arcus visionis) 274–276, 586, 587, 640–642
 Дюэм (Duhem P.) 450
- Евдокс 432, 435, 441, 454, 479, 483
 —, глобус небесный 434
 —, гомоцентрическая теория движения планет 432, 433, 454
 Евклид 433, 435–437, 443, 473, 474, 500
 —, «Начала» 453, 469, 474
 —, «О заданных величинах» 504
 Евктемон 434, 498
 —, наблюдение солнцестояния в –431 г. совместно с Метонем 80, 81, 495, 498
 Ефремов Ю.Н. 577
- Житомирский С.В. 471, 472, 495, 539
 Жнец, звезда 322, 602
- Завенягин Ю.А. 457, 608
 Закс (Sachs A.) 540
 Закон преломления 444
 аз-Заркали 502
- Затмения, измерение величины фазы в «пальцах» линейных и «пальцах» площади 194, 195, 517, 522, 557
 —, использование для доказательства сферичности Земли 9
 —, таблицы для предвычисления параметров 197–199, 557, 558
- Затмения лунные, аргумент в пользу центрального положения Земли 11, 466
 —, вычисление по таблицам Птолемея 199, 200, 560
 —, интервал между ними пятимесячный 185, 186, 553, 554
 —, — семимесячный 186, 555
 —, — шестимесячный 185, 554, 555
 —, использование для определения истинной долготы Луны 78, 103, 104, 509–511
- Затмения лунные, наблюдения
 —720, март, 19 (авилонское) 118, 504, 514–517
 —719, март, 8/9 (авилонское) 118, 126, 127, 129, 200, 517, 520–523, 561
 —719, сентябрь, 1 (авилонское) 119, 515, 518
 —620, апрель, 21/22 (авилонское) 161, 539
 —522, июль, 16 (авилонское) 161, 540
 —501, ноябрь, 19 (авилонское) 129, 523
 —490, апрель, 25 (авилонское) 128, 522
 —382, декабрь, 23 (авилонское) 132, 524
 —381, июнь, 18 (авилонское) 132, 527
 —381, декабрь, 12 (авилонское) 133, 527
 —200, сентябрь, 22 (Александрия) 133, 527
 —199, март 19 (Александрия) 134, 527
- Затмения лунные, наблюдения
 —199, сентябрь, 11/12 (Александрия) 134, 527
 —173, май, 1 (Александрия) 181, 182, 550
 —145, апрель, 21 (Гиппарх) 78, 497
 —140, январь, 27 (Гиппарх) 182, 200, 550, 561
 —134, март, 21 (Гиппарх) 78, 497
 —125, апрель, 5 (Теон?) 128, 522
 —133, май, 6 (Птолемей) 123, 520
 —134, октябрь, 20 (Птолемей) 123, 126, 520
 —136, март, 6 (Птолемей) 123, 520
 —, наблюдения одновременные для определения разности географических долгот 38
 —, построение таблиц затмений 191–194
 —, предвычисление величины фазы и продолжительности 191–194, 199–200, 515, 557–560
 —, пределы затмений по аргументу широты 179, 181–184, 551–553
 —, роль в теории движения Луны по долготе 103, 104, 509, 514
 —, углы наклонов 204–209, 562–564
- Затмения солнечные, влияние параллакса на них 103, 154, 201, 509, 551, 552
 —, интервал между ними месячный 188–190, 553, 556, 557
 —, — пятимесячный 186, 187, 554, 555
 —, — семимесячный 187, 188, 553, 554
 —, — шестимесячный 185
 —, кольцеобразные 539, 541
 —, предвычисление величины фазы и продолжительности 202, 203, 561, 562
 —, пределы затмений по аргументу широты 179, 181–184, 551, 552
 —, углы наклонов 204–209, 562–564
- Заход вечерний последний видимый (гелиакический) 272, 585, 640
 — утренний первый видимый (космический) 271, 272, 441, 585
- Звезды неподвижные, восход акронический 272, 585
 —, восход гелиакический 271, 274–276, 585, 586
 —, заход гелиакический 272, 274–276, 585
 —, — космический 271, 272, 585
 —, измерение долготы и широты при помощи астралабии 136, 215, 223, 567–570
 —, неизменность относительных положений 210–214
 —, одновременная кульминация с Солнцем 273, 585
 —, одновременный восход с Солнцем 273, 274, 585
 —, — заход с Солнцем 273, 274
- Звезды неподвижные, определение склонений Аристиллом, Тимохарисом, Гиппархом и Птолемеем 217–219, 571
 —, отсутствие у них параллакса 11, 466
 —, подразделение на 6 величин 224, 575
 —, покрытия Луной 219–222
 —, уравнивательные наблюдения Гиппарха и Птолемея 211–214, 566, 567
 —, — вавилонских астрономов 567
- Зейла, город 484
- Земля, ее неподвижность 12, 13, 437, 464
 —, осевое вращение, отрицаемое Птолемеем, но предполагаемое другими 13, 467
 —, отсутствие поступательного движения 12, 13, 467

- Земля, пренебрежимость размеров по сравнению с размерами неба 7, 11, 12, 437, 464
 —, сферичность 7, 9, 10, 437, 464, 465
 —, центральное положение во Вселенной 7, 10, 11, 437, 464, 465, 466
 Зенодор 465
 —, «Об изопериметрических фигурах» 465
 Зиджи 447, 491
 Знаки зодиака 465
 —, их последовательность 45
 Зодиак 487, *см.* также Эклиптика
- Ибн Аби Мансур 447
 Ибн Ирак 474
 Ибн аш-Шатир 531
 Иделер (Ideler L.) 527, 530
 Идельсон Н.И. 451
 Инклинация 399, 631
 Инструмент параллактический 155, 156, 538
 Инструменты астрономические, *см.* Астролябия, Диоптр. Инструмент параллактический, Квадрант, Кольцо равноденственное, Круг меридианный
 Истр (совр. Дунай), река, параллель через него 42, 484
 Исхак ибн Хунайн, перевод «Альмагеста» на арабский язык 446, 447, 450
- Календарь александрийский 441
 — афинский 460, 498
 — вавилонский (халдейский) 462, 595
 — вифинский 462
 — Дионисия 462, 594, 608
 — египетский 455, 498
 — Калиппа 460, 461, *см.* также Калипп, Циклы Калиппа
 — Метона 461, 524
 — селевкидский 462
 — юлианский 462
 Калипп 432, 457
 —, его календарные циклы 77, 80, 81, 133, 134, 140, 182, 200, 216, 220, 221, 222, 460, 461
 —, начало года в цикле 527
 —, парапегма 462
 —, продолжительность года 461
 Камбиз, ахеменидский царь 129, 161, 523
 Канарские острова 432, 480
 Канои, город 430, 439
 Канопис 258
 Каталог звездный в «Альмагесте» 224–263
 —, его издания 450, 576
 —, звездные величины 224, 263, 575, 576
 —, количество звезд 263, 583
 —, координаты эклиптические 223, 224, 567, 568
 —, метод определения координат 216, 223, 224, 570
 —, проблема происхождения 572, 576
 —, систематическая погрешность в долготе 568
 —, структура 575, 576
 —, эпоха 216, 224, 269, 570, 575–577
 Катоптрика 444
 Катурактоий (совр. Каттерик), город, параллель через него 43, 485
 Квадрант 26, 27, 472
 Кирена, город 579
 Китай 480
- Клешни, созвездие 245, 487, 580, 595, 600, 630
 Климаты 441
 —, система из 7 климатов 67–74, 205, 483, 493, 494, 642
 —, — из 39 параллелей 39–45, 483
 Козлята, астеризм 232
 Колос (Спики) 244
 —, использование в качестве опорной звезды 320, 335
 —, наблюдения Гиппарха 78, 79, 215, 497, 567
 —, — покрытий 219, 222, 544, 574
 —, расстояние относительно точки весеннего равноденствия 78, 215
 Кольцо равноденственное (экваториальное) 76–78, 495, 497
 Колур равноденствий 40, 135, 483
 — солнцестояний 15, 467, 471, 483
 «Композиция» 20, 374, 376, 470, 620
 Конфигурации звездные и планетные 269–272, 428, 441, 585, 586, 641–643
 Коперник 448, 450, 454, 510, 531, 591
 —, «О вращениях» 430, 450
 Круг меридианный 26, 471
 — наклонный 14, 15, 464
 — полуденный 15, 464
 — равноденственный 14, 465, 467
 — через середины зодиакальных созвездий 14, 465
 Ксенофан 465
 Куглер (Kugler F.X.) 510
 Кульминация 467, 491
 Куницш (Kunitzsch P.) 446, 576, 580–584
 Кушьяр ибн Лаббан 447
- Лаланд 576
 Лаплас 576
 Линия полуденная (меридианная) 26, 467, 472
 Логистика 435, 436, 437
 Локоть, единица длины 538
 —, угловая астрономическая единица 212, 565, 595
 Луна, аномалия средняя и истинная 532
 —, апогей средний и истинный 141, 142, 532, 533
 —, аргумент широты средний и истинный 522
 —, видимый диаметр, согласно Гиппарху 127, 521, 539
 —, —, — Птолемею 160–162, 181–182, 539, 540, 600
 —, вычисление истинных положений геометрически 146, 147, 533
 —, — по таблицам 147–151, 533, 534
 —, два неравенства в ее движении 109, 513
 —, изменение геоцентрического расстояния 157–160, 531, 542
 —, использование таблицы лунного неравенства при вычислении положений планет по широте 419, 637
 —, исправление Птолемею средних движений Гиппарха 126–129, 521–523
 —, кинематическая модель первая простая 117–126, 513, 514
 —, — вторая, учитывающая эвекцию 137–139, 528, 529
 —, — третья, учитывающая движение в октантах 141–146, 531, 532
 —, максимальная погрешность в долготе, если пренебречь наклоном орбиты 192, 514, 558

- Луна, максимальное уравнение и долгота апогея 109, 117–126, 131–134, 139–141, 519, 520, 529, 530
- , наблюдения
 - 127, август, 5 (Гиппарх) 140, 530
 - 126, май, 2 (Гиппарх) 142, 532
 - 126, июль 7 (Гиппарх) 144, 532, 533
 - 126, или 145 (Птолемей) 156, 157
 - 135, октябрь, 1 (Птолемей) 157, 538, 539
 - 139, февраль, 9 (Птолемей) 139, 530
 - 139, февраль, 23 (Птолемей) 215, 568
 - , наблюдения покрытий звезд 220–222
 - 294, декабрь, 21 (Тимохарис) 222, 575
 - 293, март, 9 (Тимохарис) 220, 221, 544, 574
 - 282, январь, 29 (Тимохарис) 219, 220, 573, 574
 - 282, ноябрь, 9 (Тимохарис) 221, 574
 - 92, ноябрь, 29 (Агриппа) 220, 573
 - 98, январь, 11 (Менелай) 221, 574
 - 98, январь, 14 (Менелай) 222, 575
 - , планет
 - 138, декабрь, 16 (Птолемей) 320, 602
 - 138, декабрь, 22 (Птолемей) 360, 613
 - 139, май, 17 (Птолемей) 311, 598
 - 139, май, 30 (Птолемей) 335, 607
 - 139, июль, 11 (Птолемей) 348, 611, 617, 639
 - , наклонение орбиты 156
 - , неравенство первое, простое 131
 - , второе (эвекция) 135, 437, 513, 527, 528
 - , полное, таблицы для его вычисления 147–151, 533, 534
 - , периоды лунные, исправленные Птолемеем 106–108, 126–129, 510–512
 - , размер и объем 163, 164
 - , расстояние среднее в сизигиях 162, 163, 541
 - , скорость движения истинная часовая в окрестности сизигий 181, 549
 - , средние движения 108, 109, 512, 513
 - , в начальную эпоху 127, 521
 - , эквивалентность эксцентрической и эпициклической моделей при описании ее движения 109, 116–117, 513
 - , эксцентриситет орбиты 141, 531
 - , эпицикл, его наклонение 141–146, 531
 - «Луна», единица измерения угловая 304, 313, 316, 317, 598
- ал-Маджрити Маслама, версия «Планисферы» на арабском 441
- «Малая астрономия» 435
- ал-Мамун, халиф 446, 502, 513
- Манилий, «Астрономика» 575, 585
- Маниций (Manitius K.) 3, 4, 449, 527, 531, 566, 575–580, 582–584, 599–601, 605, 606, 608, 610, 611, 622
- Марин Тирский 443, 480, 483, 485
- Мардохемпад, вавилонский царь 118, 119, 126, 127, 129, 200, 459, 514
- Марс, величина эпицикла 335, 336, 608
- , дуга видимости 424
 - , дуги попятного движения 382–384
 - , кинематическая схема для описания движения по долготе 324
 - , наблюдения
 - 271, январь, 18 (Дионисий?) 336, 337
 - 130, декабрь, 15 (Птолемей) 326, 608
- Марс, наблюдения
- 135, февраль, 21 (Птолемей) 326, 605, 139, май, 27 (Птолемей) 326, 607
 - 139, май, 30 (Птолемей) 335, 607
- Марс, наклонение орбиты 403, 404, 633
- , периоды и средние движения 280–282, 336–338, 589, 609, 620
 - , северный предел эксцентра 398, 630
 - , теория движения по широте 398, 400, 401, 630–633
 - , эксцентриситет и положение апогея 325–335, 604–607
 - , эпоха периодических движений 339
- Массалия (совр. Марсель), параллель через него 42, 484
- Мазяма (Маеуама Y.) 571, 572
- Менелай 433–435, 437, 474
- , наблюдения покрытий звезд Луной 221, 222, 575
 - , «Сферика» 433, 474
 - , теорема о полном четырехстороннике 437, 474
- Меотидское озеро (совр. Азовское море), параллель через него 42, 484
- Меридиан 14, 26, 467
- Меркурий, двухперпегная орбита 306, 307, 596, 597
- , дуга видимости 424
 - , дуга попятного движения 386–388, 625, 626
 - , кинематическая схема для описания движения по долготе 300, 591, 592
 - , максимальная элонгация 393–397, 629
 - , наблюдения
 - 264, ноябрь, 15 (Дионисий?) 313, 598, 599
 - 264, ноябрь, 19 (Дионисий?) 313, 598
 - 261, февраль, 12 (Дионисий?) 304, 594
 - 261, апрель, 25 (Дионисий?) 304, 594
- Меркурий, наблюдения
- 261, август, 23 (Дионисий?) 305, 588, 595, 618
 - 256, май, 28 (Дионисий?) 304, 594
 - 244, ноябрь, 19 (вавилонское) 305, 596
 - 236, октябрь, 30 (вавилонское) 305, 595
 - 130, июль, 4 (Теон) 308, 597
 - 132, февраль, 2 (Птолемей) 303, 307, 593
 - 134, июнь, 4 (Птолемей) 303, 307, 594
 - 134, октябрь, 3 (Птолемей) 306, 596
 - 135, апрель, 5 (Птолемей) 306, 596
 - 138, июнь, 4 (Птолемей) 303, 307, 594
 - 139, май, 17 (Птолемей) 311, 598
 - 139, июль, 5 (Птолемей) 308, 597
 - 141, февраль, 2 (Птолемей) 303, 307, 594
- , анализ их точности 539
 - , название Стильон 304, 313, 594
 - , наклонение орбиты 399–402
 - , нарушения последовательности конфигураций 395, 425–427, 641
 - , отсутствие параллакса 277, 587
 - , периоды и средние движения 281, 282, 311–315, 589, 599
 - , прецессионное движение апогея и его сидерическая фиксированность 299, 300, 305, 596
 - , прохождение по диску Солнца 277, 587
 - , расчет наименьшего расстояния 309–311, 365, 636
 - , теория движения по широте 402, 403, 630–633
 - , таблица расстояний до центра эпицикла, не включенная в «Альмагест» 635

- Меркурий, эксцентриситет и долгота апогея 302–305, 595, 596
 Меродах Валадан 514
 Меро́з, город и царство 41, 52, 67, 181, 484, 493
 —, параллель через него 41
 Месяц аномалистический 509
 — драконический 509
 — сидерический 509
 — синодический 509
 —, его продолжительность 554
 Месяцы, названия в афинском календаре 460, 524
 —, в календаре Дионисия 462, 594
 —, вавилонские 462
 —, египетские 455
 —, македонские 462, 595
 Метеороскоп 445
 Метод аналеммы 473
 — итерационный для нахождения элементов планетных орбит 604–607, 610
 Метон 434, 570
 —, календарные циклы 461
 —, наблюдение солнцестояния в –431 г. совместно с Евктемоном 80, 81, 461, 495, 498
 —, парапегма 461
 —, продолжительность года 461
 Млечный Путь 264–266, 269, 583, 584
 Мордухай–Болтовский Д.Д. 453
 Мосгор (Moesgaard K.P.) 599
 Мусейон 432
 Наблюдения, см. Затмения лунные, Равноденствия, Солнцестояния, Сатурн, Юпитер, Марс, Венера, Меркурий, Луна, Солнце, Звезды неподвижные
 — вавилонские 118, 119, 128, 129, 132, 161, 434, 540, 565, 588, 595, 640
 — Птолемея, проблема их подлинности 498, 499, 505, 524, 533, 538, 570, 572, 573, 600, 608
 Набонассар, царь вавилонский 504, см. также Эра Набонассара
 Набопалассар, царь вавилонский 161, 459, 539
 Напата, город, параллель через него 41, 484
 Небо, его сферичность 7–9, 437
 Небо, два внда первых движений 14–15, 467
 Нейгебауэр (Neugebauer O.) 450, 451, 462, 463, 491, 530–532, 546, 547, 557, 575, 604, 608, 615, 620, 624–626, 635, 637, 640, 642, 643
 Неморарий 453
 Неомения 491
 Нижний Египет, параллель через него 42, 640
 Николай V, папа римский 448
 Нил 430, 431, 484, 581
 Ноубл (Knobel E.B.) 450, 476, 579, 581
 «Нормальные звезды» 588, 595
 Ньютон (Newton R.) 451, 478, 498, 524, 532, 538, 573, 576, 602, 608
 Обликования 399, 631
 Обо (Aaboe A.) 510
 Объемы небесных тел 541
 Ойкумена 479, 480
 —, значение термина 479
 —, ее границы, согласно Птолемею 34, 480
 —, подразделения 39-ю параллелями на 38 климатов 39–45, 483
 Олимпиадор 430
 Оппозиция истинная 548, 550
 — средняя 547
 Ослата, астеризм 241, 349, 350
 Острова Блаженных 443
 Отношение скоростей Луны и Солнца 552
 Ошибки вычислительные у Птолемея 505, 510, 520, 521, 523, 524, 527, 530–532, 539, 540, 551, 589, 599, 601–603, 607–611, 613, 614, 624, 626, 630, 636
 Палец, астрономическая единица угловых величин 190, 191, 517, 557, 565
 Паннекук (Pannekoek A.) 572
 Папп 435, 445, 465
 —, «Комментарии к "Альмагесту"» 445, 524, 527, 528, 537–539, 541, 555
 —, «Математическое собрание» 473
 Параллакс лунный 154, 494, 509
 —, воздействие на пределы солнечных затмений 183, 184, 551, 552
 —, на солнечные затмения и отсутствие влияния на лунные затмения 103, 104, 509
 —, долготная и широтная составляющие 140, 170, 171, 530–532, 544–547, 551, 552
 —, метод вычисления таблиц в «Альмагесте» 165–168, 542, 543
 —, общий по высоте 164, 165, 530, 541, 542, 544
 —, определение по таблицам Птолемея 168–174, 542, 543
 —, примеры вычисления 187, 544, 545
 —, эпипараллакс 561
 Параллакс солнечный 494, 537
 —, вычисление по таблицам Птолемея 170
 —, использование Гиппархом для нахождения расстояния до Луны 154
 —, неопределимость его величины из наблюдений 154
 —, общий по высоте 164–168, 541, 542
 —, отсутствие влияния на теорию движения Солнца 170, 171
 Парменид 483
 Педерсен (Pedersen O.) 451, 463, 464
 Пелузий, город 431
 «Периодический», лунный период 105, 509
 Персия 439
 Петерс (Peters C.H.F.) 450, 476, 579, 581
 Пифей из Массилии 485
 Планеты, аномалия зодиакальная 324, 604
 —, относительно Солнца 324, 604
 —, апогей истинный 598
 —, средний 598
 —, вычисление долготы по таблицам 372
 —, широты по таблицам 419, 422, 637–639
 —, две аномалии 278, 298, 604
 —, движения попятные 278, 373–388, 588, 620, 621
 —, диаметры и объемы 440
 —, дуги видимости 424
 —, итерационный метод для нахождения эксцентриситета и долготы апогея 604, 605, 607, 610
 —, кинематические схемы для описания движения по долготе 299, 300, 591, 592, 620
 —, широте 398–400, 630–632
 —, при одной аномалии 373
 —, максимальные элонгации Венеры и Меркурия 393–398

- Планеты, наблюдения, см. Сатурн, Юпитер, Марс, Венера, Меркурий
- , определение истинных положений по средним 364, 617
 - , периоды, исправленные Птолемеем 280, 281, 311–315, 320–323, 336–338, 349–351, 361–363, 589
 - , порядок их сфер 277, 440, 587
 - , построение таблиц аномалий 364–365, 615, 616
 - , — для вычисления широты 404–419, 634–637
 - , противостояния 324–326, 340, 352
 - , прохождение по диску Солнца 277, 587
 - , сидерическая фиксированность апогеев 299–301, 502, 590, 592, 596
 - , средние движения 281, 282, 588–590, 591, 604
 - , стояния 278, 620
 - , таблицы для определения долготы 367–371
 - , — широты 420, 421, 634, 637
 - , эфемериды 499
- Платон 467, 479, 587, 588
- , «Тимей» 587
- Племена скифские, неизвестные, параллель через место их обитания 44
- Плеяды, астеризм 239
- , их протяженность по долготе 316, 599, 600
 - , наблюдения покрытий 220, 221
- Плиний 553, 587
- Плутарх 587
- Подобие дуг двух кругов 500, 513
- Полдень, эпоха суток 101, 102
- Полуденная линия 26
- Полуденный круг 15
- Полус, его высота 36, 37
- Понт Евксинский (совр. Черное море), параллель через него 42, 54, 484
- Порфирий 444
- Предсказания погодные 204, 276, 440, 441, 562, 587
- Преобразование эклиптических координат в экваториальные 586
- Прецессия 565, 567, 587
- , кинематическая модель для ее объяснения 216–223, 565, 567, 570,
 - , открытие Гиппархом 210, 215
 - , первоначальная гипотеза Гиппарха о движении одних зодиакальных созвездий 210, 565
 - , ее скорость, согласно Гиппарху 216
 - , — Птолемею 216–224, 573, 576
- Примеры вычислений дат планетных конфигураций 643
- долгот планет 617–619
 - долготы и широты Луны 526, 534–536
 - кульминирующей точки эклиптики 544
 - Солнца 516–519, 524, 526
 - зенитного расстояния точки эклиптики с известной долготой 544
 - истинного часового движения Луны по долготе 517, 518, 525
 - моментов средней и истинной сизигий 548–550
 - общего параллакса Луны по высоте 544, 545
 - параллакса Луны по долготе 545, 546
 - широте 545, 546
- Примеры вычислений параметров лунных затмений 516–519, 524–526, 560, 561
- продолжительности дня или ночи 516, 525
 - прямого восхождения Солнца 519, 569
 - угла между эклиптической и горизонтом 586, 640–642
 - угла между эклиптической и кругом высоты 530, 545
 - уравнения времени 519, 521
 - широт планет 639, 640
- Принцип простоты в теоретических построениях 79, 91, 401, 436, 438, 497, 501, 631
- Принцип равномерности круговых движений 82, 85, 432, 433, 436, 438, 529
- , его нарушения в лунной и планетных моделях 436, 529, 591
- Прогрессия геометрическая, суммирование членов 552
- Проекция стереографическая 435, 441, 442
- Проецирование картографическое 443
- Прокл 445
- , «Гипотезы» 445, 527, 539, 541
 - , «Комментарии к "Тимею"» 541
- Простаферез 500
- Процион, созвездие 257
- Псевдо-Эратосфен, «Катастеризмы» 577, 581
- Птолемида Гермиева, город, параллель через него 41
- Птолемей Клавдий, биографические сведения 430–432
- , сочинения
 - «Альмагест» 429–451, см. также «Альмагест»
 - «Аналема» 438, 441
 - «Гармоники» 429, 432, 438, 444
 - «География» 76, 429, 430, 432, 438, 443, 480, 484, 485, 517, 574, 640
 - «Канон царский» 439, 457–459
 - «Канопская надпись» 432, 438, 439, 521, 522, 641
 - «Оптика» 429, 430, 432, 438, 443, 444, 465
 - «О способностях суждения и принятия решений» 444
 - «Планисферий» 438, 441, 442
 - «Плод» («Лентилоквиум») 444
 - «Подручные таблицы» 429, 432, 438, 439, 445, 447, 499, 504, 507, 513, 534, 547, 584, 615, 641, 642
 - «Четверокнижие» («Тетрабиблос», «Каадрипартигум») 430, 432, 438, 442, 443, 585
 - «Фазы» 438, 440, 441, 585, 587, 642
- Птолемей II Филадельф 321, 602
- Птолемей III Эвергет 579
- Птолемей VI Филометор 181, 550
- Пурбах 448, 449
- Равноденствия 441, 488, 495
- , анализ их точности 495–498
 - весенние, наблюдения
 - 145, март, 24 (Гиппарх) 77, 496, 497
 - 145, март, 24 (неизвестный) 77–78, 80, 496
 - 144, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 - 143, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 - 142, март, 23/24 (Гиппарх) 77, 496
 - 141, март, 24 (Гиппарх) 77, 496
 - 140, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 - 134, март, 23/24 (Гиппарх) 77–78, 496, 497
 - 133, март, 24 (Гиппарх) 77, 496

- Равноденствия осенние, наблюдения
 -132, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 -131, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 -130, март, 23/24 (Гиппарх) 77, 496
 -129, март, 24 (Гиппарх) 77, 496
 -128, март, 23 (Гиппарх) 77, 496
 -127, март, 23 (Гиппарх) 77, 496, 497
 140, март, 22 (Птолемей) 80, 91, 496, 498
 -161, сент., 27 (Гиппарх?) 76, 77, 495, 496
 -158, сент., 27 (Гиппарх?) 77, 496
 -157, сент., 27 (Гиппарх?) 77, 496
 -146, сент., 26/27 (Гиппарх) 77, 80, 496, 497, 505
 -145, сент., 27 (Гиппарх) 77, 496, 497
 -142, сент., 26 (Гиппарх) 77, 496, 497
 132, сент., 25 (Птолемей) 99, 100, 496, 498, 504, 568
 139, сент., 26 (Птолемей) 80, 91, 496, 497
 —, положения относительно знаков зодиака 45
 Рак, начало отсчета зодиакальных созвездий 211, 565, 566
 Региомонтан 449
 Регул 213, 242
 —, использование в качестве опорной звезды 303, 306, 308, 311, 597, 598
 —, наблюдения Гиппарха 216, 570
 —, — Птолемея 215, 588–570
 —, начало отсчета долготы в звездном каталоге «Подручных таблиц» 439, 584
 —, пример определения долготы звезды 215–216
 Рейн, параллель через его устье 43
 Рейнгольд 449
 Рефракция астрономическая 432, 444, 497, 588, 613
 Рим, наблюдения в нем 221–222, 434
 —, разность по долготе с Александрией 574
 Родос 35, 42, 46, 53, 71, 495, 507, 514, 640
 —, меридиан через него 140
 —, наблюдения на нем Гиппарха 140, 142, 144, 182, 434, 481, 497
 —, параллель через него 42, 186, 491, 556, 640
 Ром (Rome A.) 527, 528
 Ролиис (Rawlins D.) 609, 612
 Сабит ибн Корра, перевод «Планетных гипотез» на арабский язык 439
 —, переработка перевода «Альмагеста» Исаака ибн Хунайфа на арабский язык 446, 447, 450
 Савиэр (Sawyer F.W.) 592
 Сарджун ар-Руми, перевод «Альмагеста» на арабский язык 446
 Сарос 105, 509, 553
 Сатурн, величина эциклиа 360, 361, 613
 —, дуга видимости 424
 —, дуги попятного движения 381, 382, 621, 622, 623
 —, кинематическая схема для описания движения по долготу 324
 —, наблюдения
 -228, март, 1 (вавилонское) 361, 362, 614
 127, март, 26 (Птолемей) 352, 612
 133, июнь, 3 (Птолемей) 352, 612
 136, июль, 8 (Птолемей) 352, 612, 613
 138, декабрь, 22 (Птолемей) 360, 613
 —, наклонение орбиты 403, 404, 633, 634
 Сатурн, периоды и средние движения 280–282, 361–363, 589, 614
 —, северный предел эксцентра 398, 630
 —, теория движения по широте 398, 399, 400, 403, 404, 630, 633, 634
 —, уточнение среднего движения по широте 127, 521
 Сатурн, эксцентриситет и положения апогея 352–360, 612, 613
 —, эпохи периодических движений 363, 364
 Свездлов (Swerdlow N.) 537, 539
 Сезоны астрономические 501
 —, согласно Гиппарху 91, 502, 503
 —, согласно Птолемею 91, 502, 503
 Селевк I 462
 Серапис 439
 Сергий из Решайна, перевод «Альмагеста» на сирийский язык 445
 Сиена (совр. Асуан), город, параллель через него 41, 53, 69, 472, 473, 484
 Сизигия истинная 180, 181, 549
 —, средняя 180, 181, 547–549
 —, таблицы для предвычисления 175–179
 Симпликий 588, 631
 Сир 5, 210, 431, 432, 464
 Сириус, его цвет 256, 582
 —, начальная точка на небесном глобусе 268, 584, 585
 Система гелиоцентрическая 433
 —, геоцентрическая 464
 —, координат горизонтальная 477
 —, экваториальная 477
 —, эклиптическая 477
 «Система Птолемея», изображения графические 440
 Система нумерации десятично-шестидесятеричная 16, 468
 Скалигер 455
 Скипарелли 454
 Скорость движения Луны и Солнца относительная 79, 479
 Смирна, город, параллель через него 42
 Спеллиус, его закон преломления 444
 Соединение Солнца и Луны истинное 180, 181, 547
 —, —, — среднее 180, 181, 547
 Солнце, видимый диаметр согласно Гиппарху 160, 539
 —, —, — Птолемею 160, 539, 540
 —, долгота истинная 100, 499, 505, 506
 —, —, — средняя 499
 Солнце, истинная эксцентрическая аномалия 500, 503
 —, кинематические схемы для описания его движения по долготу 85–90, 500, 501
 —, максимальное уравнение 86, 87, 93, 94, 503
 —, неравенство (уравнение, разность аномалии), 94, 98, 503, 504
 —, определение продолжительности тропического года 75–82, 498
 —, размер и объем 163, 164, 541
 —, расстояние до него 162, 163, 541
 —, систематическая ошибка в долготу 505
 —, среднее движение по долготу 500, 503, 504
 —, средняя эксцентрическая аномалия 499, 500, 503, 504
 —, таблица аномалии 99, 504
 —, —, — эциклическая аномалия 500

- Солнце, фиксированность апогея относительно точки весеннего равноденствия 91, 502, 503, 513
 —, эксцентриситет и долгота апогея 91–94, 501–503
 —, эпоха средних движений 98–100, 504, 505
 —, явления, связанные с его годовым движением по эклиптике 76, 494
 — среднее экваториальное 506
 Солнцестояния 441, 488
 —, дуга между ними 21, 26, 27, 471–474
 —, наблюдения
 —431, июнь, 25 (Метон и Евктемон) 80, 81, 498
 —279 (Аристарх) 80, 81, 498
 —134 (Гиппарх) 81, 498
 —140, июнь, 25 (Птолемей) 81, 91, 498
 —, неточность их наблюдения 80
 Спика, см. Колос
 Стилбон, см. Меркурий
 Стояния планетные 620, 621
 —, древние наблюдения 278
 —, построение таблиц для их предвычисления 388–391, 627, 628
 —, таблицы для их предвычисления 392, 628
 —, трудности при наблюдении 278
 Страбон 472, 473, 483, 485
 Страна сервов 480
 Сутки звездные 101, 506
 — солнечные истинные 101, 506
 — средние 101, 506
 Сфера прямая и наклонная 483
 —, времена восхода в них дуг эклиптики 45–51
 —, таблицы времен восхода дуг эклиптики 51–55
 —, теоремы, связанные с ними 43, 35, 56, 57, 483, 485–487
 Сфера 433, 435, 436
 Тальяферро (Taliaferro R.C.), перевод «Альмагеста» на английский язык 449
 Танаис (совр. Дон), река, параллель через устье 43, 55, 485
 Таннери (Tappegr P.) 450
 Тапробана (совр. Цейлон), остров, параллель через него 40, 482
 Теодосий Триполитанский 433, 474
 Теон 431, 597
 —, его наблюдения 308, 316, 317, 434, 464, 465, 468, 597
 Теон Александрийский 439
 —, «Большой комментарий» к «Подручным таблицам» 439
 —, версия «Подручных таблиц» 439
 —, «Комментарии к "Альмагесту"» 445, 476, 562
 —, «Малый комментарий» к «Подручным таблицам» 439, 562
 Теон Смирнский 431, 541, 597
 Теорема Менелая 474–477, 479, 486, 487, 489, 492, 493
 — Птолемея 17, 469
 Теория зрения Птолемея 444
 Тимохарис 434
 —, использование циклов Калиппа 220, 461
 —, наблюдение лунного затмения, использованного Гиппархом 215, 571
 —, наблюдения в Александрии 219, 221, 544
 Тимохарис, наблюдения неподвижных звезд, использованные Гиппархом 210, 215, 217
 —, планет 321, 322, 603, 619, 639, 640
 —, покрытий звезд Луной 22–222, 544, 574
 —, склонений звезд 217–219
 Тирс 260, 583
 Тихо Браге 528
 Траян, римский император 221, 222
 Тригонометрия сферическая 437
 — хорд 437, 467, 468, 470, 482, 483
 Трикетр, см. Инструмент параллактический
 Точка эклиптики восходящая 56, 57, 481, 488, 489, 586
 — кульминирующая 56, 57, 489, 586
 Точки равноденствий 15, 467, 565
 — солнцестояния (тропические) 15, 467
 Тумер (Toomer G.J.) 3, 4, 449, 450, 457, 461–464, 468, 469, 479, 480, 484, 485, 498, 523, 527, 529, 530, 532, 537, 538, 546, 558, 559, 562, 566, 567, 569, 570, 572, 575, 576, 579, 580, 582–585, 589, 594, 595, 597–600, 602, 605, 607, 609, 611, 613, 620, 622–626, 629, 631, 635, 636
 Увеличение размеров светил у горизонта 8, 465
 Угол между эклиптикой и горизонтом 60–62, 490, 491, 586, 640–642
 — кругом высоты 62–67, 491–493, 530, 546, 563
 — меридианом 57–60, 489, 490
 — наклона эклиптики к экватору 21, 26, 27, 471, 472–474, 640, 641
 Уилсон (Wilson C.) 592, 600
 Уравнение времени 437, 505–507, 520, 521, 523, 531, 540, 602, 603, 605, 607, 611, 613
 — как функция долготы 507
 —, формулы для его вычисления 507, 508
 — дня 507
 — центра 592, 615
 Фанострат, афинский архонт 132
 ал-Фаргани 447
 Феодор Милетинский 431
 Фиваида, область в Египте 42, 484
 Филипп Арридей (селевкидский царь), его эра 439, 499
 Филопон 445
 Философия, подразделение на теоретическую и практическую 5, 464
 —, роль в развитии античной астрономии 432
 Финикия, параллель через нее 42
 —, использование в качестве стандартной параллели при определении планетных конфигураций 640, 642
 Флемстид (Flamsteed J.) 576
 Фуле (Фулу, Туле), остров, параллель через него 44, 441, 480, 485
 Хабаш-ал-Хасиб 447
 ал-Хаджадж ибн Матар, перевод «Альмагеста» на арабский язык 446, 447, 450
 ал-Хазини 447
 Халкидий 541
 Хартнер (Hartner W.) 597
 ал-Хасан ибн Курайш, перевод «Альмагеста» на арабский язык 446

- Хорды, определение их величин 16–21, 467, 469–471
 —, таблицы для вычисления 22–25
- «Целевые-годовые тексты» 588, 589
 Цикл лунно-солнечный 25-летний 176, 547
 Цицерон 587
- Часы водяные 160
 — солнечные 441
 Часы равнодейственные 56, 480, 488
 — сезонные 56, 488
 —, определение их длины 56, 488
 Чвалина (Czwalna A.) 600
 Четверть знака как угловая единица 512
- Шапур I, сасанидский царь 445
 «Шах-и-зидж» 445
 Шевченко М.Ю. 4, 527, 528
 Шкала времени, линейность и однородность 437, 455, 506
 Широта астрономическая, используемый термин 560
 — географическая 27, 481–483
 Шпилевский А.В. 457, 462
- Эбрудские (совр. Гебридские) острова, параллель через них 44, 485
 Эваидр, афинский архонт 133
 Эвекция 437, 513, 527, 528
 Эквант 588, 591, 601, 603
 Эклиптика 14, 464, 467
 —, времена восхода ее дуг 45–51, 479, 485, 486
 —, времена прохождения ее дуг через меридиан 31–33, 507
 —, круг через середины зодиакальных созвездий 465
 —, наклонный круг 14, 464, 467
 —, определение долготы восходящей точки 56, 57, 481, 488
 Эклиптика, определение долготы кульминирующей точки 56, 57, 489, 544
 —, — зенитного расстояния точки с известной долготой в фиксированный момент 65–67, 491, 492, 544
 —, — наклона согласно Эратосфею и Гиппарху 27, 472, 473
 —, — Птолемею 21, 26, 27, 471, 472
 —, — прямого восхождения ее точек с известной долготой 487, 519, 569
 —, — склонений ее точек с известной долготой 30–31, 477, 478
 —, — угла между эклипикой и меридианом 57–60, 489, 490
 —, — — — — — кругом горизонта 60–62, 490, 491, 586, 640, 641, 642
 —, — — — — — высоты 62–67, 493, 530, 544, 563
 —, — таблица зенитных расстояний и углов 68–74
 Экселигмос, лунный период 105, 509, 510
- Эксцентр 433, 499
 Элонгация максимальная 592
 —, —, анализ точности наблюдений 593
 —, —, определение для различных положений на эксцентре 393–397, 628, 629
 Эмпедокл 464
 Эпагомены 455
 Эпикур 464, 465
 Эпипараллакс 561
 Эпицикл 433
 Эпоха суток астрономическая и гражданская 101, 102, 506
 —, — восходная и заходная 456, 457
 —, — полуденная 99, 456, 457, 507
 —, — начальная в таблицах Птолемея 98, 504, см. также Эра Набонассара
 Эра Августа 99, 505
 — Александра 80, 81, 91, 99, 142, 144, 505
 — Дионисия 594
- Эра Набонассара 99, 100, 102, 127, 132, 133, 140, 157, 161, 181, 182, 220–222, 304, 305, 313, 315, 322, 323, 336, 339, 351, 362, 363, 437, 455, 457, 459, 504, 505, 524, 608, 611, 617–619, 643
 —, — селевкидская 595
 —, — Филиппа 439, 499
 —, — халдейская 595
 Эратосфен 472, 473, 480, 481, 483, 587
 —, — его порядок планет 587
 —, —, определение дуги между солнцестояниями 27, 472
 —, —, — окружности Земли 472
 Эфир 9, 401, 464, 631
- Юпитер, величина эпицикла 348, 349, 611
 —, — дуга видимости 424
 —, —, дуги попятного движения 381, 382, 623, 624
 —, —, кинематическая схема для описания его движения по долготе 324
 —, —, наблюдения
 —, —, — 240, сентябрь, 4 (Дионисий?) 349, 350, 611
 —, —, — 133, май, 17 (Птолемей) 340, 610, 612
 —, —, — 136, август, 31 (Птолемей) 340, 610
 —, —, — 137, октябрь, 8 (Птолемей) 340, 610
 —, —, — 139, июль, 11 (Птолемей) 348, 611, 617, 639
 —, —, — наклонение орбиты 403, 404, 633, 634
 —, —, — периоды и средние движения 280–282, 349–351, 589, 612
 —, —, — северный предел эксцента 398, 630
 —, —, — теория движения по широте 398, 399, 400, 404
 —, —, — эксцентриситет и положение апогея 340–348, 610, 611
 —, —, — эпохи периодических движений 351
- Ясли, астеризм 212, 241

Оглавление

От составителей	3

Книга I

1. Введение	5
2. О последовательности изложения	7
3. О том, что небо имеет сферическое движение	7
4. О том, что Земля в целом имеет вид сферы	9
5. О том, что Земля находится в середине неба	10
6. О том, что по сравнению с небесами Земля является точкой	11
7. О том, что Земля не совершает никакого поступательного движения	12
8. О том, что в небе существуют два различных вида первых движений	14
9. О специальных понятиях	15
10. О величинах прямых в круге	16
11. Таблица прямых в круге	21
12. О дуге, заключенной между солнцеворотами	21
13. Предварительные теоремы для доказательств сферикн	27
14. О дугах, заключенных между равноденственным и наклонным кругами	30
15. Таблица склонений	31
16. О временах восхода в прямой сфере	31

Книга II

1. Об общем положении обитаемой части Земли	34
2. О том, как по заданной величине наибольшего дня определяются дуги горизонта, отсекаемые равноденственным и наклонным кругами	35
3. О том, как при тех же предположениях определяется высота полюса, и обратно	36
4. О том, как вычисляется, где, когда и как часто Солнце бывает прямо над головой	37
5. О том, как на основании изложенного определяются отношения гномона к полуденным теням в моменты равноденствий и солнцеворотов	38
6. Перечень характерных особенностей отдельных параллелей	39
7. Об одновременных восходах в наклонной сфере частей круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий, и равноденственного круга	45
8. Таблица времен восхода по дугам в десять градусов	51
9. О частных вопросах, связанных с временами восхода	51
10. Об углах, образуемых кругом, проходящим через средины зодиакальных созвездий, и полуденным кругом	57
11. Об углах, образуемых тем же наклонным кругом с горизонтом	60
12. Об углах и дугах, образуемых тем же наклонным кругом и кругом, проведенным через полюсы горизонта	62
13. Значения углов и дуг для различных параллелей	67

Книга III

1. О продолжительности годового промежутка временн	75
2. Таблицы средних движений Солнца	83
3. О гипотезах, касающихся равномерного кругового движения	85
4. О видимом неравенстве движения Солнца	91
5. Об определении значений неравенства для различных положений	94

5. Об определении значений неравенства для различных положений	94
6. Таблица солнечной аномалии	98
7. Об эпохе среднего движения Солнца	98
8. О вычислении положения Солнца	100
9. О неравенстве суток	100

Книга IV

1. На каких наблюдениях следует строить теорию Луны	103
2. О периодах лунных движений	104
3. О частных значениях средних движений Луны	108
4. Таблицы средних движений Луны	109
5. О том, что при простой гипотезе о движении Луны, будет она гипотезой эксцентра или эпицикла, видимые явления будут одними и теми же	109
6. Определение первого, или простого лунного неравенства	117
7. Об исправлении средних движений Луны по долготе и аномалии	126
8. Об эпохе средних движений Луны по долготе и аномалии	127
9. Об исправлении средних движений Луны по широте и об их эпохах	127
10. Таблица первого, или простого, неравенства Луны	131
11. О том, что разница принятой Гиппархом величины лунного неравенства и найденной нами получается не от различия сделанных предположений, но вследствие вычислений	131

Книга V

1. Об устройстве астролябии	135
2. О гипотезах двойного неравенства Луны	137
3. О величине неравенства Луны, зависящего от положения относительно Солнца	139
4. О величине отношения для эксцентриситета лунной орбиты	141
5. О «наклонении» лунного эпицикла	141
6. О том, как геометрически по периодическим движениям определяется истинное положение Луны	146
7. Построение таблицы для полного неравенства Луны	147
8. Таблица полного лунного неравенства	150
9. О вычислении движения Луны в целом	151
10. О том, что эксцентрический круг Луны не производит никакой заметной разницы в сизигиях	151
11. О параллаксах Луны	154
12. Об устройстве параллактического инструмента	155
13. Определение расстояний Луны	157
14. О величинах видимых диаметров Солнца, Луны и земной тени в сизигиях	160
15. О расстоянии Солнца и о том, что определяется вместе с ним	162
16. О величинах Солнца, Луны и Земли	163
17. О частных значениях параллаксов Солнца и Луны	164
18. Таблица параллаксов	168
19. Об определении параллаксов	168

Книга VI

1. О новолуниях и полнолуниях	175
2. Составление таблиц средних сизигий	175
3. Таблицы новолуний и полнолуний	177
4. О том, как следует определять средние и истинные сизигии	180
5. О пределах для затмений Солнца и Луны	181
6. О промежутках между месяцами, в которые происходят затмения	184
7. Построение таблиц затмений	190
8. Таблицы затмений	197
9. Вычисление лунных затмений	199
10. Вычисление солнечных затмений	201
11. Об углах «наклонений» в затмениях	204
12. Таблица «наклонений» затмений	207
13. Определение «наклонений»	208

Книга VII

1. О том, что неподвижные звезды всегда сохраняют одно и то же положение по отношению друг к другу	210
2. О том, что сфера неподвижных звезд совершает некоторое движение в направлении последовательности знаков круга, проходящего через середины зодиакальных созвездий	214
3. О том, что сфера неподвижных звезд совершает движение вокруг полюсов зодиака в направлении последовательности знаков	216
4. О способе составления каталога неподвижных звезд	223
5. Каталог созвездий северного неба	224

Книга VIII

1. Каталог созвездий южного неба	245
2. О положении круга Млечного Пути	264
3. Об устройстве небесного глобуса	267
4. О свойственных неподвижным звездам конфигурациях	269
5. Об одновременных восходах, кульминациях и заходах неподвижных звезд	273
6. О гелиакических восходах и заходах неподвижных звезд	274

Книга IX

1. О последовательности расположения сфер Солнца, Луны и пяти планет	277
2. Об изложении гипотез относительно планет	278
3. О периодических возвращениях пяти планет	280
4. Таблицы средних движений по долготе и аномалии для пяти планет	282
5. Основные положения относительно гипотез о пяти планетах	298
6. О характере и различиях между гипотезами	299
7. Определение положения апогея планеты Меркурий и его перемещения	302
8. О том, что планета Меркурий также в течение одного оборота дважды становится в ближайшее к Земле положение	306
9. Об отношении и величине аномалий Меркурия	307
10. Об исправлении периодических движений Меркурия	311
11. Об эпохе периодических движений Меркурия	315

Книга X

1. Определение положения апогея планеты Венера	316
2. О величине эпицикла Венеры	317
3. Об отношениях эксцентриситетов планеты Венера	318
4. Об исправлении периодических движений Венеры	320
5. Об эпохе периодических движений Венеры	323
6. Предварительные сведения, касающиеся остальных планет	324
7. Определение эксцентриситета и положения апогея Марса	325
8. Определение величины эпицикла Марса	335
9. Об исправлении периодических движений Марса	336
10. Об эпохе его периодических движений Марса	339

Книга XI

1. Определение эксцентриситета и положения апогея Юпитера	340
2. Определение величины эпицикла Юпитера	348
3. Об исправлении периодических движений Юпитера	349
4. Об эпохе периодических движений Юпитера	351
5. Определение эксцентриситета и положения апогея Сатурна	352
6. Определение величины эпицикла Сатурна	360
7. Об исправлении периодических движений Сатурна	361
8. Об эпохе периодических движений Сатурна	363
9. О том, каким образом по периодическим движениям геометрически определяются истинные положения	364
10. Построение таблиц аномалий	364
11. Таблицы для определения долгот пяти планет	367
12. О вычислении долгот пяти планет	372

Книга XII

1. О предварительных положениях, касающихся попятных движений	373
2. Определение попятных движений Сатурна	377
3. Определение попятных движений Юпитера	381
4. Определение попятных движений Марса	382
5. Определение попятных движений Венеры	384
6. Определение попятных движений Меркурия	386
7. Построение таблицы стояний	388
8. Таблица стояний. Значения уточненной аномалии	392
9. Определение наибольших удалений Венеры и Меркурия от Солнца	393
10. Таблица наибольших удалений планет от истинного положения от Солнца	397

Книга XIII

1. О гипотезах, касающихся движения пяти планет по широте	398
2. О характере движения в предполагаемых инклинациях и обликвациях согласно гипотезам	400
3. О величинах инклинаций и обликваций для каждой планеты	402
4. Построение таблиц для частных значений отклонений по широте	404
5. Таблицы для вычисления широты	419
6. Вычисление отклонений пяти планет по широте	419
7. О гелиакических восходах и заходах пяти планет	422
8. О том, что особенности восходов и заходов Венеры и Меркурия согласуются с принятыми гипотезами	422
9. Метод определения расстояний от Солнца для частных случаев гелиакических восходов и заходов	427
10. Таблицы гелиакических восходов и заходов пяти планет	428
11. Эпилог сочинения	428

ПРИЛОЖЕНИЯ

Птолемей и его астрономический труд (Г.Е.Куртик, Г.П.Матвиевская)	429
Переводчик «Альмагеста» И.Н. Веселовский (С.В.Житомирский)	452
Календарь и хронология в «Альмагесте» (Г.Е.Куртик)	455
Комментарии (Г.Е.Куртик, М.М.Рожанская, Г.П.Матвиевская)	463
Список литературы	644
Список основных обозначений и символов	655
Предметно-именной указатель	657

Научное издание

ПТОЛЕМЕЙ Клавдий

**АЛЬМАГЕСТ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ СОЧИНЕНИЕ В ТРИНАДЦАТИ КНИГАХ**

Редакторы *С.С. Куликов, Е.Ю. Ходан*
Компьютерный набор *Л.Т. Варьяш, О.А. Зайцевой*
Компьютерная верстка *О.В. Салецкой*

ЛР № 020297 от 23.06.97. Подписано в печать 23.04.98. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 54,43. Уч.-изд. л. 65,32.
Тираж 1000 экз. Заказ тип. №3889 С—013.

Издательская фирма «Физико-математическая литература» РАН
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Отпечатано в Московской типографии № 2 РАН
121099 Москва Г-99, Шубинский пер., 6