

Դ. Հ. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ
ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԴԱՍԸՆԹԱՅԻ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐՔ
ԴԻՄՈՐՂՆԵՐԻ ԵՎ ՈՒՍԱՆՈՂՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ



ԵՐԵՎԱՆ – 2019

ՀՏԴ 53(07)
ԳՄԴ 22.3g7
Բ242

Գրախոսներ՝

ԵՊՀ ֆիզիկայի ֆակուլտետի Օպտիկայի ամբիոնի վարիչ,
ֆ. մ. գ. դ. պրոֆեսոր Ռ. Բ. Ալավերդյան

ԵՊՀ Ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետի <<Կիսահաղորդիչների
ֆիզիկայի և միկրոէլեկտրոնիկայի>> ամբիոնի պրոֆեսոր,
ֆ. մ. գ. դ. Ֆ. Վ. Գասպարյան

Խմբագիր՝ Ժ. Հ. Նինոյան

Բաղդասարյան Դ.Հ.

Ֆիզիկայի ընդհանուր դասընթացի տեղեկագիրք ուսանողների և
Բ 242 դիմորդների համար /Դ.Հ.Բաղդասարյան, Եր: Էդիտ Պրինտ,
2019 .-280էջ:

Սույն ձեռնարկը ընդգրկում է ֆիզիկայի ընդհանուր դասընթացի
բոլոր բաժինների այն հարցերը, որոնք համապատասխան են բուհա-
կան կրթության ծրագրերին:

Ձեռնարկը ընդգրկում է նաև ավագ դպրոցներում (քոլեջներում)
ֆիզիկա առարկայի դասավանդման գրեթե բոլոր հարցերը:

Տեղեկագիրքը կարող են օգտագործել ինչպես տարբեր բուհերի
ուսանողները, այնպես էլ ավագ դպրոցների (քոլեջների)
աշակերտներն ու ուսուցիչները:

ՀՏԴ 53(07)
ԳՄԴ 22.3g7

ISBN 978-9939-75-378-2
© Բաղդասարյան Դ.Հ. 2019

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԳԼՈՒԽ 1.

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

§1. ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ.....17-23

1. Տեղափոխություն, ճանապարհ, արագություն: 2. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում: 3. Փոփոխական շարժում: Միջին արագություն: Ակնթարթային արագություն: Միջին արագացում: 4. Հավասարաչափ արագացող շարժում: 5. Ազատ անկում: 6. Հավասարաչափ շարժում շրջանագծով: Անկյունային և գծային արագություններ: Կենտրոնաձիգ արագացում: 7. Շրջանագծային շարժման ընդհանուր դեպքը: Անկյունային արագացում: 8. Շրջանագծով հավասարաչափ արագացող և դանդաղող շարժումներ:

§2. ՆՅՈՒԹԱԿԱՆ ԿԵՏԻ ԵՎ ՊԻՆԴ ՄԱՐՄՆԻ ՀԱՍՏՆԹԱՑ ՇԱՐԺՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱ.....24-30

1. Նյութոնի օրենքները: 2. Մեխանիկայում հանդիպող ուժերը. ծանրության ուժ, առաձգականության ուժ, սահքի և դադարի շփման ուժեր: 3. Տիեզերական ձգողության օրենքը: 4. Ազատ անկման արագացումը: 5. Տիեզերական արագությունները: 6. Կեպլերի օրենքները: 7. Հուլի օրենքը երկայնական և սահքի դեֆորմացիաների դեպքում: 8. Իներցիոն ուժեր:

§3. ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ ՄԵԽԱՆԻԿԱՑՈՒՄ.....30-37

1. Իմպուլս: 2. Ուժի իմպուլսը: 3. Իմպուլսի պահպանման օրենքը: 4. Զանգվածների կենտրոն, դրա հետ կապված հաշվարկման համակարգը: 5. Ռեակտիվ շարժում, Մեշչերսկու բանաձևը: Ցիակլովսկու բանաձևը: 6. Աշխատանք և հզորություն: 7. Կինետիկ էներգիա: 8. Պոտենցիալ էներգիա: Երկու նյութական կետերի գրավիտացիոն փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան: 9. Առաձգականորեն սեղմված կամ ձգած ձողի պոտենցիալ էներգիան: 10. Գրավիտացիոն դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը: Նյութական կետի վրա ազդող ուժի և դրա պոտենցիալ էներգիայի կապը: Նյութական կետի ստեղծած դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը, դաշտի լարվա-

ծության և պոտենցիալի կապը: Դաշտերի վերադրման սկզբունքը:

11. Էներգիայի և աշխատանքի կապը: Մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը: Էներգիայի պահպանման և փոխակերպման հիմնարար օրենքը: **12.** Երկու մարմինների բախումը:

§4. ՊԻՆԴ ՄԱՐՄՆԻ ՊՏՏԱԿԱՆ ՇԱՐԺՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ.....38-42

1. Ուժի մոմենտ: **2.** Ծանրության կենտրոն: **3.** Պինդ մարմնի հավասարակշռության պայմանը: **4.** Իներցիայի մոմենտ: Հոծ գլանի (սկավառակի) իներցիայի մոմենտն իր համաչափության առանցքի նկատմամբ: Հոծ գնդի իներցիայի մոմենտն իր կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ: Բարակ ձողի իներցիայի մոմենտը իր կենտրոնով անցնող և ձողին ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ: Բարակ պատերով գնդոլորտի իներցիայի մոմենտն իր կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ: Բարակ պատերով գլանային մակերևույթի կամ օղակի իներցիայի մոմենտն իր համաչափության առանցքի նկատմամբ: Շտեռնի թեորեմը: **5.** Անշարժ պտտման առանցք ունեցող պինդ մարմնի պտտական շարժման դինամիկայի հիմնական հավասարումը: **6.** Պինդ մարմնի շարժման հավասարումը: **7.** Իմպուլսի մոմենտ: **8.** Իմպուլսի մոմենտի պահպանման օրենքը: Հոլի պրեցեսիան: **9.** Մարմինը առանցքի շուրջը պտտելու աշխատանքը: **10.** Պտտվող մարմնի կինետիկ էներգիան:

§5. ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ԱԼԻՔՆԵՐ.....42-52

1. Նյութական կետի ներդաշնակ տատանումները: **2.** Միևնույն ուղղությամբ և հաճախությամբ ներդաշնակ տատանումների գումարում: Արդյունաբար տատանումների լայնույթը և սկզբնական փուլը: Բաբախում: **3.** Ճոճանակների տատանումների պարբերությունը: **4.** Նյութական կետի մարող տատանումները: **5.** Նյութական կետի հարկադրական տատանումները, ռեզոնանս: **6.** Առաձգական ալիքներ: **7.** Կոհերենտ ալիքներ, դրանց ինտերֆերենցը: Ալիքային ծրար: Ալիքի փուլային և խմբային արագությունները: **8.** Դոպլերի էֆեկտը ակուստիկայում: **9.** Հարվածային ալիք:

§6. ՃՆՇՈՒՄԸ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐՈՒՄ ԵՎ ԳԱԶԵՐՈՒՄ.....52-56

1. Ճնշումը հեղուկներում և գազերում: 2. Արքիմեդի ուժը: 3. Անընդհատության (անխզելիության) հավասարումը: 4. Բեռնուլիի հավասարումը: 5. Մածուցիկ հեղուկի կամ գազի հոսանքը: Ռեյնոլդսի թիվը: Պուազեյի բանաձևը: Ստոքսի բանաձևը: Հեղուկում կամ գազում շարժվող մարմնի վրա ազդող վերամբարձ ուժը:

§7. ՌԵԼՅԱՏԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ.....56-59

1. Այնշտայնի կանխադրյալները: 2. Լորենցի ձևափոխությունները: 3. Ինտերվալ: 4. Երկարության ռելյատիվիստական (լորենցյան) կրճատում: 5. Ժամանակի ռելյատիվիստական դանդաղում: 6. Արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքը: 7. Հարաբերական արագության մոդուլը: 8. Մարմնի իմպուլսը: 9. Ռելյատիվիստական դիմամիկայի հիմնական հավասարումը: 10. Ռելյատիվիստական արագությամբ շարժվող մարմնի էներգիան: Էներգիայի և իմպուլսի կապը: 11. Ազատ մարմնի էներգիայի և իմպուլսի ձևափոխությունը:

**ԳԼՈՒԽ 2. ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ ԵՎ
ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ**

§1.ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ - ԿԻՆԵՏԻԿ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ: ԻԴԵԱԼԱԿԱՆ ԳԱԶԻ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ.....60-64

1. Նյութի քանակ, նյութի մասնիկների զանգվածը: 2. Մասնիկների կոնցենտրացիան: 3. Մասնիկների միջին կինետիկ էներգիան և արագությունը: 4. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը: 5. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը: 6. Գազային օրենքները: 7. Դալտոնի օրենքը: 8. Մոլեկուլների բաշխումը ըստ արագությունների: 9. Մոլեկուլների արագությունները: 10. Բոլցմանի բաշխումը: Բարոմետրական բանաձևը: 11. Իդեալական գազի ջերմաստիճանային գործակիցները:

**§2. ՁԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ: ԱՇԽԱՏԱՆՔԸ ՏԱՐԲԵՐ ՊՐՈՑԵՍՆԵ-
ՐՈՒՄ.....65-71**

1. Ներքին էներգիա: 2. Աշխատանքը ջերմադինամիկայում: 3. Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (օրենքը): 4. Ջերմունակություն: 5. Ադիաբատ պրոցես: 6. Պոլիտրոպ պրոցես:

**§3. ՁԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ: ՁԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ
ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐ.....71-76**

1. Ջերմային մեքենաներ (շարժիչներ): 2. Կառնոյի ցիկլը: 3. Սառնարան: 4. Էնտրոպիա: 5. Իդեալական գազի էնտրոպիան: 6. Ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքը (օրենքը): 7. Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը: 8. Ջերմադինամիկական ֆունկցիաներ (պոտենցիալներ):

§4. ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ..... 76-78

1. Գազի մոլեկուլների բախումները: 2. Տեղափոխման երևույթներ: Դիֆուզիայի հավասարումը: Մածուցիկության հավասարումը: Ջերմահաղորդականության հավասարումը: 3. Տեղափոխման գործակիցներն իդեալական գազի համար: 4. Բեռնուլիի հավասարումը իդեալական գազի համար:

**§5. ՌԵԱԼ ԳԱԶԵՐ: ՓՈԽԼԱՑԻՆ ԱՆՑՈՒՄՆԵՐ: ՁԵՐՄԱՑԻՆ
ԸՆԴԱՐՁԱԿՈՒՄ.....79-86**

1. Հարաբերական խոնավություն: Ցողի կետ: 2. Վան դեր Վաալսի հավասարումը: 3. Ջոուլ-Թոմսոնի երևույթը: 4. Փուլային անցումներ: Եռակի կետ: 5. Մակերևութային լարվածություն: Լապլասի բանաձևը: 6. Մազական երևույթներ: 7. Դյուլոնգի և Պտիի օրենքը: 8. Պինդ մարմնի ջերմային ընդարձակումը: 9. Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի ջերմաստիճանային գործակիցները:

**ԳԼՈՒԽ 3. ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ
ՍԱԳՆԻՍԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

§1. ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԸ ՎԱԿՈՒՈՒՍՈՒՄ.....87-93

1. Կուլոնի օրենքը և կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը: 2. Էլեկտրական լիցքերի բաշխվածությունները: Էլեկտրական դաշտի

լարվածությունը: **3.** Վերադրման սկզբունքը էլեկտրական դաշտերի համար: **4.** Որոշ էլեկտրական դաշտերի լարվածությունները: **5.** Գաուսի թեորեմը էլեկտրական դաշտի համար: Էլեկտրաստատիկայի հիմնական հավասարումների ինտեգրալ և դիֆերենցիալ տեսքերը: **6.** Էլեկտրական դիպոլ (երկբևեռ), դրա դաշտը: **7.** Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը: **8.** Էլեկտրական դաշտերի վերադրման սկզբունքը պոտենցիալի համար: **9.** Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալի կապը: **10.** Պուասոնի հավասարումը: **11.** Էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը: Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալությունը: **12.** Լիցքերի փոխազդեցության էներգիան և էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան:

§2. ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՈՒԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՈՒՄ.....93-101

1. Էլեկտրաստատիկ դաշտը հաղորդիչների առկայության դեպքում: Հաղորդչի ներսի պոտենցիալը, դաշտի լարվածությունը և ավելցուկ լիցքերի ծավալային խտությունը: **2.** Հաղորդիչների և կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունը: Հարթ, գլանային և գնդային կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունները: **3.** Մի քանի հաղորդիչների լիցքերի ու պոտենցիալների կապը: **4.** Էլեկտրաստատիկ դաշտը դիէլեկտրիկների առկայության դեպքում: **5.** Դիէլեկտրիկի բևեռացումը և էլեկտրական ինդուկցիայի (շեղման) վեկտորը: Մեզնետաէլեկտրիկներ: **6.** Կապված լիցքերի բաշխվածության և դիէլեկտրիկում դաշտը բնութագրող մեծությունների կապը: Գաուսի թեորեմը էլեկտրական դաշտի համար՝ դիէլեկտրիկների առկայության դեպքում: **7.** Առնչություններ երկու դիէլեկտրիկների բաժանման սահմանին: **8.** Առնչություններ հաղորդիչ-դիէլեկտրիկ սահմանի վրա: **9.** Էլեկտրական դաշտի էներգիան դիէլեկտրիկում: **10.** Դիպոլային մոմենտ և դիէլեկտրական թափանցելություն: **11.** Բևեռացած դիէլեկտրիկի էներգիան և դրա վրա ազդող ուժը:

§3. ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔ.....101-108

1. Հոսանքի ուժ և խտություն: **2.** Օհմի օրենքը շղթայի համասեռ տեղամասի համար: Այդ օրենքի ինտեգրալ և դիֆերենցիալ տեսքերը: **3.** Էլեկտրաշարժ ուժ: Օհմի օրենքը շղթայի անհամասեռ տե-

դամասի համար: **4.** Հաղորդչի դիմադրությունը և էլեկտրահաղորդականությունը: **5.** Հաղորդիչների միացումները: **6.** Մետաղների դիմադրության կախվածությունը ջերմաստիճանից: **7.** Հաստատուն հոսանքի աշխատանքը և հզորությունը: **8.** Ջոու-Լենցի օրենքը: Այդ օրենքի դիֆերենցիալ տեսքը: **9.** Կիրխոֆի կանոնները: **10.** Անընդհատության հավասարումը: **11.** Անցումային պրոցեսներ *RC*-շղթայում: **12.** Օհմի օրենքը լիցքաչեզոք էլեկտրալիտների համար: **13.** Ֆարադեյի օրենքները էլեկտրալիզի համար: **14.** Հոսանքը գազերում:

§4. ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍՄԱՆՔԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ.....108-118

1. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուղղությունը և մոդուլը: **2.** Բիո-Սավար-Լապլասի օրենքը: **3.** Ոչ ռելատիվիստական արագությամբ հավասարաչափ շարժվող կետային լիցքի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան: **4.** Վերադրման սկզբունքը մագնիսական դաշտի համար: **5.** Մագնիսական դաշտի լարվածությունը: **6.** Որոշ հոսանքակիր հաղորդալարերի մագնիսական դաշտերի ինդուկցիան: **7.** Մագնիսական հոսք և ինդուկտիվություն: **8.** Մագնիսաստատիկայի հիմնական հավասարումների ինտեգրալ և դիֆերենցիալ տեսքերը: **9.** Ամպերի ուժը: **10.** Լորենցի ուժը: Լիցքավորված մասնիկի շարժումը համասեռ մագնիսական դաշտում: Հոլի երևույթը: **11.** Մագնիսական մոմենտ, դրա վարքը մագնիսական դաշտում: **12.** Մագնիսական դաշտում հոսանքակիր հաղորդալարի տեղափոխման աշխատանքը: **13.** Մագնիսական դաշտի էներգիան և մագնիսական փոխազդեցության էներգիան:

§5. ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ.....118-124

1. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիան միջավայրում: **2.** Համասեռ միջավայրում գտնվող շրջանակի ինդուկտիվությունը: **3.** Մագնիսացման վեկտորը և մագնիսական դաշտի լարվածությունը: Կապը մագնիսացման վեկտորի և լարվածության միջև: Կապը մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի և լարվածության միջև: **4.** Մագնիսացման հոսանքների և միջավայրում դաշտը բնութագրող մեծու-

թյունների կապը: **5.** Առնչություններ երկու մագնետիկների բա-
ժանման սահմանին: **6.** Մագնիսական դաշտի էներգիան միջավայ-
րում: Մագնիսացած մագնետիկի միավոր ծավալի վրա ազդող ուժը:
7. Դիամագնիսների և պարամագնիսների մագնիսական ընկալու-
թյունը: Լարմոյան պրեցեսիա: **8.** Ֆեռոմագնիսների հիստերեզիսա-
յին օղակները:

§6. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՄԱԿԱԾՈՒՄ.....124-127

1. Էլեկտրամագնիսական մակածման Ֆարադեյի օրենքը և
դրա մասնավոր դեպքերը: **2.** Մի քանի հոսանքակիր շրջանակների
մագնիսական հոսքերի և հոսանքների կապը (երկու շրջանակի օրի-
նակով): **3.** Անցումային պրոցեսներ LR – շղթայում:

§7. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐ.....127-133

1. Հարմոնիկ օրենքով փոփոխվող հոսանք: **2.** Ակտիվ դիմադրու-
թյունը փոփոխական հոսանքի շղթայում: **3.** Ինդուկտիվ կոճը փոփո-
խական հոսանքի շղթայում: **4.** Կոնդենսատորը փոփոխական հո-
սանքի շղթայում: **5.** Հաջորդական միացած L , R և C տարրերը
փոփոխական հոսանքի շղթայում: Հաջորդական միացած L , R և C
տարրերի փոփոխական հոսանքի շղթայի լարումների և հզորու-
թյունների վեկտորական դիագրամները: **6.** Տրանսֆորմատոր: **7.**
Իդեալական տատանողական կոնտուրը: **8.** Հաջորդական միացած
 L , R և C տարրերից կազմված տատանողական կոնտուրը:

§8. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐ.....133-137

1. Շեղման հոսանք: **2.** Մաքսվելի հավասարումները: **3.** Նյութա-
կան հավասարումները: **4.** Ալիքային հավասարումը համասեռ և
իզոտրոպ միջավայրում: **5.** OX առանցքով տարածվող հարթ մենե-
րանգ էլեկտրամագնիսական ալիքի հավասարումը: **6.** Էլեկտրա-
մագնիսական դաշտի էներգիական բնութագրերը: **7.** Արագացումով
շարժվող լիցքավորված մասնիկի ճառագայթման հզորությունը: **8.**
Էլեկտրական և մագնիսական դիպոլների ճառագայթման միջին
հզորությունները: **9.** Էլեկտրամագնիսական ալիքի իմպուլսը և ճնն-

շումը: **10.** Փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտում շարժվող լիցքավորված մասնիկի վրա ազդող ուժը:

ԳԼՈՒԽ 4. ՕՊՏԻԿԱ

§1. ԵՐԿՐԱՉԱՓԱԿԱՆ ՕՊՏԻԿԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ: ԿԵՆՏՐՈՆԱՑՎԱԾ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ.....138-148

1. Երկրաչափական օպտիկայի հիմնական օրենքները: 2. Միջավայրի բեկման ցուցիչ: Լույսի լրիվ անդրադարձումը: 3. Ֆերմայի սկզբունքը: 4. Օդատեսիլ: 5. Հարթ հայելի: Պատկերի կառուցումը հարթ հայելիում: 6. Գնդաձև հայելի: 7. Բարակ ոսպնյակներ: Պատկերի կառուցումը ոսպնյակներում: 8. Հաստ ոսպնյակներ:

§2. ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՍԱՐՔԵՐ: ԼՈՒՍԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆ.....148-155

1. Օպտիկական սարքեր: Աչքի նվազագույն օպտիկական ուժը: Խոշորացույց: Մանրադիտակ: Հեռադիտակ: Լուսանկարչական ապարատ: Պրոյեկտոր: 2. Լուսաչափություն: Ճառագայթային էներգիայի հոսք: Լույսի լրիվ հոսք: Լույսի ուժ: Լուսավորվածություն: Լույսի աղբյուրի պայծառությունը: Լույսի աղբյուրի լուսատվությունը: Լույսի ինտենսիվությունը: 3. Օբյեկտիվի բնութագրերը: Պատկերի լուսավորվածությունը ֆոտոապարատում: Պրոյեկտորի տված պատկերի լուսավորվածությունը:

§3. ԼՈՒՅՄԻ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԸ ԵՎ ԴԻՖՐԱԿՑԻԱՆ.....156-165

1. Լույսի ինտերֆերենցը: Լուսային ալիքների ինտերֆերենցիոն մաքսիմումների և մինիմումների պայմանը: Ինտերֆերենցիոն շերտի լայնությունը: Ֆրենելի երկհայելի: Ինտերֆերենցիոն շերտերի թիվը: Ֆրենելի երկպրիզմա: Լույսի ինտերֆերենցիան բարակ թաղանթներից անդրադառնալիս: Նյուտոնի օղակները: Ինտերֆերենցիոն պատկերի տեսանելիությունը: 2. Լույսի դիֆրակցիան: Հյուգենս-Ֆրենելի սկզբունքը: 3. Ֆրենելի դիֆրակցիա: Ֆրենելի գոտիները: Դիֆրակցիան կլոր սկավառակից: Դիֆրակցիան կլոր անցքից: 4. Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիա: Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիան ճեղքից: Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիան դիֆրակցիոն ցանցից: 5. Ռենտգենյան ճառագայթների դիֆրակցիան: Վուլֆ-Բրեգի բանաձևը:

§4. ԼՈՒՅՍԻ ԴԻՍՊԵՐՍԻԱՆ ԵՎ ԿԼԱՆՈՒՄԸ: ԼՈՒՅՍԻ

ՑՐՈՒՄԸ.....165-172

1. Օպտիական սարքերի դիսպերսիան: Դիֆրակցիոն ցանցի գծային դիսպերսիան: 2. Օպտիական սարքերի լուծող ուժը: Դիֆրակցիոն ցանցի լուծող ուժը: Հեռադիտակի օբյեկտիվի լուծող ուժը: Մանրադիտակի լուծող ընդունակությունը: Թափանցիկ եռանկյուն պրիզմայի լուծող ուժը: 3. Լույսի դիսպերսիան և արագությունը: Նորմալ դիսպերսիա: Անոմալ դիսպերսիա: Միջավայրի դիֆրակտրական թափանցելիությունը կլանումների բացակայության դեպքում: Լուսային ալիքի փուլային արագությունը: Լուսային ալիքի խմբակային արագությունը: Ռելեյի բանաձևը: 4. Լույսի կլանումը: Բուգերի օրենքը: Կլանող համասեռ միջավայրի դիֆրակտրական թափանցելիությունը: Նոսր միջավայրի բեկման ցուցիչը կլանման տիրույթի մոտակայքում: Նոսր միջավայրի բեկման ցուցիչը ռենտգենյան ճառագայթների համար: 5. Լույսի ցրումը: Լույսի ցրման օրենքը: Պոտոր միջավայրում ցրված լույսի ինտենսիվության կախումը դիտման ուղղությունից: Ռելեյի օրենքը:

§5. ԼՈՒՅՍԻ ԲԵՎԵՌԱՑՈՒՄԸ: ՌԵԼՅՍԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ ՕՊՏԻԿԱՑՈՒՄ.....172-179

1. Լույսի բևեռացումը: Լույսի բևեռացման աստիճանը: Ֆրենելի բանաձևերը: Անդրադարձման գործակիցը: Մայյուսի օրենքը: 2. Լույսի բևեռացումը երկբեկման ժամանակ: Սովորական և անսովոր լուսային ճառագայթներ: Կերրի էլեկտրասպինական երևույթը: Կոտոն-Մուտոնի մագնիսաօպտիկական երևույթը: Ֆոտոառաձգական երևույթ: Բևեռացման հարթության պտտումը: Բևեռացման հարթության մագնիսական պտտումը: 3. Շառժվոդ աղբյուրների օպտիկան: Դոպլերի երևույթը: 4. Վալիլով-Չերենկովի ճառագայթում:

§6. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅՑՈՒՄ: ԼՈՒՅՍԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԲՆՈՒՅԹԸ.....180-189

1. Ջերմային ճառագայթում: Էներգետիկ լուսատվություն: Արեգակնային հաստատուն: Մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը: Ճառագայթման սպեկտրալ խտությունը: Մարմնի կլանման ըն-

դունակությունը: Կիրխհոֆի օրենքը: Վինի բանաձևը: Ռելեյ-Ջինսի բանաձևը: Վինի շեղման օրենքը: Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը: Պլանկի բանաձևը: Սև ճառագայթման ճնշումը: Սև ճառագայթման ազատ էներգիան: Սև ճառագայթման էնտրոպիան: **2.** Ճառագայթման այլ եղանակներ: **3.** Լույսի քվանտային բնույթը: **4.** Լուսաէֆեկտի օրենքները: Այնշտայնի հավասարումը լուսաէֆեկտի համար: **5.** Ռենտգենյան ճառագայթներ: **6.** Քոմփթոնի երևույթը: **7.** Լազերային ճառագայթում: Լազերների գործողության սկզբունքը:

ԳԼՈՒԽ 5. ԱՏՈՄԻ ՖԻԶԻԿԱ

§1. ԱՏՈՄԻ ՄՈՂԵԼՆԵՐԸ: ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԱԼԻՔՍԱԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....190-199

1. Ատոմի մոդելները: Ատոմի Թոմսոնի մոդելը: Ատոմի Ռեզերֆորդի մոդելը: **2.** Լիցքավորված մասնիկների ցրումը ծանր ատոմների վրա: Մասնիկների ցրման անկյունն անշարժ միջուկների կուլոնյան դաշտում: Ռեզերֆորդի բանաձևը: **3.** Բորի կանխադրությունները: Ատոմների սպեկտրների օրինաչափությունները: Ատոմի էներգիաների թույլատրելի արժեքները: Ջրածնանման ատոմների ճառագայթած էներգիայի քվանտը: **4.** Մասնիկների ալիքային հատկությունները: *p* -իմպուլսով մասնիկի դե բրոյլան ալիքի երկարությունը: Հայզենբերգի անորոշությունների առնչությունները: Շրյոդինգերի ժամանակային հավասարումը: Շրյոդինգերի ստացիոնար հավասարումը: Պոտենցիալային արգելքի թափանցման գործակիցը: **5.** Էլեկտրոնի վիճակը ջրածնանման ատոմում: Էլեկտրոնի ուղեծրային իմպուլսի մոմենտը, դրա պրոյեկցիան տվյալ ուղղության վրա: Էլեկտրոնի սպինը, դրա պրոյեկցիան տվյալ ուղղության վրա: Էլեկտրոնի լրիվ մոմենտը: **6.** Ատոմի և էլեկտրոնի մագնիսական հատկությունները: Էլեկտրոնի ուղեծրային մագնիսական մոմենտը: Էլեկտրոնի սեփական մագնիսական մոմենտը: Էլեկտրոնի սեփական մագնիսական մոմենտի պրոյեկցիան: Ուղեծրային մագնիսահոլա-

կային (գիրումագնիսական) հաստատուն: Սպինային մագնիսահոլակային հաստատուն:

§2. ԱՏՈՄՆԵՐԻ ԵՎ ՍՈԼԵՎՈՒԼՆԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԱՍԿՈՊԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....199-208

1. Ատոմների սպեկտրադիտական հատկությունները: Ատոմների սպեկտրալ թերմերը: Ջրածնի ատոմի թերմերը: Ալկալիական ատոմների էներգիաների մակարդակները: Ալկալիական ատոմների թերմերի նշանակումները: Ալկալիական ատոմների սպեկտրալ սերիաները: 2. Ատոմի էլեկտրոնների կապի տեսակները: Նորմալ կամ Ռասել-Սաունդերսի կապ: Ատոմի գումարային ուղեծրային մոմենտը: Ատոմի գումարային սպինային մոմենտը: Ատոմի լրիվ իմպուլսի մոմենտը: Ատոմի մագնիսական մոմենտը: Ատոմների վիճակի սպեկտրադիտական նշանակումները: Ատոմի էլեկտրոնային շերտը: Ատոմի էլեկտրոնային թաղանթը: Պատվիի սկըզբունքը: 3. Ռենտգենյան սպեկտրներ: Ռենտգենյան մակարդակների էներգիան: Ռենտգենյան քվանտների էներգիան: Մոզլիի օրենքը: 4. Սպեկտրալ գծերի ճեղքումը: Սպեկտրների նուրբ կառուցվածքը: 5. Ջեմմանի նորմալ (պարզ) և անոմալ (բարդ) երևույթները: Մագնիսական դաշտում գտնվող կամայական ատոմի ստացած լրացուցիչ էներգիան: Պաշեն-Բակի երևույթը: Շտարկի երևույթը: 6. Մոլեկուլների հատկությունները: Մոլեկուլների տատանողական և պտտական էներգիաները: Մոլեկուլի լրիվ էներգիան: Քվանտային հարմոնիկ օսցիլյատորի միջին էներգիան:

ԳԼՈՒԽ 6. ՄԻՋՈՒԿԻ ՖԻԶԻԿԱ

§1. ՄԻՋՈՒԿԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆ ՈՒ ՉԱՓԵՐԸ.....209-222

1. Պրոտոնի և նեյտրոնի հայտնագործումը: Միջուկի կառուցվածքը: A զանգվածային թվով միջուկի շառավիղը, միջուկում նուկլոնների միջին հեռավորությունը: Միջուկի նուկլոնների կոնցենտրացիան և զանգվածի խտությունը: 2. Միջուկի զանգվածի պակասորդը: Պրոտոնի զանգվածի պակասորդը: Նեյտրոնի զանգվածի պակասորդը: 3. Միջուկի կապի էներգիան: Միջուկից մեկ նեյտրոն

կամ մեկ պրոտոն անջատելու համար անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան: Միջուկից բարդ մասնիկ անջատելու համար անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան: **4.** Միջուկի կապի էներգիայի կիսափորձնական բանաձևը (Վեյցգեկերի բանաձևը): **5.** Կայուն միջուկների կարգաթվի կախվածությունը զանգվածային թվից: **6.** Միջուկային փոխազդեցության բնութագրերը: Միջուկային փոխազդեցության կտրվածքը և ժամանակը: Միջուկային ուժերի գործողության շառավիղը և պոտենցիալային փոսի խորությունը: Հիմնարար փոխազդեցության ուժի գործողության շառավիղը: **7.** Միջուկի ուղեծրային և սպինային մեխանիկական ու մագնիսական մոմենտը: Միջուկի լրիվ մեխանիկական մոմենտը: Պրոտոնի ուղեծրային մագնիսական մոմենտը: Նուկլոնների սպինային մագնիսական մոմենտները: Միջուկի մագնիսական մոմենտը: **8.** Միջուկի էլեկտրական մոմենտները: **9.** Մասնիկների և միջուկների տարածական գույգությունը, դրա պահպանման օրենքը: **10.** Միջուկի թաղանթային մոդելը (միամասնիկային մոդել): Նույն տեսակի նուկլոնների թիվը ենթաթաղանթում: Միջուկի սպինի և գույգության կանոնները: **11.** Մասնիկների և միջուկների իզոսպինը: Նուկլոնի և միջուկի էլեկտրական լիցքի կապը իզոսպինի պրոյեկցիայի հետ: Հիմնական վիճակում գտնվող միջուկի իզոսպինը:

§2. ՄԻՋՈՒԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԿԵՐՊՈՒՄՆԵՐԸ: ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ

ՈՒԺԵՐ ԵՎ ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐ.....222-233

1. Ճառագայթաակտիվություն: Ճառագայթաակտիվ տրոհման հիմնական օրենքը. Ակտիվություն: Ճառագայթաակտիվ միջուկի կյանքի միջին տևողությունը և կիսատրոհման ժամանակը: Արհեստական Ճառագայթաակտիվություն: **2.** α -տրոհում: **3.** β -տրոհում: էլեկտրոնային զավթում: **4.** Միջուկների γ -ճառագայթում: **5.** Մյուսբաուերի էֆեկտը: **6.** էլեկտրոնների ներքին կոնվերսիա: **7.** Միջուկային (նուկլոն-նուկլոնային) ուժերի հիմնական հատկությունները: **8.** Միջուկային ռեակցիաներ: **9.** Ծանր միջուկների բաժանումը: Բաժանման պարամետրը: Միջուկների ինքնակամ բաժանումը: Միջուկների ստիպողական բաժանումը: **10.** Շղթայական ռեակցիա: Միներալական ռեակցիա:

ԳԼՈՒԽ 7. ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

§1. ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ.....234-241

1. Տարրական մասնիկների դասակարգումը և հատկությունները: Բոզոններ: Ֆերմիոններ: Կայուն տարրական մասնիկներ: Քվադրկայուն մասնիկներ: Հադրոններ: Մեզոններ: Բարիոններ: Ռեզոնանսներ: Հակամասնիկներ: 2. Ֆոտոնների դասակարգումը: Ֆոտոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտը: Ֆոտոնի ուղեծրային մոմենտը: Ֆոտոնի ներքին զույգությունը: Ֆոտոնի լրիվ զույգությունը: Էլեկտրական Ֆոտոնների (EJ -ֆոտոններ) լրիվ զույգությունը: Մագնիսական Ֆոտոնների (MJ-ֆոտոններ) լրիվ զույգությունը:

§2. ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆ - ՆԵՐԸ.....241-250

1. Տարրական մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը: Պահպանման օրենքները մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության դեպքում: Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության կրողները: 2. Տարրական մասնիկների ուժեղ փոխազդեցությունը: Ուժեղ փոխազդեցության բնութագրերը: Ուժեղ փոխազդեցության կրողները: Քվարկների և գլուոնների գույնը: Նականտ, Նիշիջիմի և Գելլ-Մանի բանաձևը: Պահպանման օրենքները մասնիկների ուժեղ փոխազդեցության դեպքում: 3. Տարրական մասնիկների թույլ փոխազդեցությունը: Թույլ փոխազդեցության բնութագրերը: Թույլ փոխազդեցության կրողները: Թույլ տրոհումների տեսակները: Ջոկման կանոններ թույլ տրոհման ռեակցիաներում: 4. Մասնիկներ բևեռացումները: Մասնիկի պարույրությունը: 5. Լիցքային համալուծություն: CP- ձևափոխություն: CPT- ձևափոխություն:

ՀԱՎԵԼՎԱԾ.....251-278

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ.....279

ԱՌԱՋԱԲԱՆ

Ձեռնարկը ընդգրկում է ֆիզիկայի ընդհանուր դասընթացի գրեթե բոլոր հարցերը, որոնք առհասարակ առկա են բուհական և ավագ դպրոցների (քոլեջների) ուսումնական ծրագրերում: Ձեռնարկում բերված գրեթե բոլոր բանաձևերն ունեն մեկնաբանություն ու բացատրություն: Ձեռնակի առանձնահատկություններից է այն հանգամանքը, որ կան ընդհանուր ֆիզիկայում ուսումնասիրվող գրեթե բոլոր օրենքների ձևակերպումներն ու մեկնաբանությունները, ֆիզիկական կարևորագույն երևույթների հակիրճ նկարագրությունը: Ելնելով այս հանգամանքից, վստահորեն կարելի պնդել, որ ձեռնարկն անպայման օգտակար է նաև ուսումնական նպատակներով: Ձեռնարկի առանձնահատկություններից մեկն էլ այն է, որ այն պարունակում է ատոմի միջուկի և տարրական մասնիկների հատկությունների բավական ընդարձակ ու մատչելի շարադրանք, ինչը հազվագյուտ է ընդհանուր ֆիզիկայի այլ տեղեկագրքերում:

Ձեռնարկը կարող են օգտագործել նաև ավագ դպրոցի (քոլեջի) աշակերտներն ու ուսուցիչները:

Հեղինակը շնորհակալություն է հայտնում ԵՊՀ Ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետի մի խումբ աշխատակիցներին ու ուսանողներին, որոնց ջանքերով ձեռնարկի վրիպակները հասցվել է նվազագույնի:

ԳԼՈՒԽ 1.

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

§1. ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

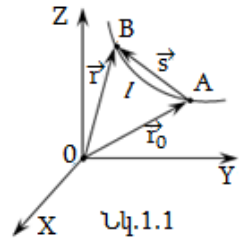
1. Նյութական կետի տեղափոխությունն ու ճանապարհ

• Տեղափոխությունը.

$$\vec{s} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \Delta \vec{r};$$

$$s_x = x - x_0 = \Delta x, \quad (1.1.1)$$

որտեղ $\vec{r}_0$ -ն և $\vec{r}$ -ը նյութական կետի սկզբնական (A) և վերջնական (B) դիրքերի շառավիղ-վեկտորներն են (Նկ.1.1): s_x -ը՝ տեղափոխության պրոյեցիան է OX առանցքի վրա, իսկ x_0 -ն և x -ը՝ սկզբնական և վերջնական դիրքերի կոորդինատները: Մյուս առանցքների վրա պրոյեկցիաները տրվում են համանման կերպով (x -ը փոխարինելով y -ով և z -ով):



• Հետագիծ.

Հետագիծ կոչվում է այն գիծը, որի բոլոր կետերում շարժվող նյութական կետը հաջորդաբար գտնվել է:

• l ճանապարհ.

Հետագծի այն l հատվածի երկարությունն է, որը գտնվում է A և B կետերի միջև:

• Արագություն.

Մարմնի կատարած տեղափոխությունը միավոր ժամանակում կոչվում է արագություն:

• Միջին արագություն.

Միավոր ժամանակում կատարված տեղափոխությունը միջինով հաշված՝

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{s}}{\Delta t}, \quad (1.1.2)$$

որտեղ $\Delta t = t - t_0$ -ն ժամանակի միջակայքն է, t_0 -ն՝ ժամանակի սկզբնական պահը (սովորաբար $t_0 = 0$, t -ն՝ ժամանակի վերջնական պահը): Արագության միավորը ՄՀ-ում 1մ/վ-ն է, իսկ միավորների գաուսյան համակարգում (ԳՀ)՝ 1սմ/վ-ը: 1մ/վ = 100սմ/վ:

• **Ակնթարթային արագություն.**

Ժամանակի տվյալ պահին կամ հետագծի տվյալ կետում արագությունը՝

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{s}}{dt}; \quad v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{ds_x}{dt}, \quad (1.1.3)$$

որտեղ v_x -ը արագության պրոյեկցիան է OX առանցքի վրա:

• **Միջին և ակնթարթային ճանապարհային արագություններ.**

$$\langle v_l \rangle = \frac{\Delta l}{\Delta t}; \quad v_l = \frac{dl}{dt}. \quad (1.1.4)$$

• **Հարաբերական արագություն.**

$$\vec{v}_{21} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1, \quad (1.1.5)$$

որտեղ $\vec{v}_{21}$ -ը 2 նյութական կետի արագությունն է 1 նյութական կետի նկատմամբ, իսկ $\vec{v}_2$ -ը և $\vec{v}_1$ -ը՝ 2 և 1 նյութական կետերի արագություններն են որևէ անշարժ համակարգի նկատմամբ:

2. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում

Այն շարժումը, որի ընթացքում մարմինը ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում կատարում է հավասար տեղափոխություններ, կոչվում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

• **Արագությունը.**

$$\vec{v} = \text{const}: \quad (1.1.6)$$

Միջին և ակնթարթային արագություններն այս դեպքում իրար հավասար են:

• **Տեղափոխությունը.**

$$\vec{s} = \vec{v}t; \quad s_x = v_x t: \quad (1.1.7)$$

• **Շառավիղ-վեկտորը և կոորդինատը.**

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t; \quad x = x_0 + v_x t: \quad (1.1.8)$$

• **Ճանապարհը.**

$$l = vt: \quad (1.1.9)$$

(1.1.7) - (1.1.9) բանաձևերը ճիշտ են $t_0 = 0$ -ի համար, հակառակ դեպքում դրանցում t -ն պետք է փոխարինել Δt -ով:

3. Փոփոխական շարժում: Արագացում և դրա բաղադրիչները

Այն շարժումը, որի ընթացքում մարմինը հավասար ժամանակամիջոցներում հավասար տեղափոխություններ չի կատարում, կոչվում է փոփոխական շարժում:

- **Արագացում.**

Մարմնի արագության փոփոխությունը միավոր ժամանակում, կոչվում է արագացում:

- **Միջին արագացում.**

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad (1.1.10)$$

Արագացման միավորը ՄՀ-ում 1մ/վ^2 է, իսկ միավորների ՔՀ-ում՝ 1սմ/վ^2 : $1\text{մ/վ}^2 = 100\text{սմ/վ}^2$:

- **Ակնթարթային արագացում.**

Ժամանակի տվյալ պահին կամ հետագծի տվյալ կետում արագացումը

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}; \quad a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad (1.1.11)$$

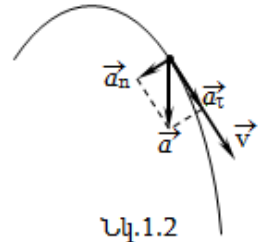
որտեղ a_x -ը արագացման պրոյեկցիան է OX առանցքի վրա:

- **Տանգենցիալ (շոշափող) արագացում.**

Հետագծի տվյալ կետում հետագծին տարած շոշափողով ուղղված արագացումը՝

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}: \quad (1.1.12)$$

a_τ - ն բնութագրում է արագության մոդուլի փոփոխման արագությունը, եթե v -ն նվազում է, ապա $\vec{a}_\tau \uparrow \downarrow \vec{v}$; եթե v -ն աճում է, ապա $\vec{a}_\tau \uparrow \uparrow \vec{v}$ (Նկ.1.2):



- **Նորմալ (կենտրոնաձիգ) արագացում.**

Հետագծի տվյալ կետում դեպի կորության կենտրոնն ուղղված արագացում՝

$$a_n = \frac{v^2}{R}: \quad (1.1.13)$$

a_n -ը բնութագրում է արագության ուղղության փոփոխման արագությունը: Այն ուղղահայաց է $\vec{v}$ -ին և $\vec{a}_\tau$ -ին, իսկ $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$: R -ը հետագծի տվյալ կետում կորության շառավիղն է:

4. Հավասարաչափ փոփոխական շարժում.

Հաստատուն արագացումով շարժմանն անվանում են հավասարաչափ փոփոխական շարժում:

• Արագացումը

$$\vec{a} = const: \quad (1.1.14)$$

• Արագությունը.

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t; \quad v_x = v_{0x} + a_x t, \quad (1.1.15)$$

որտեղ $\vec{v}_0$ -ն սկզբնական արագությունն է, իսկ v_{0x} -ը՝ դրա պրոյեկցիան OX առանցքի վրա:

• Տեղափոխությունը.

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}; \quad s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}: \quad (1.1.16)$$

• Շառավիղ-վեկտորը և կորորդինատը.

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}; \quad x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}: \quad (1.1.17)$$

Ուղղագիծ հավասարաչափ արագացող շարժում ($a > 0$)

• Արագացումը.

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau = const; \quad a_n = 0: \quad (1.1.18)$$

• Արագությունը.

$$\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{a}, \quad v = v_0 + at: \quad (1.1.19)$$

• Ճանապարհը.

$$l = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad l = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}; \quad l = \frac{v_0 + v}{2} t: \quad (1.1.20)$$

Ուղղագիծ հավասարաչափ դանդաղող շարժում ($a < 0$)

• Արագացումը.

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau = const; \quad a_n = 0: \quad (1.1.21)$$

• Արագությունը.

$$\vec{v} \uparrow \downarrow \vec{a}; \quad v = v_0 - at: \quad (1.1.22)$$

• Ճանապարհը.

$$l = v_0 t - \frac{at^2}{2}; \quad l = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}: \quad (1.1.23)$$

5. Ազատ անկում (մարմնի շարժումը միայն ծանրության ուժի ազդեցությամբ):

Ազատ անկումը հաստատուն արագացումով շարժման մասնավոր դեպք է:

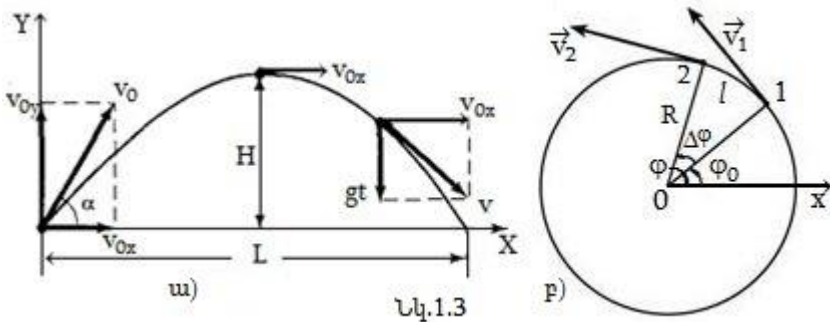
• Արագացումը.

$$\vec{a} = \vec{g}, \quad (1.1.24)$$

որտեղ $\vec{g}$ -ն ազատ անկման արագացումն է (դրա արժեքը կախված է դիտարկվող կետի աշխարհագրական լայնությունից և ծովի մակարդակից ունեցած բարձրությունից: Ծովի մակարդակի և 45° լայնության վրա $g = 9,8$ մ/վ², հասարակածի մոտ $g = 9,78$ մ/վ², բևեռում՝ $g = 9,832$ մ/վ²: Հաճախ վերցնում են $g = 10$ մ/վ² կլորացած արժեքը:

• **Հորիզոնի նկատմամբ α անկյան տակ նետած մարմնի շարժումը (օդի դիմադրությունն անտեսվում է)**

Այս շարժումը հանդիսանում է երկու շարժումների՝ հորիզոնական ուղղությամբ $v_{ox} = v_0 \cos \alpha$ արագությամբ հավասարաչափ և ուղղաձիգ ուղղությամբ $v_{oy} = v_0 \sin \alpha$ սկզբնական արագությամբ նետված շարժումների գումար (Նկ.1.3ա):



• **Թռիչքի հեռահասությունը, բարձրությունը և տևողությունը.**

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}; \quad H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}; \quad \tau = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}, \quad (1.1.25)$$

(1.1.25) բանաձևերը ճիշտ են, երբ մարմնի նետման և անկման կետերը գտնվում են միևնույն մակարդակի վրա: Բացի այդ, ենթադրվում է, որ L -ը և H -ը շատ փոքր են Երկրի շառավղից:

$\alpha = 90^\circ$ -ի դեպքում կունենանք ուղղաձիգ դեպի վեր նետած մարմնի շարժման բնութագրերը՝ $L = 0$; $H = \frac{v_0^2}{2g}$; $\tau = \frac{2 v_0}{g}$:

• **Հետագծի հավասարումը.**

$$y = y_0 + xtg\alpha - x^2 \left(\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \right): \quad (1.1.26)$$

6. Հավասարաչափ շարժում շրջանագծով

Նյութական կետը մոդուլով հաստատուն արագությամբ շարժվում է շրջանագծով (Նկ.1.3բ):

• Պտտման պարբերությունն ու հաճախությունը.

Մեկ պտույտի տևողությունը կոչվում է պտտման պարբերություն, իսկ պտույտների թիվը միավոր ժամանակամիջոցում՝ պտտման հաճախություն.

$$T = \frac{t}{N}; \quad \nu = \frac{N}{t}; \quad T \cdot \nu = 1, \quad (1.1.27)$$

որտեղ $N = \frac{\varphi - \varphi_0}{2\pi} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{l}{2\pi R}$ պտույտների թիվն է t ժամանակում, $\Delta\varphi$ -ն t ժամանակում պտտվող նյութական կետը շրջանագծի կենտրոնին միացնող R շառավղի պտտման անկյունն է, իսկ l -ը՝ անցած ճանապարհը (Նկ.1.3բ):

Պարբերության միավորը 1վ-ն է, իսկ հաճախությանը՝ $1/\text{վ} = \text{վ}^{-1}$:

• Անկյունային և գծային արագությունները.

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \text{const}; \quad \nu = \frac{l}{t} = \text{const}: \quad (1.1.28)$$

Անկյունային արագության միավորը 1ռադ/վ-ի:

• Պտտման անկյունն ու ճանապարհը.

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t; \quad l = \nu t: \quad (1.1.29)$$

Հաճախ համարում են $\varphi_0 = 0$:

• Արագացումը.

$$a = a_n = \text{const}; \quad a_\tau = 0: \quad (1.1.30)$$

• Գծային և անկյունային բնութագրերի կապը.

$$l = \varphi R; \quad \nu = \omega R; \quad a_n = \omega \nu = \omega^2 R = \nu^2 / R: \quad (1.1.31)$$

7. Շրջանագծային շարժման ընդհանուր դեպքը

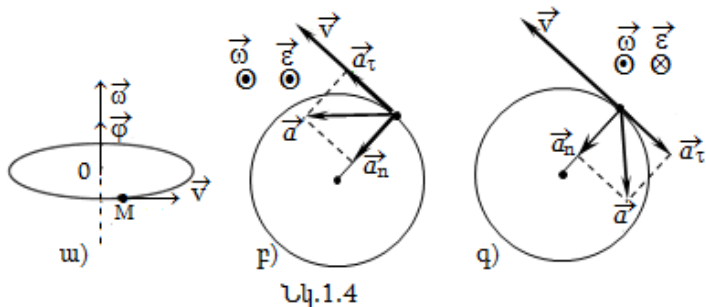
Պտտման $\vec{\varphi}$ անկյունը ներկայացվում է վեկտորով, որն ուղղված է պտտման առանցքով այնպես, որ կետի պտտման ուղղության հետ կապված լինի աջ պտուտակի կանոնով (Նկ.1.4ա):

• Անկյունային արագությունը և արագացումը.

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}; \quad \vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \quad (1.1.32)$$

որտեղ $\vec{\varphi}$ -ն պտույտի անկյունն է, $\vec{\omega}$ -ն՝ անկյունային արագությունը, $\vec{\varepsilon}$ -ը՝ անկյունային արագացումը: $\vec{\omega}$ վեկտորի ուղղությունը

նորից որոշվում է աջ պտուտակի կանոնով (Նկ.1.4բ-ում և գ-ում $\vec{\omega}$ և $\vec{\phi}$ վեկտորներն ուղղված են դեպի մեզ): $\vec{\varepsilon}$ -ի ուղղությունը որոշում են հետևյալ կերպ՝ $\vec{\varepsilon} \uparrow \vec{\omega}$, եթե ω -ն մոդուլով մեծանում է, և $\vec{\varepsilon} \uparrow \vec{\omega}$, եթե ω -ն մոդուլով նվազում է: Անկյունային արագացման միավորը՝ 1ռադ/վ^2 :



Նկ.1.4

• **Գծային և անկյունային բնութագրերի կապը.**

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}; \quad \vec{a}_\tau = \vec{\varepsilon} \times \vec{R}; \quad \vec{a}_n = \vec{\omega} \times \vec{v} = -\omega^2 \vec{R}, \quad (1.1.33)$$

որտեղ $\vec{R}$ -ը շրջանագծի կենտրոնը նյութական կետին միացնող շառավիղ-վեկտորն է:

8. Շրջանագծով հավասարաչափ արագացող և դանդաղող շարժումներ

• **Արագացումը.**

$$\vec{\varepsilon} = \text{const}; \quad a_\tau = \text{const}: \quad (1.1.34)$$

• **Անկյունային արագությունը.**

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon}t; \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t, \quad (1.1.35)$$

որտեղ ω_0 -ն սկզբնական անկյունային արագությունն է: (1.1.35)-ում «+» նշանը վերաբերում է արագացող, իսկ «-» նշանը՝ դանդաղող շարժմանը:

• **Պտտման անկյունը.**

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}: \quad (1.1.36)$$

Այստեղ վերցված է $\varphi_0 = 0$, իսկ նշանի ընտրությունը կատարվում է նախորդի նման:

§2. ՆՅՈՒԹԱԿԱՆ ԿԵՏԻ ԵՎ ՊԻՆԴ ՄԱՐՄՆԻ ՀԱՍՏՆԹԱՑ ՇԱՐԺՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Նյութոնի առաջին օրենքը.

Գոյություն ունեն հաշվարկման այնպիսի համակարգեր, որոնց նկատմամբ մարմինը գտնվում է դադարի վիճակում կամ կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում, եթե դրա վրա այլ մարմիններ չեն ազդում կամ դրանց ազդեցություններն իրար համակշռում են:

Այդպիսի մարմինն համարում են ազատ մարմին, իսկ հաշվարկման համակարգին՝ իներցիալ համակարգ:

Փաստորեն Նյութոնի առաջին օրենքը պնդում է հաշվարկման իներցիալ համակարգերի գոյությունը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ այդ համակարգերը եւս պետք է գտնվեն դադարի վիճակում կամ կատարեն ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

Մարմնի այն հատկությունը, որի շնորհիվ այն պահպանում է իր դադարի կամ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժան վիճակը, կոչվում է իներտություն, իսկ այդ շարժումը՝ իներցիայով շարժում:

2. Մարմնի զանգվածը և խտությունը.

Մարմնի իներտության չափը բնութագրում են մի սկալյար մեծությամբ, որին անվանում են զանգված և նշանակում m տառով:

Զանգվածի միավորը միավորների ՄՀ-ում 1կգ-ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1գ-ը: 1կգ = 1000գ:

Մարմնի միավոր ծավալին բաժին ընկնող զանգվածին անվանում են խտություն և նշանակում են ρ տառով: Համասեռ մարմնի դեպքում $\rho = \frac{m}{V} = const$, իսկ անհամասեռ մարմնի դեպքում

$$\rho(x, y, z) = \frac{dm}{dV}: \quad (1.2.1)$$

Խտության միավորը ՄՀ-ում 1կգ/մ³-ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1գ/սմ³-ը: 1կգ/մ³ = 10⁻³ գ/սմ³:

3. Նյութոնի երկրորդ օրենքը.

Երբ հաշվարկման իներցիալ համակարգում գտնվող մարմնի վրա այլ մարմինների ազդեցություններն իրար չեն համակշռում, ապա դրանց ազդեցության չափը բնութագրող մեծությունը՝ $\vec{F}$ ուժը գրոյից տարբեր է, և մարմինը կշարժվի արագացումով:

Նյութոնի երկրորդ օրենքը պնդում է, որ

$$m\vec{a} = \vec{F}, \quad (1.2.2)$$

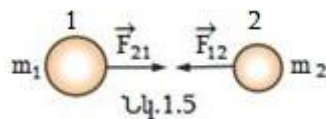
որտեղ m -ը մարմնի զանգվածն է, $\vec{a}$ -ն՝ արագացումը, $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ -ը՝ մարմնի վրա ազդող ուժերի համագործը: (1.2.2)-ից հետևում է, որ ուժի միավորը ՄՀ-ում $1\text{կգ}\cdot\text{մ}/\text{վ}^2$ -ն է, որին անվանում են Նյուտոն՝ $1\text{Ն} = 1\text{կգ}\cdot\text{մ}/\text{վ}^2$, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1դինը , $1\text{դինը} = 1\text{գ}\cdot\text{սմ}/\text{վ}^2$: $1\text{Ն} = 10^5\text{դին}$:

• Նյուտոնի երրորդ օրենքը.

Երբ 1 մարմնի վրա 2 մարմնի կողմից ազդում է F_{21} ուժ, ապա դրա հետևանքով 2 մարմնի վրա 1 մարմնի կողմից կազդի նույն բնույթի F_{12} ուժ (Նկ.1.5): Նյուտոնի երրորդ օրենքը պնդում է, որ

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad F_{12} = F_{21}, \quad (1.2.3)$$

$\vec{F}_{21}$ և $\vec{F}_{12}$ ուժերին անվանում են ազդող և հակազդող ուժեր, դրանք գտնվում են նույն գծի վրա և իրար չեն հավասարակշռում, քանի որ կիրարկված են տարբեր մարմինների վրա:



4. Մեխանիկայում հանդիպող ուժերը

• Օսնորության ուժ.

$$\vec{F} = m\vec{g}, \quad (1.2.4)$$

որտեղ $\vec{g}$ -ն ազատ անկման արագացումն է:

• Առաձգականության ուժ.

Առաձգական դեֆորմացիայի դեպքում մարմնի ներսում առաջանում են ուժեր, որոնք մարմնի մասնիկներին վերադարձնում են իրենց սկզբնական դիրքերը (դեֆորմացիան վերացնում են), երբ վերացվում է դեֆորմացիա առաջացնող արտաքին ազդեցությունը: Այս ուժերին անվանում են առաձգականության ուժեր: Այն ուղիղ համեմատական է մարմնի մասնիկների $\vec{s}$ տեղափոխությանը և ուղղված է դրան հակառակ՝

$$\vec{F} = -k\vec{s}, \quad F_x = -kx, \quad (1.2.5)$$

որտեղ k -ն մարմնի առաձգականության (կոշտության) գործակիցն է, $\vec{s}$ -ը՝ հավասարակշռության դիրքից մասնիկի տեղափոխությունը, F_x -ը՝ առաձգականության ուժի պրոյեկցիան է OX առանցքի վրա, x -ը՝ կետի տեղափոխությունն OX առանցքի երկայնքով: (1.2.5) բանաձևին անվանում են Հուկի օրենք: Առաձգականության ուժ են հենարանի հակազդման N ուժը, թելի ձգման T ուժը, մարմնի P կշիռը: Նշված բոլոր ուժերն էլեկտրամագնիսական բնույթի են: k -ի միա-

վորը ՄՀ-ում 1Ն/մ -ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1դին/սմ : $1\text{Ն/մ} = 10^3\text{դին/սմ}$:

• **Սահքի շփման ուժի մոդուլը.**

Այն շփման ուժը, որն առաջանում է հավող մարմինների մակերևույթների սահմանին, նրանց հարաբերական շարժման դեպքում, կոչվում է սահքի շփման ուժ.

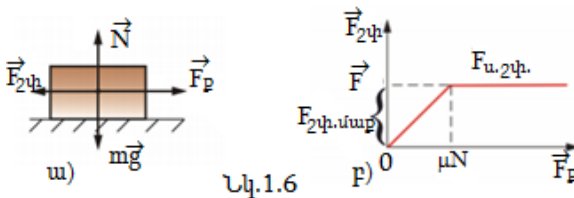
$$F_u = \mu N, \quad (1.2.6)$$

որտեղ μ -ն սահքի շփման գործակիցն է, N -ը՝ հենարանի հակազդման ուժի մոդուլը (Նկ.1.6):

• **Դադարի շփման ուժը.**

Այն շփման ուժը, որն առաջանում է հավող մարմինների մակերևույթների սահմանին, նրանց հարաբերական դադարի դեպքում, կոչվում է դադարի շփման ուժ: Դադարի շփման $\vec{F}_{2\psi}$ ուժի մոդուլը հավասար է մարմնի վրա ազդող ուժի այն $\vec{F}_p$ բաղադրիչի մոդուլին, որը ձգտում է մարմնին սահեցնել, սակայն բավարար չէ դրա համար ($F_p \leq \mu N$, Նկ.1.6ա).

$$\vec{F}_p = -\vec{F}_{2\psi}, \quad (1.2.7)$$



Դադարի շփման ուժի առավելագույն արժեքը շատ մոտ է սահքի շփման ուժի արժեքին և որոշվում է (1.2.6) բանաձևով (Նկ.1.6բ):

Շփման ուժերը էլեկտրամագնիսական բնույթի ուժեր են:

• **Գլորման շփման ուժը.**

$$F_{gl} = \frac{\mu_{gl} N}{R},$$

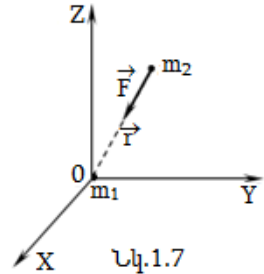
որտեղ μ_{gl} -ն գլորման շփման գործակիցն է, իսկ R -ը գլորվող մարմնի (գլանի, գնդի) շառավիղը: Սովորաբար $\mu_{gl} \ll \mu_u$:

5. Տիեզերական ձգողության օրենքը

Ցանկացած երկու նյութական կետ իրար ձգում են այնպիսի ուժով, որի մոդուլն ուղիղ համեմատական է դրանց զանգվածների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական դրանց միջև եղած հեռավորության քառակուսուն՝

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r}; \quad F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1.2.8)$$

որտեղ G -ն գրավիտացիոն հաստատունն է՝ $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Ն} \cdot \text{մ}^2 / \text{կգ}^2$, $\vec{F}$ -ը՝ կոորդինատների սկզբնակետում գտնվող m_1 զանգվածով նյութական կետի կողմից՝ $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորով կետում գտնվող m_2 զանգվածով նյութական կետի վրա ազդող ուժը (Նկ.1.7), r -ը՝ նյութական կետերի միջև եղած հեռավորությունը: Օրենքը ճիշտ է նաև համասեռ գնդերի և այն անհամասեռ գնդերի համար, որոնցում զանգվածի խտությունը կախված է միայն գնդի կենտրոնից ունեցած հեռավորությունից: Այս դեպքում r -ը գնդերի կենտրոնների միջև եղած հեռավորությունն է:



6. Ազատ անկման արագացումը

• Ազատ անկման արագացումը Երկրի մակերևույթից h բարձրության վրա (առանց հաշվի առնելու Երկրի պտույտն իր սեփական առանցքի շուրջը).

$$g = \frac{F}{m} = \frac{G \frac{m M_E}{(R_E + h)^2}}{m} = G \frac{M_E}{(R_E + h)^2}, \quad (1.2.9)$$

որտեղ M_E -ը Երկրի զանգվածն է, իսկ $R_E \approx 64 \cdot 10^5 \text{ մ}$ ՝ Երկրի շառավիղը:

• Ազատ անկման արագացումը Երկրի մակերևույթի մոտակայքում ($h \ll R_E$).

$$g = G \frac{M_E}{R_E^2} \approx 9,8 \text{ մ/վ}^2:$$

• Ազատ անկման արագացումը որևէ մոլորակի մակերևույթի մոտակայքում.

$$g_M = G \frac{M_M}{R_M^2}:$$

7. Տիեզերական արագությունները

- **Առաջին տիեզերական արագությունը.**

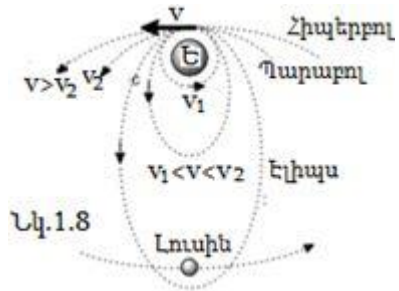
$$v_1 = \sqrt{gR_{\text{Ե}}} \approx 7900 \text{ մ/վ:}$$

Այս արագության դեպքում մարմինը $h \ll R_{\text{Ե}}$ բարձրության վրա Երկրի շուրջը կատարվի շրջանագծով (Նկ.1.8):

- **Երկրորդ տիեզերական արագությունը.**

$$v_2 = \sqrt{2gR_{\text{Ե}}} \approx 11200 \text{ մ/վ:}$$

Այս արագության դեպքում մարմինը հաղթահարում է Երկրի ձգողության ուժը և դառնում է Արեգակի արհեստական արբանյակ: Հետագիծը պարաբոլ է:



- **Երրորդ տիեզերական արագությունը.**

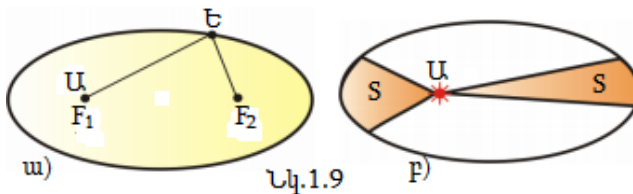
$$v_3 = 16700 \text{ մ/վ:}$$

Այս արագության դեպքում մարմինը հաղթահարում է Արեգակի ձգողության ուժը և լքում է արեգակնային համակարգը:

8. Կեպլերի օրենքները.

- **Կեպլերի առաջին օրենքը.**

Երկիրը (Արեգակնային համակարգի մոլորակները) Արեգակի շուրջը պտտվում է էլիպսաձև հետագծով, որի կիզակետերից մեկում գտնվում է Արեգակը (Նկ.1.9ա):



- **Կեպլերի երկրորդ օրենքը.**

Մոլորակների շառավիղ-վեկտորները հավասար ժամանակներում գծում են հավասար մակերեսներ (Նկ.1.9բ):

$$\frac{dS}{dt} = \text{const:}$$

- **Կեպլերի երրորդ օրենքը.**

Մոլորակների պտտման պարբերության քառակուսին համեմատական է ուղեծրի մեծ կիսաառանցքների խորանարդին.

$$T^2 \sim R^3 \quad \text{կամ} \quad \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3},$$

որտեղ T -ն մոլորակի ուղեծրով պտտվելու պարբերությունն է, իսկ R -ը՝ ուղեծրի մեծ կիսաառանցքի երկարությունը:

9. Հուկի օրենքը

- **Հուկի օրենքը երկայնական դեֆորմացիայի դեպքում.**

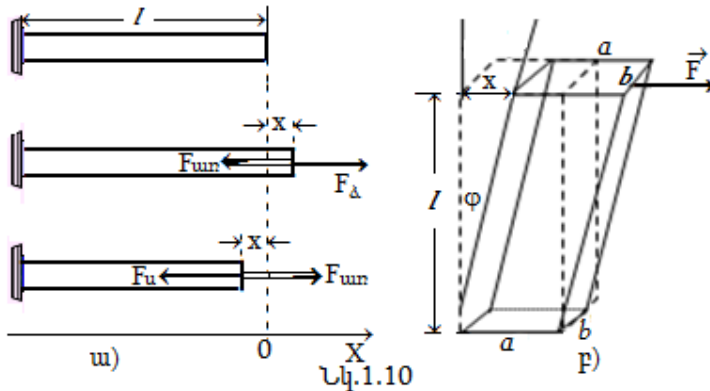
$$\sigma = \varepsilon E, \quad (1.2.10)$$

որտեղ $\sigma = F/S$ -ը կոչվում է մեխանիկական լարում, դրա միավորը ՄՀ-ում $1 \text{ Ն/մ}^2 = 1 \text{ Պա}$, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1 դին/սմ^2 : $1 \text{ Ն/մ}^2 = 10 \text{ դին/սմ}^2$: $F = F_d = F_u = F_{\text{ստ}}$ -ը՝ առաձգականության ուժն է, S -ը՝ ձողի լայնական հատույթի մակերեսը, $\varepsilon = x/l$ -ն՝ հարաբերական երկարացումը, l -ը ձողի սկզբնական երկարությունը (Նկ.1.10ա), իսկ E -ն՝ Յունգի մոդուլը, դրա միավորը 1 Ն/մ^2 -ն է:

- **Հուկի օրենքը սահքի դեֆորմացիայի դեպքում.**

$$\sigma_\tau = G \frac{x}{l} = G\varphi, \quad (1.2.11)$$

որտեղ G հաստատունը կոչվում է սահքի մոդուլ, $\sigma_\tau = \frac{F}{ab}$ -ն կոչվում



է տանգենցիալ լարում, φ -ն՝ սահքի անկյուն (Նկ.1.10բ): (1.2.10) և (1.2.11) բանաձևերը ճիշտ են առաձգական դեֆորմացիայի դեպքում (այս դեպքում φ -ն փոքր է՝ $\text{tg}\varphi \approx \varphi$):

• **Համասեռ ձողի կոշտությունը.**

$$k = E \frac{S}{l}, \quad (1.2.12)$$

որտեղ S -ը ձողի լայնական հատույթի մակերեսն է, l -ը՝ ձողի երկարությունը, E -ն՝ Յունգի մոդուլը:

10. Իներցիոն ուժեր

Սա հաշվարկման ոչ իներցիալ համակարգում գտնվող մարմնի վրա ազդող ուժ է, որը պայմանավորված չէ մեկ ուրիշ մարմնի հետ փոխազդեցությամբ:

• **Համընթաց իներցիոն ուժ.**

$$\vec{F} = -m\vec{a}_0, \quad (1.2.13)$$

որտեղ $\vec{a}_0$ -ն ոչ իներցիալ հաշվարկման համակարգի համընթաց շարժման արագացումն է հաշվարկման իներցիալ համակարգի նկատմամբ:

• **Կենտրոնախույս իներցիոն ուժ.**

$$\vec{F} = m\omega^2\vec{r}, \quad (1.2.14)$$

որտեղ ω -ն ոչ իներցիալ հաշվարկման համակարգի պտտման անկյունային արագությունն է, $\vec{r}$ -ը՝ նյութական կետին պտտման առանցքից տարած ուղղահայաց շառավիղ-վեկտորը:

• **Կորիոլիսյան իներցիոն ուժ.**

$$\vec{F} = 2m\vec{v}' \times \vec{\omega}, \quad (1.2.15)$$

որտեղ $\vec{v}'$ -ը նյութական կետի արագությունն է ոչ իներցիալ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ: Մարմնի վրա իներցիոն ուժեր ազդում են միայն հաշվարկման ոչ իներցիալ համակարգերում և պայմանավորված են դրանց առանձնահատկություններով: Իներցիոն ուժերը այլ մարմինների ազդեցություն չեն, ինչպես իրական ուժերը:

§3. ՊԱՀՊԱՆՄԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ ՄԵՆԱՆԻԿԱՅՈՒՄ

Հիմնական հասկացությունները և բանաձևերը

1. Իմպուլս

Մարմնի զանգվածի և արագության արտադրյալը կոչվում է մարմնի իմպուլս:

• **Մարմնի իմպուլսը.**

$$\vec{p} = m\vec{v}: \quad (1.3.1)$$

Իմպուլսի միավորը ՄՀ-ում 1կգ·մ/վ, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1գ·սմ/վ: 1կգ·մ/վ = 10⁵ գ·սմ/վ :

• **Մարմինների համակարգի իմպուլսը.**

$$\vec{p} = \sum_i m_i \vec{v}_i = \sum_i \vec{p}_i, \quad (1.3.2)$$

որտեղ m_i -ն՝ համակարգի i -րդ մարմնի զանգվածն է, $\vec{v}_i$ -ն՝ դրա արագությունը:

2. Ուժի իմպուլսը

Ուժի իմպուլս կոչվում է ուժի և իր ազդման տևողության արտադրյալը:

• **Հաստատուն ուժի իմպուլսը.**

$$\vec{I} = \vec{F}t, \quad (1.3.3)$$

որտեղ t -ն ուժի ազդման տևողությունն է: Ուժի իմպուլսի միավորը ՄՀ-ում 1Նվ: 1Նվ=10⁵ դինվ:

• **Փոփոխական ուժի իմպուլսը.**

$$\vec{I} = \int_0^t \vec{F} dt: \quad (1.3.4)$$

• **Նյութական կետի իմպուլսի և նրա վրա ազդող ուժի կապը.**

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}; \quad \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int_0^t \vec{F} dt: \quad (1.3.5)$$

(1.3.5) բանաձևերը կարելի է կիրառել ոչ միայն իներցիալ, այլ նաև ոչ իներցիալ հաշվարկման համակարգերում, եթե հաշվի առնվի իներցիոն ուժերը:

3. Իմպուլսի պահպանման օրենքը

Փակ համակարգ կազմող մարմինների իմպուլսների վեկտորական գումարը մնում է հաստատուն այդ համակարգի մարմինների ցանկացած փոխազդեցության դեպքում.

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = const, \quad (1.3.6)$$

որտեղ $\vec{p}_i$ -ն i -րդ մարմնի իմպուլսն է: Փակ համակարգ կոչվում է մարմինների այնպիսի համախումբը, որոնց վրա արտաքին ուժեր չեն ազդում (կամ այդ ուժերն իրար համակշռում են): Խնդիրներ լուծելիս առավել հարմար է գրել $\vec{p}_1 = \vec{p}_2$, որտեղ $\vec{p}_1$ և $\vec{p}_2$ -ը փակ համակարգ կազմող մարմինների ընդհանուր իմպուլսներն են ժամանակի t_1 և t_2 պահերին: (1.3.6) օրենքը ճիշտ է միայն հաշվարկման իներցիալ համակարգերում: Իմպուլսի պահպանման օրենքը կարելի է կիրառել նաև ոչ փակ համակարգերի համար, եթե տեղի ունի հետևյալ պայմաններից մեկը՝ **ա)** համակարգում ընթացող պրոցեսն այնքան կարճատև է, որ արտաքին ուժերը չեն հասցնում նկատե-

լիորեն փոխել համակարգի իմպուլսը: **p)** արտաքին ուժերի համագործակցության որևէ առանցքի վրա հավասար է զրոյի: Այս դեպքում պահպանվում է իմպուլսի պրոյեկցիան այդ առանցքի վրա ($p_{1x} = p_{2x}$), թեկուզ համակարգի իմպուլսը չի պահպանվի:

Իմպուլսի պահպանման օրենքը հանդիսանում է տարածության համասեռության հետևանք, ինչը նշանակում է, որ փակ համակարգի հատկությունները կախված չեն հաշվարկման իներցիալ համակարգի սկզբնականի ընտրությունից:

4. Չանգվածների կենտրոն և դրա հետ կապված համակարգը

• Չանգվածների կենտրոնի (իներցիայի կենտրոնի) շառավիղ-վեկտորը և կոորդինատները.

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}, \quad x_c = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}, \quad y_c = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}, \quad z_c = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}, \quad (1.3.7)$$

որտեղ x_i, y_i, z_i -ն՝ նյութական կետերի կոորդինատներն են: Ծանրության ուժի համասեռ դաշտում զանգվածների կենտրոնը և ծանրության կենտրոնը համընկնում են:

• Չանգվածների կենտրոնի արագությունը.

$$\vec{v}_c = \frac{\sum_i m_i \vec{v}_i}{\sum_i m_i} = \frac{\vec{p}}{m}, \quad (1.3.8)$$

որտեղ $\vec{p}$ -ն նյութական կետերի համակարգի իմպուլսն է, m -ը՝ դրա զանգվածը: (1.3.8) -ից հետևում է, որ հաշվարկման իներցիալ համակարգերի նկատմամբ նյութական կետերի փակ համակարգի զանգվածների կենտրոնը կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

• Չանգվածների կենտրոնի շարժման դինամիկական հավասարումը.

$$m \frac{d\vec{v}_c}{dt} = \vec{F}, \quad (1.3.9)$$

որտեղ $\vec{F}$ -ը համակարգի վրա ազդող արտաքին ուժերի վեկտորական գումարն է:

• Չանգվածների կենտրոնի համակարգը (ԶԿՀ)-ը՝ հաշվարկման համակարգ է, որը կապված է նյութական կետերի համակարգի զանգվածների կենտրոնի հետ: (ԶԿՀ)-ում զանգվածների կենտրոնը գտնվում է դադարի վիճակում և նյութական կետերի համակարգի իմպուլսը՝ $\vec{p} = 0$: Փակ համակարգի համար ԶԿՀ-ը հանդիսանում

է հաշվարկման իներցիալ համակարգ:

5. Ռեակտիվ շարժում

Ռեակտիվ կոչվում է մարմնի այն շարժումը, որը պայմանավորված է մարմնի մի մասի ինչ-որ հարաբերական արագությամբ անջատման (միացման) հետևանքով: Ռեակտիվ շարժման հիմքում ընկած է երկու մարմինների փոխազդեցությունը, որոնք սկզբում մի ամբողջություն են կազմում և ապա, փոխազդեցության հետևանքով ձեռք են բերում մոդուլով հավասար և հակադիր ուղղված իմպուլսներ:

• Ռեակտիվ ուժ.

$$\vec{F}_r = \mu \vec{u}, \quad (1.3.10)$$

որտեղ $\mu = \frac{dm}{dt}$ -ն զանգվածի փոփոխությունն է միավոր ժամանակում, $\vec{u}$ -ն՝ տվյալ մարմնի նկատմամբ անջատվող (կամ միացող) նյութի արագությունն է: Եթե նյութը անջատվում է մարմնից, օրինակ գազային շիթը, ապա $\mu < 0$, և հետևաբար $\vec{F} \uparrow \vec{u}$:

• Մեշչերսկու հավասարումը.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{u} \frac{dm}{dt} + \vec{F} = \vec{F}_n + \vec{F},$$

որտեղ $\vec{F}$ -ը մարմնի վրա ազդող արտաքին ուժերի վեկտորական գումարն է:

• Ցիակլովսկու բանաձևը.

$$v - v_0 = uln \frac{m_0}{m}, \quad (1.3.11)$$

որտեղ m_0 -ը և v_0 -ն՝ մարմնի սկզբնական զանգվածն ու արագությունն են, իսկ m -ը, v -ն՝ մարմնի զանգվածը և արագությունը ժամանակի հաջորդ կամայական պահին:

6. Աշխատանք և հզորություն

• Կամայական հետագծով շարժվող մարմնի վրա ազդող հաստատուն $\vec{F}$ ուժի կատարած աշխատանք $\vec{s}$ տեղափոխության վրա կոչվում է ուժի և տեղափոխության սկալյար արտադրյալը՝

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs \cos \alpha: \quad (1.3.12)$$

որտեղ F -ը ուժի մոդուլն է, s -ը՝ ուժի կիրառման կետի տեղափոխության մոդուլը, α -ն՝ ուժի և տեղափոխության վեկտորների կազմած անկյունը: Աշխատանքի միավորը ՄՀ-ում 1ջոուլն է՝ 1Ջ=1Ջմ, իսկ

միավորների ԳՀ-ում՝ 1էրգը, 1էրգ = 1դինս: $1\Omega=10^7$ էրգ:

• **Կամայական ուժի աշխատանքը՝**

$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l}, \quad (1.3.13)$$

որտեղ ինտեգրումը կատարվում է սկզբնական 1 կետը վերջնական 2 կետին միացնող կամայական գծով:

• **Ուժի միջին հզորությունը.**

Ուժի հզորություն կոչվում է ուժի կատարած աշխատանքը միավոր ժամանակամիջոցում:

$$\langle N \rangle = \frac{A}{t}, \quad (1.3.14)$$

որտեղ t -ն տվյալ ուժի կողմից A աշխատանքը կատարելու ժամանակն է: Հզորության միավորը ՄՀ-ում 1վատն է՝ $1\text{Վտ}=1\Omega/\text{վ}$, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1էրգ/վ: $1\text{Վտ}=10^7$ էրգ /վ:

• **Ուժի ակնթարթային հզորությունը՝**

$$N = \frac{dA}{dt} = Fv \cos \alpha = \vec{F} \cdot \vec{v}, \quad (1.3.15)$$

որտեղ α -ն ուժի և արագության վեկտորների կազմած անկյունն է:

• **Օգտակար գործողության գործակից (ՕԳԳ)՝**

$$\eta = \frac{A_{og}}{A_L} = N_{og}/N_L, \quad (1.3.16)$$

որտեղ A_{og} և A_L -ն օգտակար և լրիվ աշխատանքներն են, N_{og} և N_L -ը՝ օգտակար և լրիվ հզորությունները:

7. Կինետիկ էներգիա

Մարմնի շարժումով պայմանավորված էներգիային անվանում են կինետիկ էներգիա.

$$W_k = \frac{mv^2}{2}: \quad (1.3.17)$$

8. Պոտենցիալ էներգիա

Մարմնի կամ մարմնի մասերի փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիային անվանում են պոտենցիալ էներգիա:

• **Ծանրության ուժի համասեռ դաշտում գտնվող նյութական կետի պոտենցիալ էներգիան՝**

$$W_y = mgh, \quad (1.3.18)$$

որտեղ h -ը նյութական կետի ունեցած բարձրությունն է այն մակարդակից, որը համարվում է պոտենցիալ էներգիայի զրոյական մակարդակ:

• **Երկու նյութական կետերի գրավիտացիոն փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան՝**

$$W_{uy} = -G \frac{m_1 m_2}{r}, \quad (1.3.19)$$

որտեղ m_1 -ը և m_2 -ը նյութական կետերի զանգվածներն են, r -ը՝ դրանց միջև եղած հեռավորությունը: (1.3.19) բանաձևը ճիշտ է նաև համասեռ գնդերի համար:

9. Առաձգականորեն սեղմված կամ ձգած ձողի պոտենցիալ էներգիան՝

$$W_{uy} = \frac{kx^2}{2} = \frac{E\varepsilon^2}{2}V, \quad (1.3.20)$$

որտեղ k -ն կոշտությունն (առաձգականության գործակիցն) է, x -ը՝ դեֆորմացիայի մեծությունը, E -ն Յունգի մոդուլը, ε -ը՝ հարաբերական դեֆորմացիան, V -ն՝ ձողի ծավալը:

• Նյութական կետի վրա ազդող ուժի և նրա պոտենցիալ էներգիայի կապը՝

$$F_x = -\frac{\partial W}{\partial x}; \quad F_y = -\frac{\partial W}{\partial y}; \quad F_z = -\frac{\partial W}{\partial z}; \quad \vec{F} = -gradW, \quad (1.3.21)$$

որտեղ $gradW$ -ն պոտենցիալ էներգիայի գրադիենտն է: (1.3.21) բանաձևերը ճիշտ են կոնսերվատիվ (պոտենցիալային) ուժերի համար, այնպիսի ուժերի՝ որոնց աշխատանքը կախված չէ սկզբնական կետը վերջնականին միացնող հետագծի ձևից: Հետևաբար կոնսերվատիվ ուժերի աշխատանքը փակ հետագծով հավասար է զրոյի: Կոնսերվատիվ ուժերի օրինակ են հանդիսանում գրավիտացիոն և առաձգականության ուժերը:

10. Գրավիտացիոն դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը.

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}; \quad \varphi = W_{uy}/m, \quad (1.3.22)$$

որտեղ $\vec{F}$ -ը՝ m զանգվածով նյութական կետի վրա ազդող ուժն է, W_{uy} -ը՝ դրա պոտենցիալ էներգիան: Երկրի գրավիտացիոն դաշտի լարվածությունը համընկնում է ազատ անկման արագացման հետ:

• Նյութական կետի ստեղծած դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը.

$$g = G \frac{m}{r^2}; \quad \varphi = -G \frac{m}{r}, \quad (1.3.22)$$

որտեղ r -ը դիտման կետից մինչև m նյութական կետը եղած հեռավորությունն է:

• Դաշտի լարվածության և պոտենցիալի կապը.

$$\vec{g} = -\text{grad}\varphi; \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{g} d\vec{l}, \quad (1.3.24)$$

որտեղ ինտեգրումը կատարվում է սկզբնական 1 կետը վերջնական 2 կետին միացնող կամայական գծով:

• **Դաշտերի վերադրման սկզբունքը.**

$$\vec{g} = \sum_i \vec{g}_i; \quad \varphi = \sum_i \varphi_i, \quad (1.3.23)$$

որտեղ $\vec{g}_i$ -ին և φ_i -ն տվյալ կետում i -րդ մարմնի կողմից ստեղծած գրավիտացիոն դաշտի լարվածությունն ու պոտենցիալն են, իսկ $\vec{g}$ -ն և φ -ն՝ այդ կետում արդյունաբար դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը:

11. Էներգիայի և աշխատանքի կապը

• **Կինետիկ էներգիայի թեորեմը.**

Մարմնի (համակարգի) վրա ազդող համագոր ուժի աշխատանքը հավասար է մարմնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությանը՝

$$A = \Delta W_k, \quad (1.3.25)$$

որտեղ A -ն մարմնի կամ համակարգի վրա ազդող բոլոր ուժերի համագործի աշխատանքն է, իսկ $\Delta W_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$: (1.3.25) բանաձևը կարելի է օգտագործել նաև ոչ իներցիալ հաշվարկման համակարգերի համար, եթե հաշվի առնվի իներցիալ ուժերի աշխատանքը:

• **Պոտենցիալ էներգիայի թեորեմը.**

Մարմնի (համակարգի) վրա ազդող կոնսերվատիվ ուժերի համագործի աշխատանքը հավասար է մարմնի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը՝ հակառակ նշանով.

$$A_{կոնս} = - \Delta W_{պ}, \quad (1.3.26)$$

որտեղ $A_{կոնս}$ -ն՝ մարմնի կամ համակարգի վրա ազդող բոլոր կոնսերվատիվ ուժերի աշխատանքների գումարն է:

• **Մեխանիկական էներգիայի փոփոխությունը.**

$$\Delta W_{մեխ} = A + A_{ոչկ}, \quad (1.3.27)$$

որտեղ $W_{մեխ} = W_{կին} + W_{պոտ}$ -ն մարմնի կամ մարմինների համակարգի մեխանիկական էներգիան է, A -ն՝ արտաքին ուժերի աշխատանքը, $A_{ոչկ}$ -ն՝ ոչ կոնսերվատիվ ուժերի աշխատանքը: Ոչ կոնսերվատիվ ուժերի օրինակ են հանդիսանում, մասնավորապես, շփման և դիմադրության ուժերը: Կամայական էներգիայի միավորը ՄՋ-ում 1Ջ-ն է, իսկ միավորների ԳՋ-ում՝ 1էրգ-ը:

• **Մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքը.**

Ոչ կոնսերվատիվ ուժերի բացակայության դեպքում փակ համա-

կարգի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է.

$$W_{\text{մեխ}} = W_{\text{կին}} + W_{\text{պոտ}} = \text{const:} \quad (1.3.28)$$

(1.3.28)-ը ճիշտ է նաև մարմինների ոչ փակ համակարգի համար, որտեղ մարմինների վրա ազդող արտաքին ուժերը կոնսերվատիվ են: Այս դեպքում W -ն պետք է ընդգրկի նաև արտաքին կոնսերվատիվ ուժերի դաշտի հետ համակարգի մարմինների փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան: Խնդիրներ լուծելիս հարմար է օգտագործել $W_{\text{կ1}} + W_{\text{պ1}} = W_{\text{կ2}} + W_{\text{պ2}}$ գրառումը, որտեղ 1 և 2 ինդեքսները վերաբերվում են ժամանակի t_1 և t_2 պահերին:

• **Էներգիայի պահպանման և փոխակերպման հիմնարար օրենքը.**

Էներգիան ոչնչից չի ստեղծվում և չի անհետանում, այն հավասար չափով կարող է մի ձևից փոխակերպվել մեկ այլ ձևի, կամ մի մարմնից անցնել մյուսին:

Բացի մեխանիկականից, էներգիան իր մեջ ընդգրկում է ջերմային, քիմիական, միջուկային և այլ ձևի էներգիաներ:

12. Երկու մարմինների բախումը

• **Երկու մարմինների արագությունը բացարձակ ոչ առաձգական բախումից հետո.**

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}, \quad (1.3.29)$$

որտեղ $\vec{v}_1$ -ը և $\vec{v}_2$ -ը մարմինների արագություններն են մինչև բախվելը, իսկ m_1 -ը և m_2 -ը՝ մարմինների զանգվածները:

• **Կինետիկ էներգիայի կորուստը բացարձակ ոչ առաձգական բախման դեպքում.**

$$W_{\text{կ1}} - W_{\text{կ2}} = \frac{1}{2} \mu (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2: \quad (1.3.30)$$

որտեղ $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ բերված զանգվածն է:

• **Երկու գնդերի արագությունները դրանց կենտրոնական (ճակատային) բացարձակ առաձգական բախումից հետո.**

$$\vec{u}_1 = \frac{(m_1 - m_2) \vec{v}_1 + 2m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}, \quad \vec{u}_2 = \frac{(m_2 - m_1) \vec{v}_2 + 2m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2}: \quad (1.3.31)$$

Դրանց ոչ կենտրոնական բացարձակ առաձգական բախման դեպքում $\vec{u}_1$ -ի և $\vec{u}_2$ -ի հաշվարկը բավականին բարդ խնդիր է: Դրա լուծման համար սովորաբար կիրառում են վեկտորական դիագրամներ:

§4. ՊԻՆԴ ՄԱՐՄՆԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

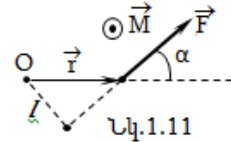
1. Ուժի մոմենտ.

Ուժի մոմենտի մոդուլ կոչվում է ուժի և իր բազուկի արտադրյալը:

• Ուժի մոմենտը OZ առանցքի նկատմամբ (այն ուղղված է նկարի հարթությանն ուղղահայաց՝ դեպի դիտորդը, իսկ ուժն ուղղահայաց է այդ առանցքին).

$$M_z = \pm Fl, \quad (1.4.1)$$

որտեղ F -ը ուժի մոդուլն է, l -ը՝ ուժի բազուկը, որն ուժի ազդման գծից մինչև OZ առանցքը եղած ամենակարճ հեռավորությունն է (Նկ.1.11):



11): Ուժի մոմենտի միավորը ՄՀ-ում ՆՄ -ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ Նդինսմ: (1.4.1) բանաձևում նշանը կախված է ուժի ուղղության և OZ առանցքի նկատմամբ նրա կիրառման կետի դիրքից: Տվյալ դեպքում ուժի մոմենտը դրական է, ունի OZ առանցքի դրական ուղղությունը, ինչպես ցույց է տրված նկարում:

• Ուժի մոմենտը O կետի նկատմամբ.

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}, \quad (1.4.2)$$

որտեղ $\vec{r}$ -ը ուժի կիրառման կետի շառավիղ-վեկտորն է: Նկարում $\vec{F}$ ուժի մոմենտը O կետի նկատմամբ ուղղված է դեպի մեզ:

• Առանցքի և կետի նկատմամբ ուժի մոմենտների կապը.

Եթե $\vec{M}$ վեկտորի պրոյեկցիան է OZ առանցքի նկատմամբ հավասար է M_z -ի, ապա M_z -ի արժեքը կախված չէ OZ առանցքի վրա O կետի ընտրությունից:

2. Ծանրության կենտրոն

Մարմնի բոլոր մասերի վրա ազդող ծանրության ուժերի համագործի կիրառման կետը կոչվում է ծանրության կենտրոն:

Ծանրության կենտրոնի նկատմամբ մարմնի բոլոր մասերի վրա ազդող ծանրության ուժերի մոմենտների վեկտորական գումարը հավասար է զրոյի: Եթե մարմինը գտնվում է համասեռ գրավիտացիոն դաշտում, ապա նրա ծանրության կենտրոնը կհամընկնի զանգվածների կենտրոնի հետ:

3. Պինդ մարմնի հավասարակշռության պայմանը

$$\sum_i \vec{F}_i = 0; \quad (1.4.3)$$

$$\sum_i \vec{M}_i = 0, \quad (1.4.4)$$

որտեղ $\sum_i \vec{F}_i$ -ին մարմնի վրա ազդող բոլոր արտաքին ուժերի համագործն է, իսկ $\sum_i \vec{M}_i$ -ին՝ բոլոր արտաքին ուժերի համագործ մոմենտը կամայական առանցքի նկատմամբ: Եթե մարմինն օժտված է սկզբնական պտտման առանցքով, ապա (1.4.3) պայմանը կարելի է չօգտագործել, իսկ (1.4.4)-ում որպես առանցք վերցնել պտտման առանցքը:

4. Իներցիայի մոմենտ

• **Նյութական կետի իներցիայի մոմենտն առանցքի նկատմամբ.**

$$I = mr^2, \quad (1.4.5)$$

որտեղ m -ը նյութական կետի զանգվածն է, իսկ r -ը՝ դրա հեռավորությունը առանցքից: Իներցիայի մոմենտի միավորը ՄՀ-ում $1 \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2$ է, իսկ ԳՀ-ում՝ $1 \text{ գ} \cdot \text{սմ}^2$: $1 \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2 = 10^7 \text{ գ} \cdot \text{սմ}^2$:

• **Մարմնի իներցիայի մոմենտն առանցքի նկատմամբ.**

$$I = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV, \quad (1.4.6)$$

որտեղ ρ -ն մարմնի նյութի խտությունն է: Ինտեգրումը կատարվում է մարմնի ամբողջ ծավալով:

• **Հոծ գլանի (սկավառակի) իներցիայի մոմենտն իր համաչափության առանցքի նկատմամբ.**

$$I = mR^2/2: \quad (1.4.7)$$

Այստեղ l մյուս բանաձևերում m -ը մարմնի զանգվածն է, իսկ R -ը՝ դրա շառավիղը: Բոլոր մարմինները համարվում են համասեռ:

• **Բարակ պատերով գլանային մակերևույթի կամ օղակի իներցիայի մոմենտն իր համաչափության առանցքի նկատմամբ.**

$$I = mR^2: \quad (1.4.8)$$

• **Հոծ գնդի իներցիայի մոմենտն իր կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ.**

$$I = 2mR^2/5: \quad (1.4.9)$$

• **Բարակ պատերով գնդաձևի իներցիայի մոմենտն իր կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ.**

$$I = 2mR^2/3: \quad (1.4.10)$$

• **Բարակ ձողի իներցիայի մոմենտը իր կենտրոնով անցնող և ձողին ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ.**

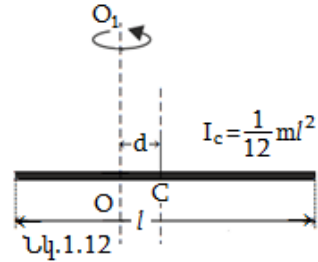
$$I = ml^2/12, \quad (1.4.11)$$

որտեղ l -ը ձողի երկարությունն է:

• **Շտեռնի թեորեմը.**

$$I = I_c + md^2, \quad (1.4.12)$$

որտեղ I -ն մարմնի իներցիայի մոմենտն է կամայական OO_1 առանցքի նկատմամբ, I_c -ն մարմնի իներցիայի մոմենտն է մեկ ուրիշ առանցքի նկատմամբ, որը զուգահեռ է OZ առանցքին և անցնում է մարմնի իներցիայի (զանգվածների) կենտրոնով, իսկ d -ն՝ այդ առանցքների միջև եղած հեռավորությունն է (Նկ. 1.12):



Եթե դեկարտյան կոորդինատային համակարգում մարմի իներցիայի մոմենտը OX առանցքի նկատմամբ I_x է, OY -ի նկատմամբ՝ I_y , OZ -ի նկատմամբ՝ I_z , ապա այդ մարմնի իներցիայի մոմենտը O սկզբնակետի նկատմամբ կլինի՝ $I = \frac{1}{2}(I_x + I_y + I_z)$:

5. Անշարժ պտտման առանցք ունեցող պինդ մարմնի պտտական շարժման դինամիկայի հիմնական հավասարումը

$$I\varepsilon_z = M_z, \quad (1.4.13)$$

որտեղ I -ն մարմնի իներցիայի մոմենտն է անշարժ առանցքի նկատմամբ, ε_z -ը՝ անկյունային արագացման պրոյեկցիան է այդ առանցքի վրա, իսկ $M_z = \sum_i M_i$ -ն՝ արտաքին ուժերի համագործակցությունն է այդ առանցքի նկատմամբ:

6. Պինդ մարմնի շարժման հավասարումը (ընդհանուր դեպք)

$$m\vec{a}_c = \vec{F}, \quad (1.4.14)$$

որտեղ $\vec{a}_c$ -ն մարմնի զանգվածների կենտրոնի արագացումն է, $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ -ն՝ մարմնի վրա ազդող արտաքին ուժերի համագործակցությունն է:

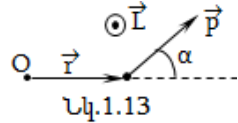
Եթե ընտրված OZ առանցքը շարժվում է $\vec{a}$ արագացմամբ, ապա քննարկվող մարմնի հետ կապված հաշվարկման համակարգը ոչ իներցիալ է, և արդեն պետք է հաշվի առնել $-m\vec{a}$ իներցիալ ուժի մոմենտը: Իներցիալ ուժը կիրառված է մարմնի զանգվածների կենտրոնին, իսկ այդ ուժի մոմենտը որոշվում է OZ առանցքի նկատմամբ: Հարմարության համար OZ առանցքը կապում են մարմնի զանգվածների կենտրոնի հետ, քանի որ այս դեպքում իներցիալ ուժի մոմենտը հավասարվում է զրոյի:

7. Իմպուլսի մոմենտ

- Նյութական կետի իմպուլսի մոմենտն O կետի նկատմամբ.

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}, \quad (4.16)$$

որտեղ $\vec{r}$ -ը նյութական կետի շառավիղ-վեկտորն է, իսկ $\vec{p}$ -ն՝ դրա իմպուլսը: Նկ.1.13-ում O կետի նկատմամբ $\vec{L}$ իմպուլսի մոմենտն ուղղված է դեպի մեզ: OZ առանցքի վրա $\vec{L}$ իմպուլսի մոմենտի L_z պրոյեկցիային անվանում են իմպուլսի մոմենտ այդ առանցքի վրա գտնվող կամայական O կետի նկատմամբ: L_z -ի



արժեքը կախված չէ OZ առանցքի վրա O կետի ընտրությունից: Իմպուլսի մոմենտի միավորը ՄՀ-ում $1 \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2/\text{վ}$, իսկ ԳՀ-ում՝ $1 \text{ գ} \cdot \text{սմ}^2/\text{վ}$:

- Անշարժ առանցքի շուրջը պտտվող պինդ մարմնի իմպուլսի մոմենտը.

$$L = I\omega, \quad (1.4.17)$$

որտեղ I -ն մարմնի իներցիայի մոմենտն է այդ առանցքի նկատմամբ, իսկ ω -ն՝ մարմնի անկյունային արագությունը:

- Մարմնի իմպուլսի մոմենտի կապը նրա վրա ազդող ուժի մոմենտի հետ (մոմենտների հավասարումը).

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad M_z = \frac{dL_z}{dt}: \quad (1.4.18)$$

8. Իմպուլսի մոմենտի պահպանման օրենքը

Փակ համակարգի իմպուլսի մոմենտը կամայական անշարժ կետի նկատմամբ ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում՝

$$\vec{L} = \text{const}, \quad (1.4.20)$$

որտեղ $\vec{L}$ -ը փակ համակարգի իմպուլսի մոմենտն է կամայական կետի նկատմամբ: Խնդիրների լուծման համար հարմար է օգտվել $\vec{L}_1 = \vec{L}_2$ գրեթե անհիշ, որտեղ $\vec{L}_1$ -ը համակարգի իմպուլսի մոմենտն է ժամանակի t_1 պահին, իսկ $\vec{L}_2$ -ը՝ t_2 պահին: (1.4.20) օրենքը ճիշտ է միայն հաշվարկման իներցիալ համակարգերում: Ոչ փակ համակարգի համար այդ օրենքը կարելի է կիրառել, եթե տեղի ունի հետևյալ պայմաններից մեկը՝ ա) արտաքին ուժերի համագործակցությունը հավասար է զրոյի կամ այնքան փոքր է, որ կարելի է դրա ազդեցու-

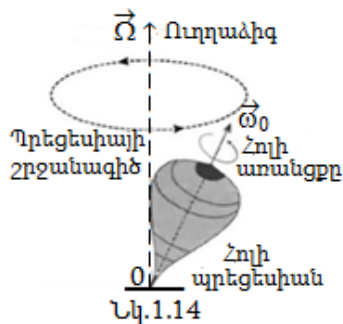
թյունն անտեսել; **բ)** արտաքին ուժերի համագոր մոմենտը որևէ առանցքի նկատմամբ հավասար է զրոյի: Այս դեպքում համախմբի իմպուլսը պահպանվում է այդ առանցքի նկատմամբ; **գ)** համակարգը գտնվում է կենտրոնական ուժերի դաշտում:

• **Հովի կոնապտույտը (պրեցեսիան).**

Երբ իր համաչափության առանցքի շուրջը ω_0 անկյունային արագությամբ պտտվող հովի վրա ազդում է $\vec{M} = \vec{\Omega} \times \vec{L}$ ուժի մոմենտ, որտեղ $\vec{L}$ -ը հովի իմպուլսի մոմենտն է այդ առանցքի նկատմամբ, ապա դրա շարժման հավասարումը կլինի՝

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{L} : \quad (1.4.19)$$

(1.4.19) հավասարումը նշանակում է, որ հովի համաչափության առանցքը ուղղաձիգ առանցքի շուրջը պտտվում է $\vec{\Omega}$ անկյունային արագությամբ (Նկ.1.14): Հովի այս շարժմանն անվանում են կոնապտույտ (պրեցեսիա):



9. Մարմինն առանցքի շուրջը պտտելու արտաքին ուժերի աշխատանքը

$$A = \int M_z d\varphi : \quad (1.4.21)$$

10. Պտտվող մարմնի կինետիկ էներգիան

• **Անշարժ առանցքի շուրջը պտտվող մարմնի կինետիկ էներգիան.**

$$W_{\text{կ}} = \frac{I\omega^2}{2} : \quad (1.4.22)$$

• **Միաժամանակ համընթաց և պտտական շարժում կատարող մարմնի կինետիկ էներգիան.**

$$W_{\text{կ}} = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{I_c\omega^2}{2} , \quad (1.4.23)$$

որտեղ v_c -ն մարմնի զանգվածների կենտրոնի արագությունն է, իսկ I_c - ն՝ մարմնի իներցիայի մոմենտը զանգվածների կենտրոնով անցնող պտտման առանցքի նկատմամբ:

§5. ՄԵՆԱՆԻԿԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ԱԼԻՔՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Նյութական կետի ներդաշնակ տատանումները

• **Կետի շեղումը հավասարակշռության դիրքից.**

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1.5.1)$$

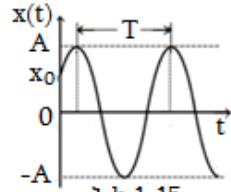
որտեղ A -ն լայնույթն է (Նկ.1.15), ω_0 -ն՝ ցիկլային (շրջանային) հաճախությունը, φ_0 -ն՝ սկզբնական փուլը, t -ն՝ ժամանակի պահը: (1.5.1) -ում կոսինուս ֆունկցիայի փոխարեն կարելի է վերցնել նաև սինուս՝

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0):$$

• **Կետի արագության պրոյեկցիան OX առանցքի վրա.**

$$v_x = \dot{x} = -\omega_0 A \sin(\omega_0 t + \varphi_0): \quad (1.5.2)$$

$v_m = \omega_0 A$ -ն հանդիսանում է կետի առավելագույն արագությունը:



• **Կետի արագացման պրոյեկցիան OX առանցքի վրա.**

$$a_x = \ddot{x} = -\omega_0^2 A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x: \quad (1.5.3)$$

$a_m = \omega_0^2 A$ -ն հանդիսանում է կետի առավելագույն արագացումը:

• **Տատանումների փուլը.**

$$\varphi = \omega_0 t + \varphi_0: \quad (1.5.4)$$

• **Տատանումների պարբերությունը և հաճախությունը.**

$$T = \frac{t}{N} = \frac{2\pi}{\omega_0}; \quad \nu = \frac{N}{t} = \frac{\omega_0}{2\pi}, \quad (1.5.5)$$

որտեղ N -ը t ժամանակում կատարված տատանումների թիվն է:

• **OX առանցքով տեղի ունեցող ներդաշնակ տատանումների դիֆերենցիալ հավասարումը.**

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0: \quad (1.5.6)$$

(1.5.6) հավասարման լուծում է հանդիսանում $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ կամ $x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ ֆունկցիան:

• **Կետի վրա ազդող համագոր ուժի պրոյեկցիան OX առանցքի վրա.**

$$F_x = m a_x = -kx, \quad (1.5.7)$$

որտեղ m -ը նյութական կետի զանգվածն է, իսկ $k = m\omega_0^2$ -ն՝ քվադրկոշտությունը:

• **Մեխանիկական էներգիան.**

$$W = W_{\dot{x}} + W_{\ddot{x}} = \frac{m v_x^2}{2} + \frac{k x^2}{2} = \frac{m A^2 \omega_0^2}{2}, \quad (1.5.8)$$

որտեղ $W_{\dot{x}}$ -ն կինետիկ էներգիան է, իսկ $W_{\ddot{x}}$ -ն՝ պոտենցիալ էներգիան:

2. Միևնույն ուղղությամբ և հաճախությամբ ներդաշնակ տատանումների գումարումը

• **Արդյունաբար տատանումների լայնությունը.**

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_{02} - \varphi_{01})}, \quad (1.5.9)$$

որտեղ A_1 -ը և A_2 -ը գումարվող տատանումների լայնույթներն են, իսկ φ_{01} -ը և φ_{02} -ը՝ դրանց սկզբնական փուլերը:

- **Արդյունաբար տատանումների սկզբնական փուլը.**

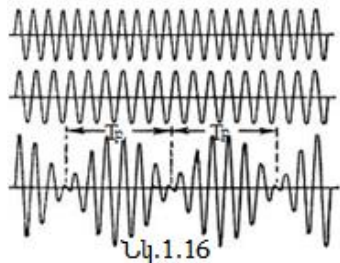
$$\varphi_0 = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}: \quad (1.5.10)$$

- **Բաբախում.**

Նույն ուղղությամբ, հաճախություններով իրար մոտ՝ $|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_1, \omega_2$ տատանումների գումարման արդյունքում տեղի ունեցող տատանման անվանում են բաբախում (Նկ.1.16):

Արդյունաբար տատանումների լայնության բաբախման պարբերությունը՝

$$T_F = \frac{2\pi}{|\omega_1 - \omega_2|} = \frac{1}{|v_1 - v_2|}:$$



- Փոխադրահայաց տատանումների գումարումը հանգեցնում է նրան, որ կետը կշարժվի այնպիսի հետագծով, որի տեսքը կախված է վերադրվող տատանումների հաճախություններից և փուլերից:

3. Ճռճանակների տատանումների պարբերությունը

- **Չսպանակավոր ճռճանակի տատանումների պարբերությունը.**

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad (1.5.11)$$

որտեղ m -ը բեռի զանգվածն է, իսկ k -ն՝ զսպանակի կոշտությունը:

- **Մաթեմատիկական ճռճանակի տատանումների պարբերությունը.**

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad (1.5.12)$$

որտեղ l -ը թելի երկարությունն է, իսկ g -ն՝ ազատ անկման արագացումը:

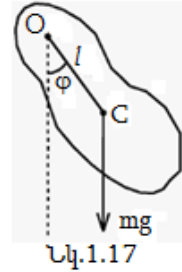
- **Ֆիզիկական ճռճանակի տատանումների պարբերությունը.**

$$T = 2\pi\sqrt{I/(mgl)} = 2\pi\sqrt{I_p/g}, \quad (1.5.13)$$

որտեղ I -ն տատանվող մարմնի իներցիայի մոմենտն է տատանման առանցքի նկատմամբ, l -ը մարմնի զանգվածների կենտրոնի հեռավորությունն է պտտման առանցքից (Նկ.1.17): $I_p = I/(ml)$ մեծու-

թյունը կոչվում է ֆիզիկական ճոճանակի բերված երկարություն:

(1.5.12) և (1.5.13) բանաձևերի ճշգրտության աստիճանը կախված է տատանումների լայնույթի արժեքից՝ որքան տատանումների լայնույթը փոքր է, այնքան դրանց ճշգրտությունը մեծ է:



4. Նյութական կետի մարդդ տատանումները

• Կետի շեղումը հավասարակշռության դիրքից.

$$x = A(t)\cos(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ կամ } x = A(t)\sin(\omega_0 t + \varphi_0): \quad (1.5.14)$$

Ի տարբերություն (1.5.1) բանաձևի, այստեղ լայնույթը կախված է ժամանակից:

• Մարդդ տատանումների լայնույթի կախվածությունը ժամանակից.

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}, \quad (1.5.15)$$

որտեղ A_0 -ն տատանումների սկզբնական լայնույթն է, իսկ β -ն՝ մարման գործակիցը:

• Մարման գործակիցը.

$$\beta = r/(2m), \quad (1.5.16)$$

որտեղ r -ը դիմադրության գործակիցն է:

• Մարդդ տատանումների ցիկլային հաճախությունը.

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}, \quad (1.5.17)$$

որտեղ ω_0 -ն համակարգի տատանումների հաճախությունն է մարման բացակայության դեպքում (սեփական հաճախություն):

• Ռելաքսացիայի ժամանակը.

$$\tau = 1/\beta, \quad (1.5.18)$$

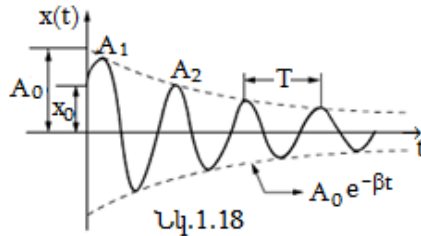
այն ժամանակն է, որի ընթացքում տատանումների լայնույթը փոքրանում է e անգամ:

• Մարման լոգարիթմական դեկրեմենտը.

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T = \frac{1}{N_e}, \quad (1.5.19)$$

որտեղ $T = 2\pi/\omega$ -ն մարդդ տատանումների պարբերությունն է, $A(t)$ -ն և $A(t+T)$ -ն երկու հաջորդական տատանումների լայնույթներն են, որոնցից մեկը մյուսից ետ է ընկած մեկ պարբերությամբ

(Նկ.1.18), N_e -ն՝ տատանումների այն թիվն է, որի ընթացքում լայնույթը փոքրանում է e անգամ:



- Մարդո տատանումների դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0: \quad (1.5.20)$$

(1.5.20) հավասարման լուծում է հանդիսանում (1.5.14) ֆունկցիան, որում $A(t) = A_0 e^{-\beta t}$, իսկ $\beta = r/(2m)$:

5. Նյութական կետի հարկադրական տատանումները, ռեզոնանս

Մարմնի տատանումները պարբերաբար փոփոխվող արտաքին ուժերի ազդեցությամբ կոչվում են հարկադրական տատանումներ:

- Հարկադրական տատանումների լայնույթը.

$$A = \frac{F_m}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}}, \quad (1.5.21)$$

որտեղ F_m -ը ժամանակից կախված $F_x = F_m \cos \Omega t$ օրենքով փոփոխվող հարկադրող ուժի լայնույթն է:

- Հարկադրական տատանումների և հարկադրող ուժի փուլերի տարբերությունը.

$$\varphi = \arctg \frac{2\beta\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}: \quad (1.5.22)$$

$\varphi > 0$ և տատանումների փուլը ետ է ընկած ուժի փուլից:

- Հարկադրական տատանումների դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = F_x = (F_m \cos \Omega t)/m: \quad (1.5.23)$$

(1.5.23) հավասարման մասնավոր լուծում է հանդիսանում $x = A \cos(\Omega t - \varphi)$ ֆունկցիան, որտեղ A -ն և φ -ն տրվում են (1.5.21) և (1.5.22) բանաձևերով:

- Ռեզոնանսային հաճախություն.

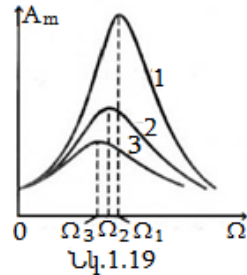
$$\Omega_{\text{нбк}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}: \quad (1.5.24)$$

Արտաքին պարբերական ուժի այս հաճախության դեպքում հարկադրական տատանումների լայնույթն ընդունում է առավելագույն արժեք: Այս երևույթին անվանում են ռեզոնանս: Նկ.1.19-ում բերված է ռեզոնանսային կորերի տեսքը երեք տարբեր β -ի համար, ընդ որում $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$:

• **Ռեզոնանսային լայնույթ.**

$$A_{\text{нбк}} = \frac{F_m}{2\beta m \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}: \quad (1.5.25)$$

Երբ β -ն ձգտում է զրոյի, ռեզոնանսային լայնույթը ընդունում է անվերջ մեծ արժեք:



6. Առաձգական ալիքներ

Մեխանիկական տատանումների տարածումը միջավայրում կոչվում է մեխանիկական կամ առաձգական ալիք: Մեխանիկական տատանումների տարածումը միջավայրում պայմանավորված է միջավայրի առաձգական հատկություններով: Ալիքների տարածման պրոցեսում միջավայրում տեղի է ունենում էներգիայի տեղափոխություն՝ առանց նյութի տեղափոխության:

• Այն մեխանիկական ալիքները, որոնց տարածման պրոցեսում միջավայրի մասնիկները տատանվում են ալիքի տարածման ուղղությամբ, կոչվում են երկայնական ալիքներ: Երկայնական ալիքները կարող են տարածվել բոլոր միջավայրերում:

• Երկայնական ալիքի արագությունն առաձգական ձողում տրվում է $v = \sqrt{E/\rho}$ արտահայտությամբ, որտեղ E -ն միջավայրի Յունգի մոդուլն է, իսկ ρ -ն՝ խտությունը:

• Մեխանիկական ալիքի արագությունը գազերում տրվում է $v = \sqrt{\gamma p/\rho}$ բանաձևով, որտեղ $\gamma = C_p/C_v$ գազի ադիաբատի գործակիցն է, p -ն՝ ճնշումը, ρ -ն՝ խտությունը: Մթնոլորտային ճնշումով օժտված օդում $v = 20\sqrt{T}$ և $T = 273^\circ\text{C}$ -ում (0°C -ում) $v \approx 331\text{մ/վ}$:

- Այն մեխանիկական ալիքները, որոնց տարածման պրոցեսում միջավայրի մասնիկները տատանվում են ալիքի տարածմանն ուղղահայաց ուղղությամբ, կոչվում են լայնական ալիքներ: Գազերում լայնական ալիքներ չեն կարող տարածվել:

- Լայնական ալիքի արագությունը տրվում է $v = \sqrt{G/\rho}$ արտահայտությամբ, որտեղ G -ն միջավայրի սահքի մոդուլն է, իսկ ρ -ն՝ խտությունը:

- **Ալիքի երկարությունը.**

$$\lambda = vT, \quad (1.5.26)$$

որտեղ v -ն ալիքի տարածման արագությունն է (փուլային արագությունը), T - ն՝ ալիքի պարբերությունը:

- **Ալիքային թիվը.**

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (1.5.27)$$

- **ՕՄ առանցքի դրական ուղղությամբ տարածվող չմարդկ հարթ ալիքի հավասարումը.**

$$s = A_0 \cos(\omega_0 t - kx + \varphi_0) \text{ կամ } s = A_0 \sin(\omega_0 t - kx + \varphi_0), \quad (1.5.28)$$

որտեղ s -ը ժամանակի t պահին աղբյուրից x հեռավորության վրա գտնվող միջավայրի մասնիկի շեղումն է հավասարակշռության դիրքից, A_0 -ն՝ ալիքի լայնությունը:

- **Ալիքի փուլը.**

$$\varphi = \omega_0 t - kx + \varphi_0: \quad (1.5.29)$$

- **Ալիքային մակերևույթ.**

Տատանումների միևնույն փուլով օժտված կետերի երկրաչափական տեղը կոչվում է ալիքային մակերևույթ:

Կա ալիքային մակերևույթի երեք պարզագույն տեսակ՝ հարթ, գնդային և գլանային:

- **Ալիքի ճակատ.**

Այն մակերևույթը, որին տվյալ պահին հասնում է ալիքային մակերևույթը, կոչվում է ալիքի ճակատ:

Ալիքի ճակատը ալիքային մակերևույթի մասնավոր դեպք է:

- **Ալիքային վեկտոր.**

Ալիքի ճակատի տարածման ուղղությամբ ուղղված վեկտոր, որի մեծությունը հավասար է ալիքային թվին՝ $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n}$, որտեղ $\vec{n}$ -ը ալիքի տարածման ուղղությամբ ուղղված միավոր վեկտոր է:

• **Ալիքի փուլային արագությունը.**

Ալիքի փուլի տարածման արագությունը տրված ուղղությամբ, կոչվում է փուլային արագություն: Այս արագությունը չի բնութագրում որևէ ֆիզիկական օբյեկտի շարժման արագություն և որոշ դեպքերում այն կարող է գերազանցել լույսի արագությանը վակուումում: Ալիքի փուլային արագությունը որոշվում է $\varphi = \omega_0 t - kx + \varphi_0 = \text{const}$ պայմանից՝

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega_0}{k} = \frac{\lambda}{T}. \quad (1.5.30)$$

• **Ալիքային ծրար.**

A_0 լայնությամբ իրարից շատ փոքր $d\omega$ հաճախությամբ և dk ալիքային թվով տարբերվող երկու ալիքների գումարից ստացվում է $A(t)$ դանդաղ փոփոխվող լայնությամբ ալիք (տես Նկ.1.16)՝

$$s = A_0 \cos(\omega_0 t - kx) + A_0 \cos[(\omega_0 + d\omega)t - (k + dk)x] = \\ = 2A_0 \cos \frac{t d\omega - x dk}{2} \cos(\omega_0 t - kx) = A(t) \cos(\omega_0 t - kx):$$

• **Խմբային արագություն.**

Ալիքային ծրարի $A(t) = 2A_0 \cos \frac{t d\omega - x dk}{2}$ լայնությի $\frac{t d\omega - x dk}{2} = \text{const}$ պայմանից որոշվող արագությունը, որը ալիքային ծրարի կենտրոնի կամ $A(t)$ լայնությի առավելագույն արժեքի տարածման արագությունն է, կոչվում է խմբային արագություն.

$$u = \frac{dx}{dt} = \frac{d\omega}{dk}. \quad (1.5.31)$$

• **Խմբային և փուլային արագությունների կապը.**

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}. \quad (1.5.32)$$

• **Ալիքի ինտենսիվությունը.**

Այն էներգիան, որն ալիքը տեղափոխում է իր տարածման ուղղության ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում՝

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t} = \frac{P}{S}, \quad (1.5.33)$$

որտեղ P - ն ալիքի հզորությունն է ալիք տարածմանն ուղղահայաց S մակերեսով: Մարումների բացակայության դեպքում $I = 0,5 \rho v \times$

$\times \omega^2 A^2$, որտեղ A -ն ալիքի լայնություն է: Ալիքի էներգիան տարածվում է խմբային արագությամբ:

7. Կոհերենտ ալիքներ, դրանց ինտերֆերենցը

Երկու մեխանիկական ալիք կոչվում են կոհերենտ, եթե դրանք ունեն նույն հաճախությունը՝ $\omega_1 = \omega_2$, իսկ փուլերի տարբերությունը ժամանակի ընթացքում մնում է հաստատուն՝

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_{10} - \varphi_{20} = \text{const}:$$

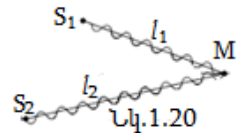
• Ալիքների ինտերֆերենցը.

Երկու կոհերենտ ալիքների վերադրման ժամանակ տարածության մեջ տեղի է ունենում էներգիայի վերաբաշխում, որի արդյունքում որոշակի տեղերում առաջանում են տատանումների ուժեղացումներ (ինտենսիվության մաքսիմումներ), իսկ մեկ այլ տեղերում՝ թուլացումներ (ինտենսիվության մինիմումներ): Այս երևույթին անվանում են ալիքների ինտերֆերենց:

• Մեխանիկական ալիքների ինտերֆերենցիոն ուժեղացումների պայմանը.

$$\Delta = \pm k\lambda, \quad (1.5.34)$$

որտեղ $\Delta = l_2 - l_1$ -ը վերադրվող ալիքների անցած ճանապարհների տարբերությունն է՝ ընթացքների տարբերությունը (Նկ.1.20), իսկ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$, λ -ն՝ ալիքի երկարությունը:



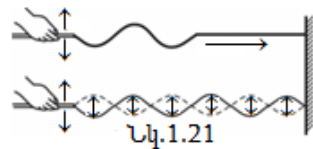
• Մեխանիկական ալիքների ինտերֆերենցիոն թուլացումների պայմանը.

$$\Delta = \pm(2k + 1)\lambda/2, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots : \quad (1.5.35)$$

• Գանգուն ալիք.

Գանգուն ալիք առաջանում է իրար ընդառաջ տարածվող, նույն լայնությամբ երկու կոհերենտ ալիքների վերադրման արդյունքում:

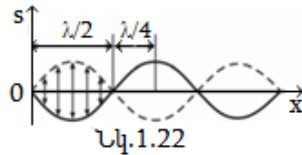
Փաստորեն, կանգուն ալիք կարելի է ստանալ վազող և անդրադարձած ալիքների վերադրումից, եթե կորուստները բացակայում են (Նկ.1.21):



• **Կանգուն ալիքի հավասարումը.**

$$s = 2A \cos(kx) \cos(\omega t): \quad (1.5.36)$$

Կանգուն ալիքի այն կետերը, որտեղ լայնույթն առավելագույնն է, կոչվում են ալիքի փնջվածքներ, իսկ այն կետերը, որտեղ լայնույթը հավասար է զրոյի՝ ալիքի հանգույցներ: Կանգուն ալիքի երկու հարևան փնջվածքների կամ հանգույցների հեռավորությունը հավասար է $\lambda/2$, իսկ հարևան փնջվածքի և հանգույցի հեռավորությունը՝ $\lambda/4$, λ -ն վազող ալիքի երկարությունն է (Նկ.1.22):



8. Ալիքների դիֆրակցիա

Ալիքների շեղվելը տարածման սկզբնական ուղղությունից, և դրա հետևանքով արգելքների շրջանցման երևույթը կոչվում է դիֆրակցիա:

Ալիքների դիֆրակցիա տեղի է ունենում այն դեպքում, երբ ալիքի ճանապարհին հանդիպող արգելքի d չափերն ալիքի երկարության կարգի են՝ $d \sim \lambda$:

9. Դոպլերի էֆեկտը ակուստիկայում.

Եթե մեխանիկական ալիքի աղբյուրի տատանման հաճախությունը ν_0 է, ապա ալիքի ընդունիչի կողմից գրանցված ν հաճախությունը կախված կլինի աղբյուրի և ընդունիչի միմյանց նկատմամբ շարժման արագություններից: Այս երևույթը կրում է Դոպլերի անունը:

• **Երբ ձայնի աղբյուրը և գրանցող սարքն իրար մոտենում են.**

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{(c + v_2)}{c - v_1}, \quad (1.5.37)$$

որտեղ v_2 -ը՝ աղբյուրի արագությունն է միջավայրի նկատմամբ, v_1 - ը՝ ալիքը գրանցող սարքի արագությունն է միջավայրի նկատմամբ, c -ն՝ ձայնի արագությունն այդ միջավայրում:

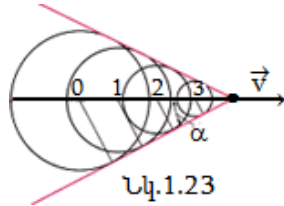
• **Երբ ձայնի աղբյուրը և գրանցող սարքն իրարից հեռանում են.**

$$\nu = \nu_0 \cdot \frac{(c - v_2)}{c + v_1}: \quad (1.5.38)$$

10. Հարվածային ալիք

Երբ գազում շարժվող մարմնի արագությունը գերազանցում է ձայնի

c արագությանը (գերձայնային արագություն), ապա մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությանը հավասար գազային շերտում կստեղծվի գազի ճնշման և խտության շատ մեծ փոփոխություն՝ $\Delta p \geq p$, $\Delta \rho \geq \rho$, որը տարածվելով ստեղծում է հարվածային ալիք: Այդ ալիքը ձայնային է, իսկ դրա ճակատը մարմնի շարժման ուղղության նկատմամբ տարածվում է $\sin \alpha = c/v$ պայմանին բավարարող α անկյան տակ (Մախի անկյուն, Նկ.1.23):



§ 6. ՃՆՇՈՒՄԸ ՀԵՂՈՒԿՆԵՐՈՒՄ ԵՎ ԳԱԶԵՐՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1.Ճնշումը հեղուկներում և գազերում

• Ճնշում.

$$p = \frac{F}{S}, \quad (1.6.1)$$

որտեղ F -ը S մակերեսի վրա ազդող ճնշման ուժի մոդուլն է: (1.6.1) բանաձևը ճիշտ է երկու պայմանի դեպքում՝ **ա)** ուժն ուղղված է մակերեսի նորմալով; **բ)** ուժը մակերևույթի բոլոր կետերին հավասարապես է ազդում: Եթե F ուժը S մակերեսի նորմալի նկատմամբ ազդում է α անկյան տակ, ապա $p = \frac{F \cos \alpha}{S}$: Հեղուկների և գազերի կողմից գործադրվող ճնշման ուժը միշտ բավարարում է **ա)** պայմանին: Եթե **բ)** պայմանը խախտված է, ապա (1.6.1)-ը կլինի մակերեսի վրա ազդող միջին ճնշումը՝ $\langle p \rangle$: Ճնշման միավորը ՄՀ-ում $1 \text{ Ն/մ}^2 = 1 \text{ Պա}$, իսկ ԳՀ-ում՝ 1 դին/սմ^2 : $1 \text{ Ն/մ}^2 = 10 \text{ դին/սմ}^2$: 10^5 Պա -ին անվանում են 1 բար՝ $1 \text{ բար} = 10^5 \text{ Պա} = 10^6 \text{ դին/սմ}^2$:

• Պասկալի օրենքը.

Արտաքին ուժերի կողմից հեղուկի (գազի) վրա գործադրած ճնշումը առանց փոփոխության փոխանցվում է հեղուկի (գազի) բոլոր կետերին՝ բոլոր ուղղություններով:

- **Հիդրոստատիկ ճնշում.**

Հեղուկի կշռով պայմանավորված ճնշումը՝

$$p_h = \rho gh, \quad (1.6.2)$$

որտեղ ρ -ն հեղուկի խտությունն է, իսկ h -ը՝ դիտարկվող կետից վերև գտնվող հեղուկի սյան բարձրությունը:

- **Հեղուկի տվյալ կետի ճնշումը.**

$$p = p_0 + p_h, \quad (1.63)$$

որտեղ p_0 -ն արտաքին ճնշումն է (օրինակ, մթնոլորտի ճնշումը), իսկ p_h -ն՝ հիդրոստատիկ ճնշումը:

2. Արքիմեդի ուժը

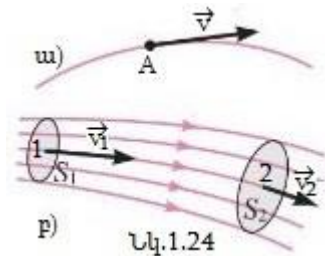
$$F_{\text{Ա}} = \rho g V_{\text{Ը}}, \quad (1.6.4)$$

որտեղ ρ -ն հեղուկի (գազի) խտությունն է, իսկ $V_{\text{Ը}}$ -ն՝ մարմնի ընկղմված մասի ծավալը:

3. Հեղուկի շարժումը

- **Հեղուկի հոսանքի գիծ.**

Այն գիծը, որի ամեն մի կետով տարված շոշափողի երկայնքով է ուղղված ժամանակի տվյալ պահին այդ կետով անցնող մասնիկի արագությունը (Նկ.1.24ա), կոչվում է հոսանքի գիծ:



Հոսանքի գծերով սահմանափակված հեղուկի ցանկացած մասին անվանում են հոսանքի խողովակ:

- **Հեղուկի ստացիոնար (մնայուն) շարժում.**

Եթե հեղուկի մասնիկների արագությունների վեկտորական դաշտը կամ հոսանքի գծերի տեսքը ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում, ապա հեղուկի շարժումը համարվում է ստացիոնար (մնայուն):

- **Անընդհատության (անխզելիության) հավասարումը.**

$$S_1 v_1 = S_2 v_2, \quad (1.6.5)$$

որտեղ S_1 -ը և S_2 -ը հեղուկի հոսանքի խողովակի երկու մասերի լայնական հատույթի մակերեսներն են, իսկ v_1 -ը և v_2 -ը՝ հեղուկի հոսքի արագություններն այդ կտրվածքներում (Նկ.1.24բ): Անընդ-

հատության (1.6.5) հավասարումը ճիշտ է իդեալական անսեղմելի հեղուկի ստացիոնար հոսքի համար: Այդ հավասարումը գազերի համար ճիշտ է այն դեպքում, եթե դրանց սեղմելիությունը կարելի է անտեսել:

4. Բեռնուլիի հավասարումը

Բեռնուլիի հավասարումը վերաբերվում է ρ խտությամբ իդեալական հեղուկի ստացիոնար շարժմանը, երբ այն գտնվում է ծանրության ուժի դաշտում:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g h_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g h_2, \quad (1.6.6)$$

որտեղ աջ և ձախ մասերը վերաբերվում են հեղուկի միևնույն հոսանքի զծի 1 և 2 կետերին (Նկ.1.24բ): h_1 -ը 1 կետի բարձրությունն է պոտենցիալ էներգիայի զրոյական մակարդակից, իսկ h_2 -ը՝ 2 կետինը: p_1 -ը ճնշումն է հեղուկի 1 կետում, իսկ p_2 -ը՝ 2 կետում: Բեռնուլիի հավասարումը ճիշտ է անսեղմելի իդեալական հեղուկի ստացիոնար հոսքի համար: Այսինքն, երբ բացակայում են հեղուկի ներքին շփման ուժերը: Բեռնուլիի հավասարումը գազերի համար ճիշտ է այն դեպքում, եթե դրանց սեղմելիությունը կարելի է անտեսել: Հակառակ դեպքում օգտագործվում է $C_{p1}T_1 + \frac{Mv_1^2}{2} = C_{p2}T_2 + \frac{Mv_2^2}{2}$ հավասարումը, որտեղ C_p -ն մոլային ջերմունակությունն է p ճնշման դեպքում, T -ն գազի բացարձակ ջերմաստիճանը, M -ը՝ մոլային զանգվածը:

5. Մածուցիկ հեղուկի կամ գազի հոսանքը

• Հեղուկի կամ գազի ներքին շփման (մածուցիկության) ուժերը.

$$F = \eta \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right| S, \quad (1.6.7)$$

որտեղ η -ն դինամիկ մածուցիկության գործակիցն է, կամ մածուցիկությունը, դրա միավորը ՄՀ-ում $1 \text{ Պա} \cdot \text{վ}$ է, իսկ ԳՀ-ում՝ 1 պուազ : $1 \text{ պուազ} = \frac{\text{դին} \cdot \text{վ}}{\text{սմ}^2}$: $1 \text{ Պա} \cdot \text{վ} = 10 \text{ պուազ}$: $\frac{\partial v}{\partial z}$ -ը արագության գրադիենտն է հոսքի ուղղությանն ուղղահայաց OZ առանցքի ուղղությամբ, իսկ S -ը՝ միմյանց նկատմամբ շարժվող շերտերի հպման մակերևույթի մակերեսը: Հեղուկի հոսքի արագությունը, ինչպես նաև ներքին շփման ուժերն ուղղված են այդ մակերևույթի շոշափողով:

- **Ռեյնոլդսի թիվը.**

Մածուցիկ հեղուկի (գազի) շարժումը կոչվում է լամինար (գուգահեռաշերտ), եթե հեղուկի (գազի) հարևան շերտերի միջև նյութի խառնվելու պրոցեսը բացակայում է: Հակառակ դեպքում հեղուկի (գազի) շարժումը կոչվում է տուրբուլենտ (մրրկային): Հեղուկի (գազի) շարժման լամինար լինելը կախված է Ռեյնոլդսի թվից.

$$Re = \frac{\rho v r}{\eta}, \quad (1.6.8)$$

որտեղ v -ն հոսանքի բնութագրական արագությունն է, r -ը՝ երկարության բնութագրական չափը, օրինակ, այն խողովակի շառավիղը, որով հոսում է հեղուկը կամ գազը (հեղուկում կամ գազում շարժվող գնդիկի շառավիղը): Ռեյնոլդսի թվի կարգը հավասար է հեղուկի կինետիկ էներգիայի և այն աշխատանքի հարաբերությանը, որը կատարում են մածուցիկության ուժերը բնութագրական երկարության վրա: Հոսքը լամինար է, եթե $Re \ll Re_{\text{կր}}$ և տուրբուլենտ, եթե $Re \gg Re_{\text{կր}}$ ($Re_{\text{կր}}$ -ն Ռեյնոլդսի թվի կրիտիկական արժեքն է):

- **Հեղուկների և գազերի հոսքի արագությունը կլոր խողովակով.**

$$v = v_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right); \quad v_0 = \frac{R^2(p_1 - p_2)}{4\eta l}, \quad (1.6.9)$$

որտեղ r -ը խողովակի առանցքից եղած հեռավորությունն է, R -ը՝ խողովակի շառավիղը, l -ը՝ երկարությունը, $(p_1 - p_2)$ -ը՝ ճնշումների տարբերությունը խողովակի ծայրերի միջև, իսկ v_0 -ն հոսանքի արագությունն է խողովակի առանցքի կետերում: (1.6.9) բանաձևը ճիշտ է հեղուկի և գազի լամինար շարժման համար, իսկ Ռեյնոլդսի կրիտիկական թիվն այս դեպքում՝ $Re_{\text{կր}} \approx 1000$:

- **Պուազեյլի բանաձևը.**

R շառավիղով խողովակի լայնական հատույթով 1վ-ում անցած հեղուկի կամ գազի ծավալը՝

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta l}, \quad (1.6.10)$$

Պուազեյլի բանաձևը ճիշտ է միայն լամինար հոսքի համար:

- **Մթոքսի բանաձևը.**

$$F = 6\pi\eta r v, \quad (1.6.11)$$

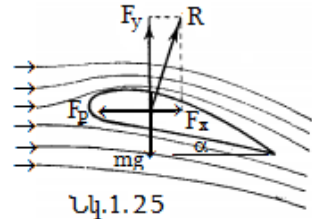
որտեղ F -ը հեղուկում կամ գազում v արագությամբ շարժվող r շառավղով գնդիկի վրա ազդող դիմադրության ուժն է: (1.6.11) բանաձևը ճիշտ է միայն լամինար հոսքի դեպքում, իսկ Ռեյնոլդսի կրիտիկական թիվն այս դեպքում՝ $Re_{կր} \approx 1$:

• **Հեղուկում (գազում) շարժվող մարմնի վրա ազդող վերամբարձ ուժը.**

Երբ մարմինը շարժվում է հեղուկում (գազում), ապա նրա վրա կազդի դիմադրության և վերամբարձ ուժ (Նկ.1.25):

$$F_x = \frac{1}{2} C_x \rho v^2 S; \quad F_y = \frac{1}{2} C_y \rho v^2 S; \quad (1.6.12)$$

որտեղ C_x անչափ մեծությունը կոչվում է դիմադրության գործակից, ρ -ն՝ հեղուկի (գազի) խտությունն է, որում մարմինը v արագությամբ շարժվում է, S -ը մարմնի լայնական հատույթի ամենամեծ մակերեսը, C_y -ը՝ վերամբարձ ուժի անչափ գործակիցը: Եթե մարմինը գունդ է կամ գլան, ապա $C_y = 0$, իսկ $C_x \neq 0$:



§ 7. ՌԵԼՅՍՏԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Այնշտայնի կանխադրությունները.

Առաջին կանխադրություն.

Բնության օրենքները նկարագրող հավասարումները բոլոր հաշվարկման իներցիալ համակարգերում (ՀԻՀ) ունեն նույն տեսքը:

Այս կանխադրությից հետևում է, որ ոչ մի փորձով (մեխանիկական, էլեկտրամագնիսական, օպտիկական) հնարավոր չէ պարզել՝ ՀԻՀ-ը դադարի վիճակում է, թե՞ շարժվում է:

Երկրորդ կանխադրություն.

Վակուումում լույսի $c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ արագությունը նույնն է բոլոր ՀԻՀ-ում և կախված չէ ոչ լույսի աղբյուրի, ոչ էլ լույսը գրանցող սարքի արագությունից:

Այնշտայնի կանխադրություններից հետևում է, որ լույսի արագու-

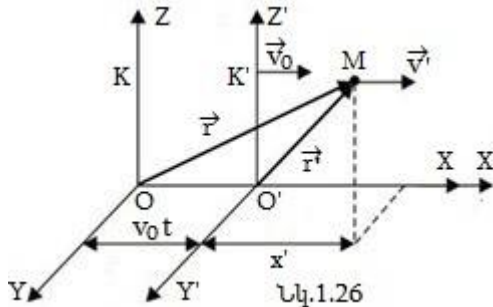
թյունը վակուումում բնության մեջ բոլոր փոխազդեցությունների տարածման հնարավոր ամենամեծ արագությունն է:

2. Լորենցի ձևափոխությունները

$$x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - x v_0 / c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (1.7.1)$$

որտեղ $\beta^2 = \frac{v_0^2}{c^2}$, իսկ x, y, z , t են K համակարգում ինչ-որ պատահարի կոորդինատներն ու ժամանակն են, x', y', z', t' -ը՝ նույն պատահարի կոորդինատներն ու ժամանակն են K' համակարգի նկատմամբ, որը K -ի նկատմամբ շարժվում է $\vec{v}_0 = \text{const}$ արագությամբ ($v_{0x} = v_0$;

$v_{0y} = v_{0z} = 0$): Ժամանակի հաշվման սկիզբը ($t'_0 = t_0 = 0$) երկու համակարգերում էլ վերցված է ժամանակի այն պահը, երբ դրանց O և O' սկզբնակետերն իրար հետ համընկած են եղել: (1.7.1) ձևափոխությունները տալիս են K համակարգից K' -ին անցումները, երբ K' համակարգը K -ի նկատմամբ v_0 արագությամբ շարժվում է OX առանցքի դրական ուղղությամբ (Նկ.1.26):



Նյուտոնյան մեխանիկայում շարժման արագությունները շատ փոքր են լույսի արագությունից և $\frac{v_0}{c} \rightarrow 0$; $\beta^2 = \frac{v_0^2}{c^2} \rightarrow 0$: Այս դեպքում (1.7.1) ձևափոխությունները անցնում են Գալիլեյի ձևափոխություններին՝

$$x' = x - v_0 t; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = t \quad \text{կամ} \\ \vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}_0 \cdot t; \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}_0 \cdot t:$$

3. Ինտերվալ

$$s^2 = c^2(\Delta t)^2 - l^2, \quad (1.7.2)$$

որտեղ s -ը պատահարների միջև ինտերվալն է, Δt -ն՝ այդ պատահարների մեջև ընկած ժամանակն է, իսկ l -ը՝ այն կետերի միջև

եղած հեռավորությունը, որտեղ տեղի են ունեցել տվյալ պատահարները: Ինտերվալն ինվարիանտ մեծություն է, այսինքն կախված չէ հաշվարկման իներցիալ համակարգի ընտրությունից: Պատճառահետևանքային կապով պատահարների համար (1.7.2) արտահայտության աջ մասը բացասական չէ՝ $c\Delta t \geq l_{12}$ (ժամանականման ինտերվալ): Եթե $c\Delta t < l_{12}$, ապա ինտերվալը կեղծ է, պատահարների միջև չկա պատճառահետևանքային կապ (տարածանման ինտերվալ):

4. Երկարության ռելյատիվիստական (լորենցյան) կրճատում

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta = v_0/c, \quad (1.7.3)$$

որտեղ l_0 -ն ձողի երկարությունն է իր հետ կապված K հաշվարկման համակարգում (սեփական երկարություն), l -ը ձողի երկարությունը նրա երկայնքով v_0 արագությամբ շարժվող K' հաշվարկման համակարգի նկատմամբ:

5. Ժամանակի ռելյատիվիստական դանդաղում

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (1.7.4)$$

որտեղ Δt_0 -ն K' շարժվող համակարգի միևնույն կետում տեղի ունեցող երկու պատահարների մեջն ընկած ժամանակն է, չափված այդ համակարգի հետ ամրացված ժամացույցով, որին անվանում են սեփական ժամանակ, իսկ Δt -ն՝ այդ պատահարների մեջն ընկած ժամանակն է, չափված K համակարգի ժամացույցով, որի նկատմամբ v_0 արագությամբ շարժվում է K' համակարգը:

6. Արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքը

$$v_x = \frac{v'_x + v_0}{1 + v'_x v_0/c^2}; \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + v'_x v_0/c^2}; \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + v'_x v_0/c^2}, \quad (1.7.5)$$

որտեղ v' -ը M մարմնի արագությունն է K' համակարգի նկատմամբ (v'_x -ը, v'_y -ը, v'_z -ը դրա պրոյեկցիաները), v -ն M մարմնի արագությունն է K համակարգի նկատմամբ (v_x -ը, v_y -ը, v_z -ը դրա պրոյեկցիաները):

Եթե (1.7.5) -ում համարենք $v'_x = v_0 = c$, $v'_y = v'_z = 0$, ապա կունենանք $v_x = c$, $v_y = v_z = 0$:

7. Հարաբերական արագության մոդուլը

$$v_h = \frac{\sqrt{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2 - \frac{(\vec{v}_1 \times \vec{v}_2)^2}{c^2}}}{1 - \frac{\vec{v}_1 \vec{v}_2}{c^2}}; \quad (1.7.6)$$

Երբ մարմինները շարժվում են իրար ընդառաջ նույն v արագությամբ, ապա նրանց հարաբերական արագությունը կլինի՝ $v_h = \frac{2v}{1 + \frac{v^2}{c^2}}$: Եթե այստեղ վերցնենք $v = c$, ապա կունենանք $v_h = c$:

8. Մարմնի իմպուլսը

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad (1.7.7)$$

9. Ռելյատիվիստական դինամիկայի հիմնական հավասարումը

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad (1.7.8)$$

10. Ռելյատիվիստական արագությամբ շարժվող մարմնի էներգիան

• Լրիվ էներգիա.

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = E_0 + T_{\text{կ}}, \quad (1.7.9)$$

որտեղ $T_{\text{կ}}$ -ն մարմնի կինետիկ էներգիան է:

• Հանգստի էներգիա.

$$E_0 = m_0 c^2; \quad (1.7.10)$$

• Կինետիկ էներգիա.

$$T_{\text{կ}} = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1 \right); \quad (1.7.11)$$

• Էներգիայի և իմպուլսի կապը.

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + E_0^2}; \quad (1.7.12)$$

• Իմպուլսի և կինետիկ էներգիայի կապը.

$$pc = \sqrt{T_{\text{կ}}(T_{\text{կ}} + 2m_0 c^2)}; \quad (1.7.13)$$

11. Ազատ մասնիկի էներգիայի և իմպուլսի ձևափոխությունը

$$E = \frac{E' + \beta p'_x}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad p_x = \frac{p'_x + \frac{\beta}{c} E'}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad p_y = p'_y; \quad p_z = p'_z; \quad (1.7.14)$$

ԳԼՈՒԽ 2. ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ ԵՎ ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ

§1. ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ - ԿԻՆԵՏԻԿ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ: ԻԴԵԱԼԱԿԱՆ ԳԱԶԻ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ

Հիմնական հասկացությունները և բանաձևերը

1. Նյութի քանակ, նյութի մասնիկների զանգվածը

• Նյութի քանակ.

$$\nu = m/M = N/N_U, \quad (2.1.1)$$

որտեղ m -ը նյութի զանգվածն է, M -ը՝ մոլային զանգվածը (նյութի 1 մոլի զանգվածը, դրա միավորը ՄՀ-ում 1կգ/մոլ), N -ը՝ նյութի մասնիկների (ատոմների կամ մոլեկուլների) թիվը, իսկ N_U -ն՝ Ավոգադրոյի հաստատունը (մասնիկների թիվը մեկ մոլում՝ $N_U = 6,02 \cdot 10^{23}$ մոլ $^{-1}$) :

• Նյութի մասնիկի զանգվածը.

$$m_0 = M/N_U = m/N: \quad (2.1.2)$$

2. Մասնիկների կոնցենտրացիան.

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\rho}{m_0}, \quad (2.1.3)$$

որտեղ ρ -ն նյութի խտությունն է, իսկ V -ն՝ ծավալը:

3. Մասնիկների միջին կինետիկ էներգիան և արագությունը

• Մեկ մասնիկի համընթաց շարժման միջին կինետիկ էներգիան.

$$\langle w_h \rangle = i_h kT/2, \quad (2.1.4)$$

որտեղ $i_h = 3$ (մասնիկի համընթաց շարժման ազատության աստիճանների թիվը), k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը՝ $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ, իսկ T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

• Մեկ մասնիկի պտտական շարժման միջին կինետիկ էներգիան.

$$\langle w_{\text{պտ}} \rangle = i_{\text{պտ}} kT/2, \quad (2.1.5)$$

որտեղ $i_{\text{պտ}} = 2$ (մասնիկի պտտական ազատության աստիճանների թիվը):

• Մեկ մասնիկի տատանողական շարժման միջին կինետիկ էներգիան.

$$\langle w_{\text{տ}} \rangle = i_{\text{տ}} kT, \quad (2.1.6)$$

որտեղ $i_{\text{տ}} = 1$ (մասնիկի տատանողական ազատության աստիճանների թիվը):

- Մասնիկի շարժման միջին քառակուսային արագությունը.

$$\langle v_p \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad (2.1.7)$$

որտեղ R -ը գազային հիմնարար հաստատունն է՝ $R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Ջ}}{\text{մոլ} \cdot \text{Կ}}$:

- Բացարձակ ջերմաստիճանի կապը Ցելսիուսի սանդղակի t ջերմաստիճանի հետ.

$$T = 273 + t^0:$$

- Ֆարենհայտի ջերմաստիճանի կապը Ցելսիուսի սանդղակի t ջերմաստիճանի հետ.

$$t_F = 32 + 1,8t^0:$$

4. Մոլեկուլային-կինետիկ տեսության հիմնական հավասարումը

$$p = \frac{2}{3} n \langle w_h \rangle = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_p \rangle^2 = \frac{1}{3} \rho \langle v_p \rangle^2, \quad (2.1.8)$$

որտեղ p -ն գազի ճնշումն է:

5. Իդեալական գազի վիճակի հավասարումը

- Կլապեյրոնի հավասարումը.

Երբ գազի m զանգվածը հաստատուն է.

$$\frac{pV}{T} = \text{const}: \quad (2.1.9)$$

- Կլապեյրոն-Մենդելևեի հավասարումը.

$$pV = \nu RT: \quad (2.1.10)$$

- Գազի ճնշման, կոնցենտրացիայի և ջերմաստիճանի կապը.

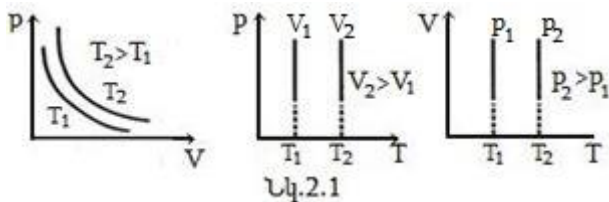
$$p = nkT: \quad (2.1.11)$$

6. Գազային օրենքները

- Բոյլ-Մարիոտի օրենքը.

Երբ գազի m զանգվածը և T ջերմաստիճանը հաստատուն են (Նկ.2.1).

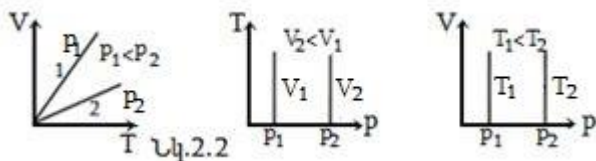
$$pV = \text{const}: \quad (2.1.12)$$



• Գեյ-Լյուսակի օրենքը.

Երբ գազի m զանգվածը և p ճնշումը հաստատուն են (Նկ.2.2).

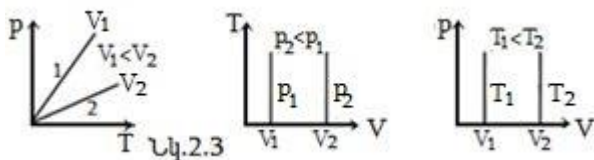
$$\frac{V}{T} = \text{const}: \quad (2.1.13)$$



• Շառլի օրենքը.

Երբ գազի m զանգվածը և V ծավալը հաստատուն են (Նկ.2.3).

$$\frac{p}{T} = \text{const}: \quad (2.1.14)$$



7. Դալտոնի օրենքը

Տարբեր գազերի խառնուրդի ճնշումը.

$$p = \sum_i p_i, \quad (2.1.15)$$

որտեղ p_i -ն խառնուրդի i բաղադրիչ գազի ճնշումն է:

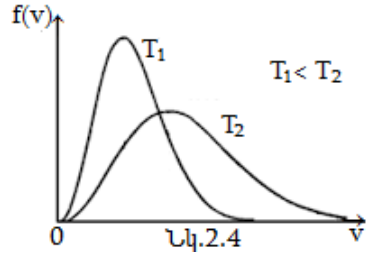
8. Մոլեկուլների բաշխումը ըստ արագությունների

• Ըստ արագությունների մոլեկուլների բաշխման օրենքը.

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv} = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{m_0 v^2}{2kT} \right), \quad (2.1.16)$$

որտեղ $f(v)$ -ն մոլեկուլների ըստ արագությունների բաշխման ֆունկցիան է, dN -ը՝ մոլեկուլների թիվը, որոնց արագությունը է ընկած է v -ից $v+dv$ միջակայքում, N -ը՝ մոլեկուլների ընդհանուր թիվը, m_0 -ն՝

մոլեկուլի զանգվածը, իսկ T -ն՝ գազի ջերմաստիճանը: $f(v)$ ֆունկցիային անվանում են նաև Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիա, որի գրաֆիկը տարբեր ջերմաստիճանների համար բերված է Նկ.2.4-ում:



• **Մաքսվելի բաշխման ֆունկցիայի բերված տեսքը.**

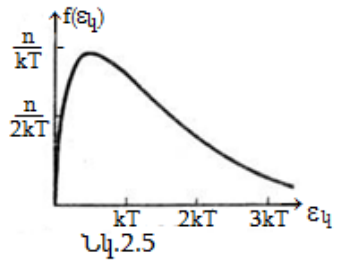
$$f(u) = \frac{dN}{Ndu} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 e^{-u^2}, \quad (2.1.17)$$

որտեղ $u = v/v_{wh}$, իսկ v_{wh} -ն՝ մոլեկուլների ամենահավանական արագությունը ($f(v)$ ֆունկցիայի մաքսիմումին համապատասխանող արագությունը):

• **Հստ համընթաց շարժման կինետիկ էներգիաների մոլեկուլների բաշխման օրենքը.**

$$f(\varepsilon_l) = \frac{2}{\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}} \sqrt{\varepsilon_l} \exp\left(-\frac{\varepsilon_l}{kT}\right), \quad (2.1.18)$$

որտեղ $\varepsilon_l = \frac{m_0 v^2}{2}$ մոլեկուլի համընթաց շարժման կինետիկ էներգիան է (Նկ.2.5):



9. Մոլեկուլների արագությունները

• **Միջին քառակուսային արագությունը.**

$$\langle v_p \rangle = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M} = c\sqrt{3/\gamma}, \quad (2.1.19)$$

որտեղ c -ն մեխանիկական ալիքի կամ ձայնի արագությունն է այդ գազում, իսկ $\gamma = C_p/C_v$ -ն՝ ադիաբատի հաստատունը:

• **Ամենահավանական արագությունը.**

$$v_{wh} = \sqrt{2kT/m_0} = \sqrt{2RT/M} = c\sqrt{2/\gamma}: \quad (2.1.20)$$

• **Միջին թվաբանական արագությունը.**

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = c\sqrt{\frac{8}{\pi\gamma}}: \quad (2.1.21)$$

• **Գազի երկու մոլեկուլների միջին հարաբերական արագությունը.**

$$v_h = \sqrt{2}\sqrt{8kT/\pi m_0} = \sqrt{2}\langle v \rangle: \quad (2.1.22)$$

10. Բոյցմանի բաշխումը

• **Գազի մոլեկուլների բաշխումը ծանրության ուժի դաշտում.**

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{m_0 g h}{kT}\right) = n_0 \exp\left(-\frac{w_{uy}}{kT}\right), \quad (2.1.23)$$

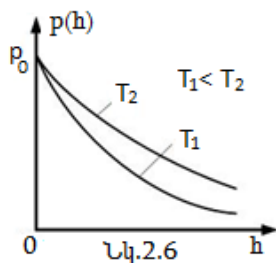
որտեղ n_0 -ն մոլեկուլների կոնցենտրացիան է $h = 0$ սկզբնական մակարդակի վրա (զրոյական պոտենցիալ էներգիայով մոլեկուլների կոնցենտրացիան), իսկ n -ը՝ մոլեկուլների կոնցենտրացիան է h բարձրության վրա (w_{uy} պոտենցիալ էներգիայով մոլեկուլների կոնցենտրացիան): (2.1.23) բանաձևը ճիշտ է, երբ միատեսակ մոլեկուլներից կազմված գազը գտնվում է կամայական պոտենցիալային դաշտում և կոչվում է Բոլցմանի բաշխում: (2.1.23) –ը ճիշտ է, եթե գազի բոլոր կետերում ջերմաստիճանը նույնն է:

• **Բարոմետրական բանաձևը.**

Մթնոլորտի ճնշման կախումը Երկրի մակերևույթից ունեցած h բարձրությունից.

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{m_0 g h}{kT}\right) = p_0 \exp\left(-\frac{M g h}{RT}\right), \quad (2.1.24)$$

որտեղ p_0 -ն գազի (մթնոլորտի) ճնշումն է $h=0$, իսկ p -ն՝ ճնշումը h բարձրության վրա (Նկ.2.6): (2.1.24) –ը ճիշտ է, եթե անտեսվում է ջերմաստիճանի կախումը բարձրությունից:



11. Իդեալական գազի ջերմաստիճանային գործակիցները

• **Իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը.**

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T, \quad (2.1.25)$$

որտեղ V_0 -ն ծավալն է $0^\circ C$ -ում:

• **Ծավալային ընդարձակման գործակից.**

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p: \quad (2.1.26)$$

• **Ճնշման ջերմաստիճանային գործակիցը.**

$$\gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V, \quad (2.1.27)$$

որտեղ p_0 -ն ճնշումն է $0^\circ C$ -ում:

§2. ՋԵՐՄԱԴԻՆԱՄԻԿԱ: ԱՇԽԱՏԱՆՔԸ ՏԱՐԲԵՐ ՊՐՈՑԵՍԵՐՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ներքին էներգիա

Մակրոսկոպական մարմնի ներքին էներգիան հավասար է մարմինը կազմող բոլոր մասնիկների՝ մարմնի զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ քառասային շարժման կինետիկ և բոլոր մասնիկների՝ միմյանց հետ փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիաների գումարին: Ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան ընդհանուր դեպքում կախված է ջերմաստիճանից և ծավալից՝ $U = U(V, T)$: Իդեալական գազի դեպքում՝ $U = U(T)$:

• Իդեալական գազի ներքին էներգիան.

$$U = \frac{i}{2} \nu RT, \quad (2.2.1)$$

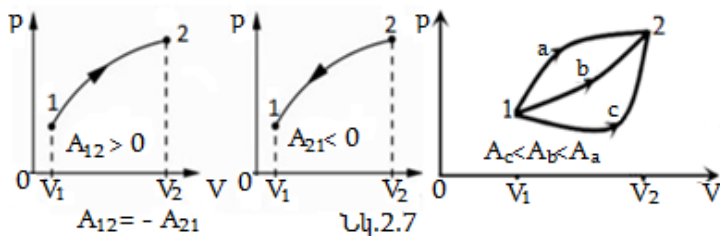
որտեղ i -ն մասնիկի ազատության աստիճանների թիվն է, R -ը՝ գազային հիմնարար հաստատունը, ν -ն՝ նյութի քանակը, իսկ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանը:

2. Աշխատանքը ջերմադինամիկայում

• Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը.

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV: \quad (2.2.2)$$

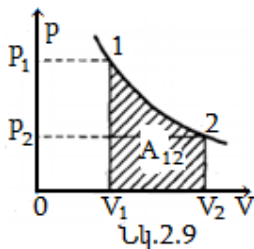
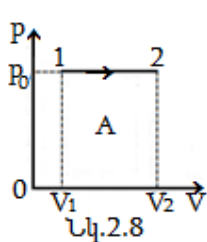
(p, V) հարթության վրա գազի աշխատանքը թվապես հավասար է $p = p(V)$ գրաֆիկի տակի մակերեսին, որն ընկած է V_1 -ից V_2 միջակայքում (Նկ.2.7):



• Ջերմադինամիկական համակարգի կատարած աշխատանքը իզոթալ պրոցեսում (Նկ.2.8).

$$A = p_0(V_2 - V_1); \quad A = \nu R(T_2 - T_1); \quad (2.2.3)$$

որտեղ p_0 -ն ճնշումն է, իսկ T_1 -ը և T_2 -ը՝ սկզբնական և վերջնական ջերմաստիճանները:



Իդեալական

գազի

ընդարձակման աշխատանքը իզոթերմ պրոցեսում (Նկ.2.9).

$$A_{12} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}: \quad (2.2.4)$$

• Իզոխոր պրոցեսում աշխատանքը հավասար է զրոյի :

3. Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը (օրենքը)

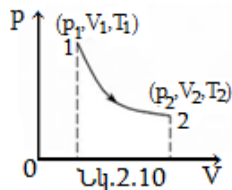
Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը պնդում է՝

1. Ջերմադինամիկական համակարգի ներքին էներգիան հանդիսանում է վիճակի միարժեք ֆունկցիա: Սա նշանակում է, որ կամայական 1 վիճակից կամայական պրոցեսով 2 վիճակը անցնելիս (Նկ. 2.10) ներքին էներգիայի փոփոխությունը նույնն է՝

$$\Delta U = U_2(p_2, V_2, T_2) - U_1(p_1, V_1, T_1):$$

2. Համակարգի ներքին էներգիայի փոփոխությունը հավասար է նրա նկատմամբ արտաքին ուժերի կողմից կատարած A' աշխատանքի և այդ համակարգին հաղորդած կամ նրանից վերցրած Q ջերմաքանակի գումարին՝

$$\Delta U = Q + A': \quad (2.2.5)$$



Եթե նկատի ունենանք, որ համակարգի նկատմամբ կատարված A' աշխատանքը հավասար է համակարգի կողմից արտաքին ուժերի դեմ կատարած A աշխատանքին հակառակ նշանով՝ $A = -A'$, ապա կունենանք՝

$$Q = \Delta U + A: \quad (2.2.6)$$

Այսինքն, ջերմադինամիկական համակարգի կողմից ստացած ջերմաքանակը ծախսվում է նրա ներքին էներգիան մեծացնելու և արտաքին ուժերի դեմ աշխատանք կատարելու վրա: (2.2.5) կամ (2.2.6) առնչությունները հանդիսանում են ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի ինտեգրալ տեսքը:

• **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը իդեալական գազի իզոպրոցեսներում**

ա) Իզոթերմ պրոցես.

Այս պրոցեսի համար $\Delta U = 0$ և կունենանք՝

$$Q = A_{12} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}: \quad (2.2.7)$$

բ) Իզոբար պրոցես.

$$Q = \Delta U + p(V_2 - V_1): \quad (2.2.8)$$

գ) Իզոխոր պրոցես.

$$Q = \Delta U: \quad (2.2.9)$$

• **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի դիֆերենցիալ տեսքը.**

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (2.2.10)$$

որտեղ δQ -ն անվերջ փոքր (տարրական) ջերմաքանակն է, dU -ն՝ ներքին էներգիայի տարրական փոփոխությունը, դա լրիվ դիֆերենցիալ է՝ $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV$, իսկ δA -ն՝ տարրական աշխատանքը: A -ն և Q -ն պրոցեսից կախված մեծություններ են, այդ պատճառով դրանց տարրական արժեքները լրիվ դիֆերենցիալ չեն և գրվել են δA և δQ տեսքով: Ջերմադինամիկայի առաջին սկզբունքը հանդիսանում է էներգիայի պահպանման օրենքը ջերմային երևույթներում:

• **Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքը T և V փոփոխականներով՝**

$$\delta Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p \right] dV : \quad (2.2.11)$$

• **Առաջին սեռի հավերժական շարժիչի անհնարությունը**

Առաջին սեռի հավերժական շարժիչ կոչվում է այն համակարգը, որն արտաքինից էներգիա չստանալով կարող է հավերժ աշխատանք կատարել: Եթե համակարգին ջերմաքանակ չի հաղորդվում, ապա համակարգի կողմից կատարված աշխատանքը կլինի՝ $A = -\Delta U$: Այսինքն, առավելագույն աշխատանքը կարող է հավասար լինել համակարգի ներքին էներգիային, որից հետո ջերմային շարժիչը կանգ կառնի: Իրականում հնարավոր առավելագույն աշխատանքը միշտ փոքր է համակարգի ներքին էներգիայից: Այսպիսով, ջերմադինամիկայի առաջին օրենքն արգելում է առաջին սեռի հավերժական շարժիչների գոյությունը:

4. Ջերմունակություն

Ջերմունակություն կոչվում է այն ջերմաքանակը, որն անհրաժեշտ է համակարգի ջերմաստիճանը 1°C -ով փոփոխելու համար:

$$C = \frac{\delta Q}{dT} : \quad (2.2.12)$$

Քանի որ δQ -ն կախված է պրոցեսի ընթացքից, ուստի C -ն պրոցեսի ֆունկցիա է, դրա միավորը $\text{ՄՋ-ում } 1\text{Ջ/}^\circ\text{C}$:

Միավոր զանգվածի ջերմունակությունը կոչվում է տեսակարար ջերմունակություն՝ $c = C/m$, դրա միավորը $\text{ՄՋ-ում } 1\text{Ջ/կգ}^\circ\text{C}$: Գործնականում առավել նշանակություն ունեն C_p և C_V (ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման և հաստատուն ծավալի դեպքում): Այն ջերմադինամիկական համակարգը, որի $C \rightarrow \infty$, կոչվում է թերմոստատ:

• **Ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում.**

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V : \quad (2.2.13)$$

• **Իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում.**

$$C_V = \frac{i}{2} \nu R : \quad (2.2.14)$$

• **Ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում.**

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p : \quad (2.2.15)$$

կամ

$$C_p - C_V = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p : \quad (2.2.16)$$

• **Իդեալական գազի ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում.**

$$C_p = C_V + \nu R = \frac{i}{2} \nu R + \nu R : \quad (2.2.17)$$

• **Տաքացման և սառեցման ջերմաքանակը.**

$$Q = cm(T_2 - T_1) = C_\mu \nu(T_2 - T_1), \quad (2.2.18)$$

որտեղ C_μ -ն մոլային ջերմունակությունն է, դրա միավորը ՄՋ-ում 1Ջ/մոլ·Կ: Մոլային և տեսակարար ջերմունակությունները կապված են $C_\mu = cM$ առնչությամբ, որտեղ M -ը մոլային զանգվածն է:

• **Ջերմային հաշվեկշռի հավասարումը.**

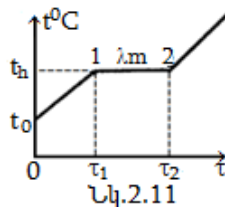
$$\sum_i Q_i = 0, \quad (2.2.19)$$

որտեղ Q_i -ն համակարգի որևէ մասի ստացած կամ տված ջերմաքանակն է: Ընդունված է համակարգի ստացած ջերմաքանակը համարել դրական՝ $Q > 0$, իսկ տվածը՝ $Q < 0$: Այս հավասարումը ճիշտ է մարմինների ջերմամեկուսացված համախմբի համար, երբ դրանց միջև տեղի ունի միայն ջերմափոխանակում:

• **Բյուրեղային մարմնի հալման և հեղուկի բյուրեղացման ջերմաքանակը.**

$$Q = \pm \lambda m, \quad (2.2.20)$$

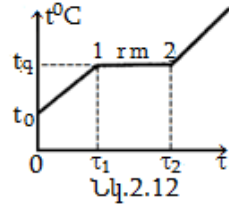
որտեղ λ - ն մարմնի հալման տեսակարար ջերմությունն է, դրա միավորը ՄՋ-ում 1Ջ/կգ: Դրական նշանը վերաբերում է հալմանը, իսկ բացասականը՝ բյուրեղացմանը: Նկ.2.11-ում բերված է բյուրեղային մարմնի ջերմաստիճանի կախումը ժամանակից, երբ այդ մարմնին անընդհատ ջերմաքանակ է հաղորդվում:



• **Հեղուկի շոգեգոյացման և գոլորշու կոնդենսացման (խտացման) ջերմաքանակը.**

$$Q = \pm rm, \quad (2.2.21)$$

որտեղ r -ը շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունն է, դրա միավորը ՄՇ-ում 1Ջ/կգ: Դրական նշանը վերաբերում է շոգեգոյացմանը, իսկ բացասականը՝ գոլորշու կոնդենսացմանը: Նկ.2.12-ում բերված է հեղուկի ջերմաստիճանի կախումը ժամանակից, երբ նրան անընդհատ ջերմաքանակ է հաղորդվում:



• **Վառելանյութի այրումից անջատված ջերմաքանակը.**

$$Q = qm, \quad (2.2.22)$$

որտեղ q -ն վառելանյութի այրման տեսակարար ջերմությունն է, դրա միավորը ՄՇ-ում 1Ջ/կգ:

5. Ադիաբատ պրոցես

Ջերմամեկուսացված համակարգում ընթացող պրոցեսը կոչվում է ադիաբատ: Ադիաբատ պրոցեսում $Q = 0$:

• **Ադիաբատ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը.**

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + \gamma \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV = 0, \quad (2.2.23)$$

որտեղ $\gamma = C_p/C_V$ և կոչվում է ադիաբատի գործակից:

• **Իդեալական գազի ադիաբատ պրոցեսի առնչությունները.**

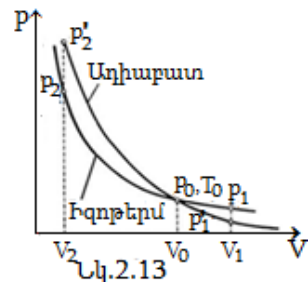
$$pV^\gamma = \text{const}; \quad TV^{\gamma-1} = \text{const}; \quad \frac{p^{\gamma-1}}{T^\gamma} = \text{const}, \quad (2.2.24)$$

որտեղ $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = (i+2)/i$ -ն Պուասոնի գործակիցն է:

• **Իդեալական գազի աշխատանքը ադիաբատ պրոցեսում.**

$$A = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]: \quad (2.2.25)$$

Նկ.2.13-ում բերված է նույն գազի հետ իրականացրած ադիաբատ և իզոթերմ պրոցեսների գրաֆիկների դասավորությունը: Այդ գրաֆիկի օգնությամբ կարելի է հետևություններ անել ադիաբատ և իզոթերմ սեղման ու ընդարձակման աշխատանքների հարաբերակցության մասին:



6. Պոլիտրոպ պրոցես

Այն պրոցեսը, որում ջերմունակությունը մնում է հաստատուն, կոչվում է պոլիտրոպ:

• Պոլիտրոպ պրոցեսի դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp + \frac{C_p - C}{C_V - C} \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV = 0: \quad (2.2.26)$$

• Իդեալական գազի պոլիտրոպ պրոցեսի առնչությունները.

$$pV^n = \text{const}; \quad TV^{n-1} = \text{const}; \quad \frac{p^{n-1}}{T^n} = \text{const}, \quad (2.2.27)$$

որտեղ $n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$ -ը պոլիտրոպի ցուցիչն է:

• Իդեալական գազի աշխատանքը պոլիտրոպ պրոցեսում.

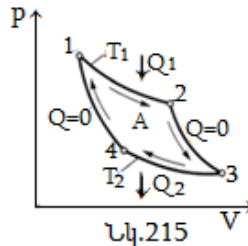
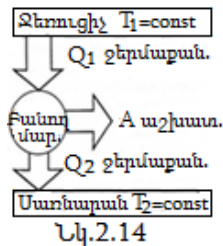
$$A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]: \quad (2.2.28)$$

§3. ՋԵՐՄԱՂԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ: ՋԵՐՄԱՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ջերմային մեքենաներ (շարժիչներ)

Ջերմային մեքենաներ կոչվում են այն սարքավորումները, որոնք ջերմային էներգիան փոխակերպում են մեխանիկական աշխատանքի: Նկ.2.14-ում բերված է ջերմային մեքենայի կառուցվածքի սկզբունքը:



Բոլոր ջերմային մեքենաները կազմված են երեք հիմնական մասերից՝ ջեռուցիչից, սառնարանից և բանոդ մարմնից: Բանոդ մարմինը, որը սովորաբար գազ է, ջեռուցիչի վերցնում է Q_1 ջերմաքանակ, կատարում է ինչ որ աշխատանք, Q_2 ջերմաքանակ տալիս է սառնարանին և գալիս է ելման վիճակին:

• **Ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն.**

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}, \quad (2.3.1)$$

որտեղ $A = Q_1 - |Q_2|$ -ը մեքենայի կատարած մեխանիկական աշխատանքն է:

2. Կառնոյի ցիկլը

Կառնոյի ցիկլը երկու իզոթերմից (1-2; 3-4) և երկու ադիաբատից (2-3; 4-1) կազմված շրջելի ցիկլ է (Նկ.2.15):

• **Շրջելի կոչվում է այն հավասարակշիռ ջերմադինամիկական պրոցեսը, որն ուղիղ և հակառակ ուղղությամբ անցնում է բոլոր նույն միջանկյալ վիճակները և առանց էներգիա ծախսելու վերադառնում է սկզբնական վիճակին:** Այս ընթացքում շրջապատող միջավայրում մակրոսկոպական փոփոխություն չի լինում: Շրջելի պրոցեսի ՕԳԳ-ն առավելագույնն է:

• **Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն.**

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (2.3.2)$$

որտեղ T_1 -ը ջեռուցչի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ առնարանինը:

• **Կառնոյի առաջին թեորեմը.**

Կառնոյի ցիկլով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ն կախված է միայն ջեռուցչի և սառնարանի ջերմաստիճաններից, բայց կախված չէ մեքենայի կառուցվածքից ու բանող մարմնի նյութի տեսակից:

• **Կառնոյի երկրորդ թեորեմը.**

Ցանկացած ջերմային մեքենայի η' ՕԳԳ-ն, որն աշխատում է ոչ շրջելի պրոցեսով, փոքր է Կառնոյի շրջելի պրոցեսով աշխատող ջերմային մեքենայի ՕԳԳ-ից, դրանց ջեռուցիչների և սառնարանների միևնույն ջերմաստիճանների դեպքում՝ $\eta' < \frac{T_1 - T_2}{T_1}$:

Այս թեորեմից հետևում է, ջերմային մեքենաների ՕԳԳ-ն չի կարող լինել 100%: Այսինքն, ջերմային մեքենաները ջերմության քանակի միայն մի մասը կարող են փոխակերպել աշխատանքի, մնացած մասը փոխանցվում է շրջապատող միջավայրին: 100% ՕԳԳ ունեցող

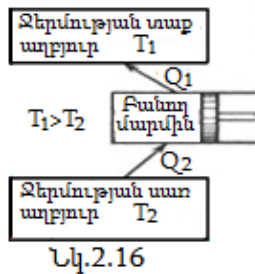
ջերմային շարժիչներին անվանում են երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ:

3. Սառնարան

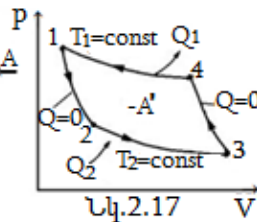
Այն սարքավորումները, որոնք ավելի սառը մարմնից ջերմաքանակը փոխանցում են տաք մարմնին, կոչվում են սառնարաններ:

Նկ.2.16-ում բերված է սառնարանի աշխատանքի սկզբունքը: Բանոլ մարմնի նկատմամբ մեկ ցիկլի ընթացքում կատարվում է A' աշխատանք, որի արդյունքում այն սառը մարմնից վերցնում է Q_2 ջերմաքանակ և տաք մարմնին փոխանցում է Q_1 ջերմաքանակ, ընդ որում

$$Q_1 = A' + Q_2 :$$



Նկ.2.16



Նկ.2.17

• Սառնարանի սառեցման գործակից.

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} : \quad (2.3.3)$$

• Կառնոյի հակադարձ ցիկլով աշխատող մեքենայի սառեցման գործակիցը (Նկ.2.17).

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} , \quad (2.3.4)$$

որտեղ T_1 -ը տաք ռեզերվուարի ջերմաստիճանն է, իսկ T_2 -ը՝ սառեցվող մարմնի ջերմաստիճանը:

4. Էնտրոպիա

Էնտրոպիան համակարգի վիճակի պարամետր է, որի փոփոխությունը շրջելի պրոցեսի համար հանդիսանում է հետևյալը.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} , \quad (2.3.5)$$

որտեղ 1-ը և 2-ը համակարգի սկզբնական և վերջնական վիճակներն են: Իզոթերմ պրոցեսների համար $\Delta S = Q/T$:

• **Ոչ շրջելի պրոցեսների համար.**

$$\Delta S > \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} : \quad (2.3.6)$$

Այսպիսով՝ ջերմամեկուսացված համակարգի էնտրոպիան շրջելի փակ պրոցեսների համար մնում է հաստատուն և աճում է ոչ շրջելի պրոցեսների դեպքում՝ $\Delta S \geq 0$:

• **Իդեալական գազի էնտրոպիան.**

ա) Արտահայտված ջերմաստիճանով և ծավալով.

$$S = Nk \ln \frac{V}{N} + C_V \ln kT + NkS_0, \quad (2.3.7)$$

որտեղ $C_V = \frac{i}{2}Nk$ ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում, S_0 -ն՝ հաստատուն է:

բ) Արտահայտված ջերմաստիճանով և ճնշումով.

$$S = C_p \ln kT - Nk \ln p + NkS_0, \quad (2.3.8)$$

որտեղ $C_p = C_V + kN$ ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում: Եթե գազի մասնիկների թիվը հաստատուն է, ապա հարմար է օգտվել $S = C_V \ln T + \nu R \ln V + S_0$ բանաձևից:

• **Էնտրոպիայի փոփոխությունը, երբ գազի մասնիկների N թիվը մնում է հաստատուն.**

$$\Delta S = Nk \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{կամ} \quad \Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - Nk \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (2.3.9)$$

5. Ջերմադինամիկայի երկրորդ սկզբունքը (օրենքը)

Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի համարժեք ձևակերպումները.

1. Անհնարին է ստեղծել ցիկլիկ պրոցես, որի գործողության միակ արդյունքը լինի ջերմության աղբյուրի ջերմաստիճանի իջեցման հաշվին մեխանիկական աշխատանքի կատարումը (Կելվինի ձևակերպումը):

2. Անհնարին է ստեղծել պարբերաբար պրոցեսով գործող մեքենա, որի բոլոր գործողությունները հանգեն ջերմության աղբյուրի ջեր-

մաստիճանի իջեցման հաշվին ծանրություն բարձրացնելուն (Պլանկի ձևակերպումը):

3. Ջերմաքանակն ինքնակամ կերպով չի կարող սառը մարմնից անցնել տաք մարմնին (Կլաուզիուսի ձևակերպումը):

4. Հնարավոր չէ կառուցել երկրորդ սեռի հավերժական շարժիչ:

5. Ջերմամեկուսացված համակարգի էնտրոպիան շրջելի ցիկլային պրոցեսների համար մնում է հաստատուն և աճում է ոչ շրջելի պրոցեսներում՝ $\Delta S \geq 0$:

6. Ջերմադինամիկայի երրորդ սկզբունքը

Ջերմադինամիկայի երրորդ օրենքը համակարգի քվանտային հատկությունների հետևանք է և պնդում է, որ բացարձակ զրո ջերմաստիճանում համակարգի էնտրոպիան կախված չէ համակարգի վիճակը նկարագրող պարամետրերից և այն հավասար է անորոշ հաստատունի, որը վերցվում է հավասար զրոյի՝

$$\lim_{T \rightarrow 0} [S(T, p_1, V_1, \dots) - S(T, p_2, V_2, \dots)] = 0:$$

7. Ջերմադինամիկական ֆունկցիաներ(պոտենցիալներ)

• Ջերմադինամիկայի հիմնական հավասարումը շրջելի պրոցեսի համար.

$$TdS = dU + pdV: \quad (2.3.10)$$

• Ջերմադինամիկական համակարգի էնթալպիան.

$$H = U + pV: \quad (2.3.11)$$

• Ջերմադինամիկական համակարգի ազատ էներգիան.

$$F = U - TS: \quad (2.3.12)$$

• Գիբսի ջերմադինամիկական պոտենցիալը.

$$G = U + pV - TS = H - TS: \quad (2.3.13)$$

• Գիբս - Հելմհոլցի հավասարումները.

$$U = F - T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V; \quad H = G - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p: \quad (2.3.14)$$

• Համակարգի ծավալը.

$$V = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T; \quad V = \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_S: \quad (2.3.15)$$

• Համակարգի ճնշումը.

$$p = \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_S: \quad (2.3.16)$$

- Համակարգի ջերմաստիճանը.

$$T = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_p : \quad (2.3.17)$$

- Համակարգի էնտրոպիան.

$$S = - \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V ; \quad S = - \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p : \quad (2.3.18)$$

- Էնտրոպիայի վիճակագրական սահմանումը.

$$S = k \ln \Omega , \quad (2.3.19)$$

որտեղ $\Omega (E_n)$ -ը E_n էներգիայով միկրովիճակների թիվն է:

§4. ՓՈԽԱՆՑՄԱՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Գազի մոլեկուլների բախումները

- Գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը.

$$\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} , \quad (2.4.1)$$

որտեղ d -ն մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծն է:

- Միավոր ժամանակում մեկ մոլեկուլի բախումների միջին թիվը.

$$\langle z \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle l \rangle} : \quad (2.4.2)$$

- Առանց բախվելու s ճանապարհի անցնելու հավանականությունը,

$$P = \frac{N}{N_0} = \exp \left(- \frac{s}{\langle l \rangle} \right), \quad (2.4.3)$$

որտեղ N_0 -ն մոլեկուլների ընդհանուր թիվն է, իսկ N -ը՝ մոլեկուլների թիվը, որոնք ժամանակի կամայական պահից հաշված առանց բախման անցել են s ճանապարհ:

- Միավոր ժամանակում տեղամասի միավոր մակերեսի վրա ընկնող մոլեկուլների թիվը.

$$\frac{\Delta N}{St} = \frac{n \langle v \rangle}{4} : \quad (2.4.4)$$

Եթե գազի բոլոր մոլեկուլների արագությունների մոդուլները վերցվեն իրար հավասար, ապա $\frac{\Delta N}{St} = \frac{nv}{6} :$

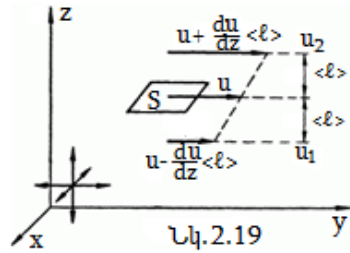
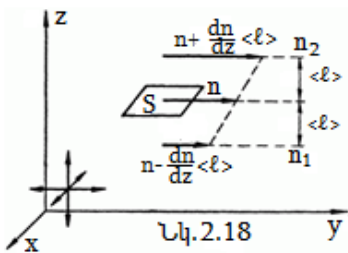
2. Տեղափոխման երևույթներ

- Դիֆուզիայի հավասարումը.

$$J_N = -D \frac{\partial n}{\partial z}, \quad (2.4.5)$$

որտեղ J_N -ը դիֆուզիայի հետևանքով OZ առանցքի ուղղահայաց ուղղությամբ միավոր ժամանակում, միավոր մակերեսով անցնող մոլեկուլների թիվն է (դիֆուզիոն հոսքը, Նկ.2.18), $\frac{\partial n}{\partial z}$ -ը՝ կոնցենտրացիայի գրադիենտն է այդ առանցքի ուղղությամբ, իսկ D -ն՝ դիֆուզիայի գործակիցը: (2.4.5) հավասարմանն անվանում են Ֆիկի օրենք: Այս դեպքում OZ առանցքի ուղղությամբ, դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում տեղափոխվող զանգվածը (դիֆուզիոն հոսքը) կլինի՝ $J_m = -D \frac{\partial \rho}{\partial z}$: Եթե կոնցենտրացիան փոփոխվում է նաև OX և OY առանցքների ուղղությամբ, ապա դիֆուզիոն հոսքը կլինի՝ $\vec{J}_N = -D \text{grad} n$:

• Մածուցիկության հավասարումը.



$$J_p = -\eta \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (2.4.6)$$

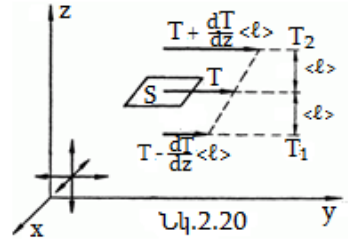
որտեղ J_p -ն իմպուլսի հոսքն է՝ միավոր ժամանակում ուղղորդված շարժման իմպուլսի տեղափոխությունը OZ առանցքի ուղղությամբ, դրան ուղղահայաց միավոր մակերեսով (իմպուլսի հոսքը, Նկ.2.19): η -ն կոչվում է դինամիկ մածուցիկության գործակից (կամ պարզապես մածուցիկություն), իսկ $\frac{\partial u}{\partial z}$ -ը՝ արագության գրադիենտն է OZ առանցքի ուղղությամբ: Իմպուլսի հոսքը հավասար է այդ շերտերի միավոր մակերեսների ներքին շփման (մածուցիկության) ուժին՝ $|J_p| = f = \eta \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|$, որն ուղղված է դրանց մակերևույթի շոշափողով: (2.4.6) հավասարմանն անվանում են Նյուտոնի օրենք:

• Ջերմահաղորդականության հավասարումը

$$J_Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (2.4.7)$$

որտեղ J_Q -ն ջերմության հոսքն է՝ միավոր ժամանակում OZ առանցքի ուղղությանն ուղղահայաց միավոր մակերեսով անցնող

էներգիան (էներգիայի հոսքը, Նկ.2.20): λ -ն կոչվում է ջերմահաղորդականության գործակից, իսկ $\frac{\partial T}{\partial z}$ -ը՝ ջերմաստիճանային գրադիենտն է OZ առանցքի ուղղությամբ: (2.4.7) հավասարման անվանում են Ֆուրիեի օրենք:



3. Տեղափոխման գործակիցներն իդեալական գազի համար

• Դիֆուզիայի գործակիցը.

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle : \quad (2.4.8)$$

(2.4.8) բանաձևը ճիշտ է նույն գազերի համար և դրան անվանում են ինքնադիֆուզիայի հավասարում:

• Փոխադարձ դիֆուզիայի գործակիցը.

$$D_{12} = \frac{1}{3} \left(\frac{\rho_2}{\rho} \langle l_1 \rangle \langle v_1 \rangle + \frac{\rho_1}{\rho} \langle l_2 \rangle \langle v_2 \rangle \right), \quad (2.4.9)$$

որտեղ $\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{n_1}{n}$, $\frac{\rho_2}{\rho} = \frac{n_2}{n}$ բաղադրիչ գազերի հարաբերական կոնցենտրացիան է (n -ը երկու գազերի խառնուրդի կոնցենտրացիան):

• Դինամիկ մածուցիկության գործակիցը.

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle, \quad (2.4.10)$$

որտեղ ρ -ն գազի խտությունն է:

• Ջերմահաղորդականության գործակիցը.

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \rho \langle v \rangle \langle l \rangle, \quad (2.4.11)$$

որտեղ c_v -ն գազի տեսակարար ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում: Փոխանցման գործակիցների բերված բոլոր արտահայտությունները մոտավոր են:

4. Բեռնուլիի հավասարումը իդեալական գազի համար

$$C_{p1} T_1 + \frac{M v_1^2}{2} = C_{p2} T_2 + \frac{M v_2^2}{2}, \quad (2.4.12)$$

որտեղ C_p -ն գազի մոլային ջերմունակությունն է հաստատուն ճնշման դեպքում: (2.4.12) հավասարման աջ և ձախ մասերը վերաբերվում են գազի նույն հոսանքի զծի երկու տարբեր կետերին: Այդ հավասարումը ճիշտ է այն դեպքի համար, երբ անցքի տրամագիծը,

որից դուրս է գալիս գազի շիթը, զգալիորեն մեծ է գազի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունից:

§5. ՌԵԱԼ ԳԱԶԵՐ: ՓՈԻԼԱՑԻՆ ԱՆՑՈՒՄՆԵՐ: ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԸՆԴԱՐՁԱԿՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Հարաբերական խոնավություն

- **Գոլորշու ճնշումով.**

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%, \quad (2.5.1)$$

որտեղ p -ն ջրային գոլորշու մասնակի ճնշումն է տվյալ ջերմաստիճանում: Դրան անվանում են բացարձակ խոնավություն: p_0 -ն՝ հազեցած ջրային գոլորշու ճնշումն է նույն ջերմաստիճանում: φ -ն՝ հարաբերական խոնավությունն է:

- **Գոլորշու խտությամբ.**

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%, \quad (2.5.2)$$

որտեղ ρ -ն ջրային գոլորշու խտությունն է տվյալ ջերմաստիճանում: Դրան ևս անվանում են բացարձակ խոնավություն: ρ_0 -ն՝ հազեցած ջրային գոլորշու խտությունն է նույն ջերմաստիճանում:

- **Ցողի կետ.**

Այն ջերաստիճանը, որի դեպքում օդում եղած ջրային գոլորշին դառնում է հազեցած, կոչվում է ցողի կետ: Դրանից ցածր ջերմաստիճանում կառաջանա ցող:

2. Վան դեր Վաալսի հավասարումը

- **Մեկ մոլ գազի համար.**

$$\left(p + \frac{a}{V_M^2}\right)(V_M - b) = RT, \quad (2.5.3)$$

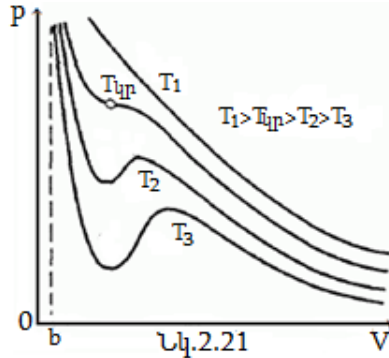
որտեղ $V_M = V/\nu$ – մոլային ծավալն է, a -ն և b -ն՝ Վան դեր Վաալսի հաստատունները: $p_b = a/V_M^2$ գումարելիին անվանում են ներքին ճնշում:

- **ν մոլ գազի համար.**

$$\left(p + \frac{a\nu^2}{V}\right)(V - b\nu) = \nu RT, \quad (2.5.4)$$

Նկ.2.21-ում բերված են Վան դեր Վաալսի հավասարման իզոթեր-

մերը:



• Գրիտիկական պարամետրերի կապը Վան դեր Վաալսի հաստատունների հետ.

$$p_{լր} = \frac{a}{27b^2}; \quad V_{լր} = 3bv; \quad T_{լր} = \frac{8a}{27Rb}. \quad (2.5.5)$$

• Գրիտիկական պարամետրերի միջև եղած կապը.

$$p_{լր}V_{լր} = \frac{3}{8} \nu RT_{լր}. \quad (2.5.6)$$

• Վան դեր Վաալսի բերված հավասարումը.

$$\left(p^* + \frac{3}{V^{*2}}\right)(3V^* - 1) = 8T^*, \quad (2.5.7)$$

որտեղ $p^* = \frac{p}{p_{լր}}$; $T^* = \frac{T}{T_{լր}}$; $V^* = \frac{V}{V_{լր}}$: Այս մեծություններին անվանում

են բերված ճնշում, ջերմաստիճան և ծավալ: (2.5.7) հավասարումը չի պարունակում գազի տեսակից կախված a և b հաստատուններ, հետևաբար այն կախված չէ գազի տեսակից:

• Բոյլի ջերմաստիճանը.

$$T_F = \frac{a}{Rb}. \quad (2.5.8)$$

Այս ջերմաստիճանում իրականացված իզոթերմ պրոցեսում վան-դերվալսյան գազի ճնշման և ծավալի արտադրյալն ընդունում է մինիմալ արժեք, որը համընկնում է այդ ջերմաստիճանում իդեալական գազի pV արտադրյալի հետ:

• Վանդերվալսյան գազի ներքին էներգիան.

$$U = \nu \left(C_V T - \frac{a}{V_M} \right), \quad (2.5.9)$$

որտեղ $C_V = \frac{1}{2} iR$ -ն իդեալական գազի մոլային ջերմունակությունն է հաստատուն ծավալի դեպքում:

• **Վանդերվալսյան գազի մեկ մոլի էնտրոպիան.**

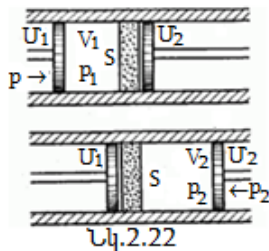
$$S = C_V \ln T + R \ln(V - b) + S_0: \quad (2.5.10)$$

3. Ջոուլ -Թոմսոնի երևույթը

Երբ p_1 ճնշում և V_1 ծավալ ունեցող իրական գազը քվազիստացիոնար կերպով անցնում է ծակոտիներ ունեցող պատի միջով (օրինակ, բամբակե խցանի) և ունենում է $p_2 < p_1$ ճնշում և V_2 ծավալ, ապա տեղի է ունենում ջերմաստիճանի փոփոխություն (Նկ.2.22).

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V}{C_p} \Delta p: \quad (5.11)$$

Երբ գազը սառում է երևույթը կոչվում է դրական, իսկ տաքանալու դեպքում՝ բացասական: Հեշտ է նկատել, որ իդեալական գազի դեպքում $\Delta T = 0$:



• **Վանդերվալսյան գազի դեպքում.**

$$\Delta T = \frac{\frac{bRT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{V^2}}{C_p \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T}: \quad (2.5.12)$$

• **Վանդերվալսյան նոսր գազի դեպքում.**

Նոսր գազերի համար կարելի է $(V - b)$ -ն փոխարինել V -ով, իսկ $\left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T$ -ն որոշել Կլապեյրոն-Մենդելեևի հավասարումից: Արդյունքում կստացվի՝

$$\Delta T = T_2 - T_1 \approx \frac{1}{C_p} \left(\frac{2a}{RT_1} - b \right) \Delta p: \quad (2.5.13)$$

Քանի որ $\Delta p < 0$, ուստի $a = 0$, $b \neq 0$ դեպքում գազը միշտ տաքանում է, իսկ $a \neq 0$, $b = 0$ դեպքում գազը միշտ սառնում է:

• **Ինվերսիայի ջերմաստիճանը նոսր գազերի համար.**

$$T_h = \frac{2a}{Rb} = \frac{27}{4} T_{hp} = 2T_c: \quad (2.5.14)$$

Այս ջերմաստիճանի նոսր գազերի համար Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում $\Delta T = 0$: $T > T_h$ դեպքում գազը տաքանում է, $T < T_h$ դեպքում գազը սառնում է:

• **Ինվերսիայի ջերմաստիճանը խիտ գազերի համար.**

Քանի որ $C_p > 0$, իսկ $\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T < 0$, ուստի (2.5.12)-ից հետևում է, որ

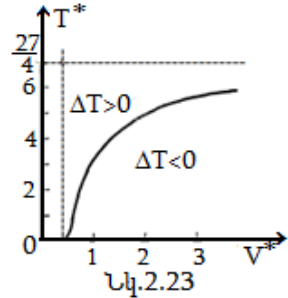
$$T_h = \frac{2a}{Rb} \left(\frac{V-b}{V} \right)^2: \quad (2.5.15)$$

Նկ.2.23-ում պատկերված է (2.5.15) կախվածության տեսքը բերված ջերմաստիճանով և ծավալով՝

$$T^* = \frac{27}{4} \left(\frac{V^* - 1/3}{V^*} \right)^2$$

• **Ջոուլ-Թոմսոնի պրոցեսում գազի էնթալպիան մնում է հաստատուն.**

$$U_1 + p_1 V_1 = U_2 + p_2 V_2: \quad (2.5.16)$$



4. Փուլային անցումներ

Միևնույն նյութը կարող է գտնվել տարբեր ագրեգատային վիճակներում (պինդ, հեղուկ, գազ, գերհաղորդիչ, պլազմա և այլն), որոնց անվանում են փուլեր: Մեկ ագրեգատային վիճակից մյուսին անցնելուն անվանում են փուլային անցում: Ջերմաստիճանի, ճնշման կամ որևէ այլ ֆիզիկական մեծության այն արժեքը, որի դեպքում տեղի է ունենում փուլային անցումը, կոչվում է անցման կետ:

• **Հավասարակշռության պայմանը երկու փուլերի միջև.**

Նյութի երկու փուլեր կգտնվեն հավասարակշռության վիճակում, եթե այդ փուլերի միավոր զանգվածին համապատասխանող ջերմադինամիկական պոտենցիալներն (տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալներն) իրար հավասար են՝

$$G_1(p, T) = G_2(p, T), \quad (2.5.17)$$

որտեղ $G(p, T) = U + pV - TS = H - TS$:

Բոլոր փուլային անցումներում տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալը փոփոխվում է անընդհատ կերպով, իսկ նրա տարբեր կարգի ածանցյալները կարող են փոխվել թռիչքաձև: Ըստ տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալի փոփոխության տարբերում են երկու սեռի փուլային անցում:

• **Առաջին սեռի փուլային անցում.**

Այն փուլային անցումները, որոնց բնորոշ է տեսակարար ջերմադինամիկական պոտենցիալի առաջին կարգի ածանցյալի

թիչքաձև փոփոխությունը, կոչվում են առաջին սեռի փուլային անցումներ: Առաջին սեռի փուլային անցման ժամանակ կարող են թիչքաձև փոխվել տեսակարար էնտրոպիան և խտությունը: Առաջին սեռի փուլային անցման օրինակներ են հեղուկի գոլորշացումը և գոլորշու խտացումը: Բյուրեղային մարմնի հալումը և հեղուկի բյուրեղացումը:

• **Երկրորդ սեռի փուլային անցում.**

Այն փուլային անցումները, որոնց բնորոշ է տեսակարար թերրոդինամիկական պոտենցիալի առաջին կարգի ածանցյալի անընդհատ փոփոխություն, սակայն թիչքաձև փոխվում է երկրորդ կարգի ածանցյալը, կոչվում են երկրորդ սեռի փուլային անցումներ: Երկրորդ սեռի փուլային անցման օրինակներ են նյութի հաղորդիչ վիճակից գերհաղորդիչ վիճակին անցնելը և հակառակը: Ֆեռոմագնիսական վիճակից պարամագնիսական վիճակի անցնելը և այլն:

• **Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը.**

Կլապեյրոն-Կլաուզիուսի հավասարումը նկարագրում է հավասարակշռության մեջ գտնվող փուլերի ջերմաստիճանի և ճնշման կապը: Առաջին սեռի փուլային անցումների համար հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{12}}{T(v_2 - v_1)}, \quad (2.5.18)$$

որտեղ $\frac{dp}{dT}$ -ն հավասարակշիռ ճնշման ածանցյալն է ըստ ջերմաստիճանի, q_{12} -ը՝ T ջերմաստիճանում փուլային անցման ժամանակ կլանած տեսակարար ջերմությունը, իսկ v_1 -ը և v_2 -ը՝ սկզբնական և վերջնական փուլերի տեսակարար ծավալները:

5. Երկու մոլեկուլի փոխազդեցության ուժը և փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան.

Նկ.2.24-ում բերված է նյութի երկու մոլեկուլի փոխազդեցության ուժի և էներգիայի կախումը նրանց կենտրոնների միջև եղած r հեռավորությունից: Գազային վիճակում նրանց փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի միմիմալ արժեքի մոդուլը շատ փոքր է նրանց ջերմային շարժման kT էներգիայից՝ $|E_{\text{միմ}}| \ll kT$, հեղուկների դեպ-

քում $|E_{ufh}| \approx kT$, պինդ նյութում՝
 $|E_{ufh}| \gg kT$:

6. Էռակի կետ.

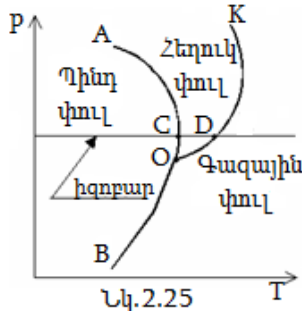
Նույն նյութի երեք ագրեգատային վիճակները ինչ որ ջեմաստիճանում կարող են գտնվել հավասարակշռության վիճակում: Այդ ջերմաստիճանը կոչվում է էռակի կետ (O կետը Նկ.2.25-ում):

7. Մակերևութային լարվածություն

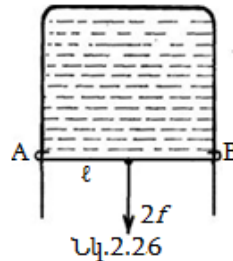
• Մակերևութային լարվածության ուժը.

$$f = \sigma l, \quad (2.5.19)$$

որտեղ σ -ն հեղուկի մակերևութային լարվածության գործակիցն է, իսկ l -ը՝ հեղուկի մակերևույթի սահմանագծի երկարությունը (Նկ.2.26):



Նկ.2.25



Նկ.2.26

• Հեղուկի մակերևույթի ազատ էներգիա

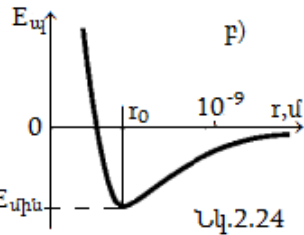
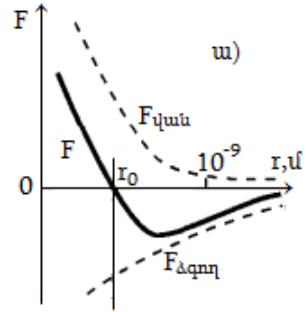
$$F = \sigma S, \quad (2.5.20)$$

որտեղ S -ը հեղուկի ազատ մակերևույթի մակերեսն է:

• Յունգի բանաձևը.

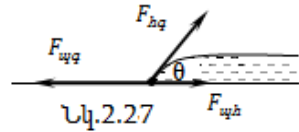
$$\cos \theta = \frac{\sigma_{yq} - \sigma_{yh}}{\sigma_{hq}}, \quad (2.5.21)$$

որտեղ θ -ն եզրային կամ թրջման անկյունն է, σ_{yq} -ն՝ մակերևու-



Նկ.2.24

թային լարվածության գործակիցը պինդ մարմնի և գազի միջև, $\sigma_{պհ}$ - ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը պինդ մարմնի և հեղուկի միջև, $\sigma_{հգ}$ -ն՝ մակերևութային լարվածության գործակիցը հեղուկի և գազի միջև: Մակերևութային լարվածության համապատասխան ուժերը բերված են Նկ.2.27-ում:



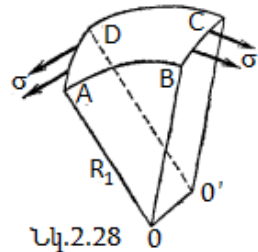
Նկ.2.27

8. Մագակա՛ն երևույթներ

• Հեղուկի կոր մակերևութների տակի լրացուցիչ ճնշումը (Լապլասի բանաձևը).

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (2.5.22)$$

որտեղ R_1 -ը AB աղեղի կորության շառավիղն է (Նկ.2.28), իսկ R_2 -ը AD աղեղի կորության շառավիղը: Դրանք երկու փոխուղղահայաց հատույթներից առաջացած մակերևութների կորության շառավիղներն են: Գնդի դեպքում $R_1 = R_2 = R$ և $\Delta p = 2\sigma/R$:

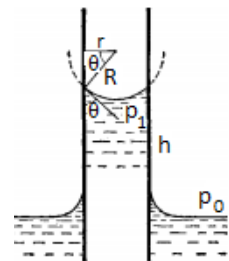


Նկ.2.28

• Մագանոթում հեղուկի սյան բարձրությունը.

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (2.5.23)$$

որտեղ r -ը խողովակի ներսի շառավիղն է, ρ -ն՝ հեղուկի խտությունը, θ -ն՝ եզրային կամ թրջման անկյունը (Նկ.2.29): Թրջող հեղուկի դեպքում $0 < \theta < 90^\circ$ և հեղուկը մագանոթով բարձրանում է ($h > 0$): Չթրջող հեղուկի դեպքում $\theta > 90^\circ$ և հեղուկը մագանոթով իջնում է ($h < 0$): $\theta = 0^\circ$ դեպքում հեղուկը լրիվ թրջող է, իսկ $\theta = 180^\circ$ դեպքում՝ չթրջող:



Նկ.2.29

9. Դյուլոնգի և Պոսիի օրենքը

$$U = 3 \nu RT, \quad (2.5.24)$$

որտեղ U -ն միանման ատոմներից կազմված բյուրեղային պինդ

մարմնի ներքին էներգիան է: Դրանից հետևում է, որ պինդ մարմնի մոլային ջերմունակությունը կորոշվի $C = 3R$ արտահայտությամբ: Եթե նյութի քիմիական բանաձևը պարունակում է n մասնիկ, ապա $U = 3n\nu RT$ և $C = 3nR$: Այս երկու բանաձևերն էլ ճիշտ են բարձր ջերմաստիճաններում:

10. Պինդ մարմնի ջերմային ընդարձակումը

• Գծային ընդարձակում.

$$l = l_0(1 + \alpha_0 t), \quad (2.5.25)$$

որտեղ l_0 -ն ձողի երկարությունն է $t = 0^\circ C$ -ում, l -ը՝ t աստիճանում, իսկ α_0 -ն՝ գծային երկարացման ջերմաստիճանային գործակիցը:

• Ծավալային ընդարձակում.

$$V = V_0(1 + \alpha t), \quad (2.5.26)$$

որտեղ V_0 -ն մարմնի ծավալն է $t = 0^\circ C$ -ում, V -ն՝ t աստիճանում, իսկ α -ն՝ ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակիցը: Իզոտրոպ պինդ մարմինների համար $\alpha = 3\alpha_0$: (2.5.25) բանաձևը կիրառելի է նաև հեղուկների համար:

11. Կամայական ջերմադինամիկական համակարգի

ջերմաստիճանային գործակիցները

• Իզոթերմ սեղմելիության գործակիցը.

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T, \quad (2.5.27)$$

որտեղ V -ն էլակետային ծավալն է:

• Ծավալային ընդարձակման գործակիցը.

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p: \quad (2.5.27)$$

• Ճնշման թերմիկական գործակիցը.

$$\gamma = \frac{1}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V, \quad (2.5.29)$$

որտեղ p -ն էլակետային ճնշումն է:

ԳԼՈՒԽ 3. ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

§1. ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԸ ՎԱԿՈՒՈՒՍՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Կուլոնի օրենքը և կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը

• Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության մեջ մտնելու հատկությամբ օժտված մասնիկներին (մարմիններին) անվանում էլեկտրականապես լիցքավորված մասնիկներ (մարմիններ), իսկ էլեկտրական լիցքով օժտված նյութական կետին՝ կետային լիցք:

• Կուլոնի օրենքը.

Կուլոնի օրենքը վերաբերվում է երկու անշարժ կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժի որոշմանը՝

$$|\vec{F}| = k \frac{|Q||q|}{r^2}; \quad \vec{F} = k \frac{Qq}{r^3} \vec{r}, \quad (3.1.1)$$

որտեղ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Ն} \cdot \text{մ}^2 / \text{Կլ}^2$: ϵ_0 -ին անվանում են էլեկտրական

հաստատուն և $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ֆ/մ}$:

Միավորների գաուսյան համակարգում (ԳՀ)

վերցվում է $k = 1$ և $|\vec{F}| = \frac{|Q||q|}{r^2}$ օրենքով սահմանվում է լիցքի միավորն այդ համակարգում:

Լիցքի այդ միավորին անվանում են լիցքի բացարձակ էլեկտրաստատիկ միավոր և կրճատ գրում են 1 CGSE_q : Սա վակուումում

գտնվող այն անշարժ կետային լիցքն է, որն իր նման լիցքի հետ 1սմ հեռավորության վրա փոխազդում է 1դին ուժով: Միավորների միջազգային համակարգում էլեկտրական լիցքի միավորը 1կուլոնն է՝

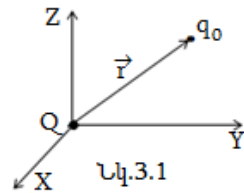
$$1 \text{ Կլ} = 1 \text{ Ա} \cdot \text{վ}: \quad 1 \text{ Կլ} = 3 \cdot 10^9 \text{ CGSE}_q:$$

• Էլեկտրական դաշտի լարվածությունը.

Միավոր դրական կետային լիցքի վրա էլեկտրական դաշտի կողմից ազդող ուժը՝

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (3.1.2)$$

որտեղ q_0 -ն Q լիցքի ստեղծած էլեկտրական դաշտում տեղադրված փորձական կետային լիցքն է, իսկ $\vec{F}$ -ը՝ դաշտի կողմից դրա վրա ազդող ուժը (Նկ. 3.1): q_0 -ն պետք է այնքան մեծ չլինի, որ կարողանա



դաշտը ստեղծող մարմնի ներսում լիցքի վերաբաշխում կատարել, դրանով իսկ փոխել եղած դաշտը: Միավորների ՄՀ համակարգում էլեկտրական դաշտի լարվածության միավորը կլինի 1Ն/Կլ : Միավորների ԳՀ-ում՝ 1դին/CGSE_q , որին անվանում են լարվածության բացարձակ էլեկտրաստատիկ միավոր և կրճատ գրում 1CGSE_E :

$$1 \frac{\text{Ն}}{\text{Կլ}} = 1 \frac{\text{Գ}}{\text{Մ}} = \frac{1}{3 \cdot 10^4} \text{CGSE}_E:$$

• Կետային Q լիցքի դաշտի լարվածությունը.

$$|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q|}{r^2}; \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^3} \vec{r}: \quad (3.1.3)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{E} = \frac{Q}{r^3} \vec{r}$:

2. Էլեկտրական լիցքերի բաշխվածությունները

• Լիցքի պահպանման օրենքը.

$$\sum_i Q_i = \text{const}, \quad (3.1.4)$$

որտեղ $Q_1, Q_2, \dots$ -ն էլեկտրականապես մեկուսացած համակարգ կազմող մասնիկների լիցքերն են:

• Ծավալով, մակերևութով և գծով հավասարաչափ բաշխված լիցքերի խտությունը.

$$\rho = \frac{q}{V}; \quad \sigma = \frac{q}{S}; \quad \tau = \frac{q}{l}, \quad (3.1.5)$$

որտեղ ρ -ն՝ ծավալային, σ -ն՝ մակերևութային, τ -ն՝ գծային լիցքերի խտություններն են: q -ն լիցքն է, V -ն՝ ծավալը, S -ը՝ մակերեսը, l -ը՝ երկարությունը:

• Լիցքերի խտություններն անհավասարաչափ բաշխվածությունների դեպքում.

$$\rho(x, y, z) = \frac{dq}{dV}; \quad \sigma(x, y, z) = \frac{dq}{dS}; \quad \tau(x, y, z) = \frac{dq}{dl}: \quad (3.1.6)$$

3. Վերադրման սկզբունքն էլեկտրական դաշտերի համար

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i, \quad (3.1.7)$$

որտեղ $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots$ -ն՝ առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտի լարվածությունն է տարածության տվյալ կետում, $\vec{E}$ -ն՝ լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունարար դաշտի լարվածությունը:

4. Որոշ էլեկտրական դաշտերի լարվածությունները

• Հավասարաչափ լիցքավորված անվերջ հարթության դաշտը.

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0}: \quad (3.1.8)$$

• Հավասարաչափ լիցքավորված R շառավղով գնդային մակե-

ընտյթի դաշտը.

$$E = 0, \text{ երբ } r < R;$$

$$E = \frac{R^2|\sigma|}{\varepsilon_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q|}{r^2}, \text{ երբ } r \geq R: \quad (3.1.9)$$

• Հավասարաչափ լիցքավորված վերջավոր

երկարության լարի դաշտը (Նկ.3.2).

$$E_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|\tau|}{r} (\sin\theta_1 + \sin\theta_2): \quad (3.1.10)$$

$$E_y = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|\tau|}{r} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2): \quad (3.1.11)$$

• Հավասարաչափ լիցքավորված անվերջ

երկար լարի դաշտը.

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{|\tau|}{r}: \quad (3.1.12)$$

• Հավասարաչափ լիցքավորված R շառավիղով
օղակի դաշտը առանցքի վրա (Նկ. 3.3).

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0} \frac{h}{(R^2 + h^2)^{3/2}}: \quad (3.1.13)$$

• Հավասարաչափ լիցքավորված, անվերջ երկար, R շառավղով
գլանային մակերևույթի դաշտը.

$$E = 0, \text{ երբ } r < R; \quad E = \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{R|\sigma|}{r} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{|\tau|}{r}, \text{ երբ } r \geq R: \quad (3.1.14)$$

• Օավալով հավասարաչափ լիցքավորված գնդի դաշտը.

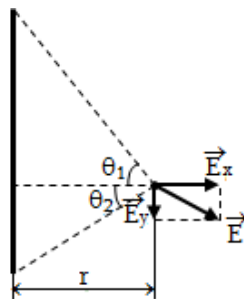
$$E = \frac{|\rho|r}{3\varepsilon_0}, \text{ երբ } r \leq R; \quad E = \frac{R^3|\rho|}{3\varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|q|}{r^2}, \text{ երբ } r \geq R: \quad (3.1.15)$$

որտեղ r -ը դիտարկվող կետի հեռավորությունն է գնդի կենտրոնից:

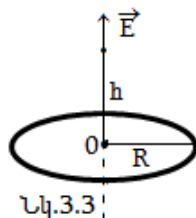
• Օավալով հավասարաչափ լիցքավորված անվերջ երկար գլանի
դաշտը.

$$E = \frac{|\rho|}{2\varepsilon_0}, \text{ երբ } r \leq R; \quad E = \frac{|\rho|R^2}{2\varepsilon_0 r} = \frac{|\tau|}{2\pi\varepsilon_0 r}, \text{ երբ } r \geq R: \quad (3.1.16)$$

որտեղ r -ը դիտարկվող կետի հեռավորությունն է գլանի առանցքից:
Վերևում բերված բոլոր արտահայտություններում ε_0 էլեկտրական
հաստատունը փոխարինելով $\frac{1}{4\pi}$ -ով, կստանանք դրանց գրելաձևը
միավորների գաուսյան համակարգում:



Նկ.3.2



Նկ.3.3

5. Էլեկտրաստատիկայի հիմնական հավասարումների
ինտեգրալ և դիֆերենցիալ տեսքերը

• **Գաուսի թեորեմը.**

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum_i q_i}{\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon_0}; \quad \text{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (3.1.17)$$

որտեղ $\oint_S \vec{E} d\vec{S}$ -ն էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի հոսքն է կամայական փակ S մակերևույթով, q -ն՝ այդ մակերևույթի ներսի դաշտ ստեղծող գումարային լիցքը, ρ -ն՝ լիցքերի ծավալային խտությունը, $\text{div} \vec{E}$ -ն՝ $\vec{E}$ վեկտորի դիվերգենցիան: (3.1.17) բանաձևը ճիշտ է կամայական էլեկտրական դաշտերի համար և հանդիսանում է էլեկտրադինամիկայի հիմնարար օրենքներից մեկը:

• **Շրջապատույթի թեորեմն էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության համար.**

$$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = 0; \quad \text{rot} \vec{E} = 0, \quad (3.1.18)$$

որտեղ $\oint_l \vec{E} d\vec{l}$ -ը էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի շրջապատույթն է կամայական փակ l կոնտուրով, $\text{rot} \vec{E}$ -ն՝ $\vec{E}$ վեկտորի ռոտորը (մրրիկը): (3.1.18) բանաձևը ճիշտ է միայն էլեկտրաստատիկ դաշտի համար և նշանակում է, որ էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության գծերը փակ լինել չեն կարող:

6. Էլեկտրական դիպոլ (երկբևեռ, Նկ.3.4), դրա դաշտը

• **Իրար հավասար երկու տարանուն կետային լիցքերի էլեկտրական (դիպոլային) մոմենտը.**

$$\vec{p} = q\vec{l}, \quad (3.1.19)$$

որտեղ $\vec{l}$ -ը դիպոլի բազուկն է (բացասական լիցքից դրականին տարված վեկտորը): Միավորների ՄՀ-ում էլեկտրական մոմենտի միավորը 1Կլ·մ-ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1 CGSE_q·սմ: 1Կլ·մ = $3 \cdot 10^{11}$ CGSE_q·սմ:

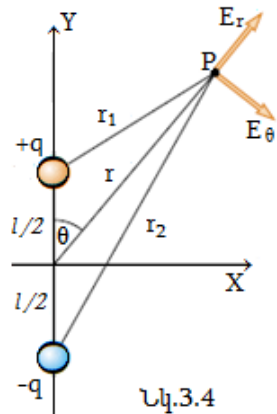
• **Կետային լիցքերի համակարգի դիպոլային մոմենտը.**

$$\vec{p} = \sum_i q_i \vec{r}_i: \quad (3.1.20)$$

• **Կետային դիպոլի (այսինքն՝ $r \gg l$) դաշտի լարվածությունը.**

$$E = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2\theta}, \quad (3.1.21)$$

որտեղ θ -ն $\vec{r}$ և $\vec{p}$ վեկտորների կազմած անկյունն է (Նկ.3.4):



- Դիպոլի վրա ազդող ուժն էլեկտրական դաշտում.

$$\vec{F} = \vec{i}F_x + \vec{j}F_y + \vec{k}F_z, \\ F_x = p \frac{\partial E_x}{\partial l}; \quad F_y = p \frac{\partial E_y}{\partial l}; \quad F_z = p \frac{\partial E_z}{\partial l}, \quad (3.1.22)$$

որտեղ E_x -ը լարվածության պրոեկցիան է OX առանցքի վրա, $\frac{\partial E_x}{\partial l}$ -ը E_x -ի ածանցյալն է $\vec{p}$ դիպոլի էլեկտրական մոմենտի ուղղությամբ, p -ն՝ դիպոլային մոմենտի մոդուլը: Համասեռ դաշտի կողմից դիպոլի վրա ազդող ուժը հավասար է զրոյի՝ $\vec{F} = 0$:

- $\vec{E}$ լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում կետային դիպոլի վրա ազդող ուժի մոմենտը.

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}; \quad M = pE \sin \alpha: \quad (3.1.23)$$

Այս բանաձևերը կամայական դիպոլի համար կիրառելի կլինեն, եթե դիպոլի բազուկի սահմաններում էլեկտրական դաշտի անհամասեռությունը կարելի լինի անտեսել:

7. Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալ

- Էլեկտրաստատիկ դաշտի տվյալ կետի պոտենցիալը.

$$\varphi = \frac{W_{\text{պ}}}{q_0}, \quad (3.1.24)$$

որտեղ $W_{\text{պ}}$ -ն տվյալ կետում տեղադրված q_0 փորձնական կետային լիցքի պոտենցիալ էներգիան է: Միավորների ՄՀ համակարգում էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի միավորն է 1Ջ/Կլ, որին անվանում են 1վոլտ՝ 1Վ = 1 $\frac{\text{Ջ}}{\text{Կլ}}$: Միավորների ԳՀ-ում պոտենցիալի միավորը կլինի 1էրգ/CGSE_q, որին անվանում են պոտենցիալի բացարձակ էլեկտրաստատիկ միավոր և կրճատ գրում 1CGSE_φ:

$$1 \frac{\text{Ջ}}{\text{Կլ}} = 1 \frac{10^7 \text{ էրգ}}{3 \cdot 10^9 \text{ CGSE}_q} = \frac{1}{300} \text{ CGSE}_\varphi:$$

- q կետային լիցքի դաշտի պոտենցիալը.

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (3.1.25)$$

որտեղ r -ը դիտարկվող կետի հեռավորությունն է q լիցքից:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\varphi = \frac{q}{r}$:

- Կետային դիպոլի դաշտի պոտենցիալը.

$$\varphi = \frac{p \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (3.1.26)$$

որտեղ p -ն՝ դիպոլի մոմենտի մոդուլն է, θ -ն՝ դիտարկվող կետի $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորով և դիպոլային մոմենտով կազմած անկյունը:

8. Էլեկտրական դաշտերի վերադրման սկզբունքը պոտենցիալի համար

$$\varphi = \sum_i \varphi_i, \quad (3.1.27)$$

որտեղ $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ - ն առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտերի պոտենցիալներն է տարածության դիտարկվող կետում, φ -ն՝ լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունարար դաշտի պոտենցիալը:

9. Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալի կապը

• Ինտեգրալ կապը.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}, \quad (3.1.28)$$

որտեղ ինտեգրումը կատարվում է 1 և 2 կետերը միացնող կամայական գծով:

• Համասեռ դաշտի դեպքում.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = El, \quad (3.1.29)$$

որտեղ l -ը միևնույն լարվածության գծի վրա գտնվող 1 և 2 կետերի միջև եղած հեռավորությունն է:

• Ռիֆերենցիալ տեսքը.

$$\vec{E} = -\text{grad} \left(\vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right): \quad (3.1.30)$$

10. Պուասոնի հավասարումը

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad (3.1.31)$$

որտեղ ρ -ն լիցքերի ծավալային խտությունն է:

11. Էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (3.1.32)$$

որտեղ q_0 -ն φ_1 պոտենցիալով կետից φ_2 պոտենցիալով կետը տեղափոխվող փորձնական լիցքն է:

Համասեռ դաշտի աշխատանքը կլինի՝ $A = q_0 El$:

12. Լիցքերի փոխազդեցության էներգիան և էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան

• Անշարժ կետային լիցքերի համակարգի փոխազդեցության էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i,k} q_i q_k \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r_{ik}} = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i, \quad (3.1.33)$$

որտեղ r_{ik} -ն q_i և q_k լիցքերի միջև եղած հեռավորությունն է, իսկ φ_i - ն այն կետի պոտենցիալն է, որտեղ գտնվում է q_i լիցքը՝

$$\varphi_i = \sum_k \frac{q_k}{4\pi\varepsilon_0 r_{ik}}:$$

• Բաշխվածությամբ օժտված լիցքերի համակարգի փոխազդեցության էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} \int_V \rho \varphi dV + \frac{1}{2} \int_S \sigma \varphi dS, \quad (3.1.34)$$

որտեղ ρ -ն լիցքերի ծավալային, իսկ σ -ն՝ մակերևութային խտությունն է :

• Էլեկտրական դաշտի էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} \int_V \varepsilon_0 E^2 dV; \quad w = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2, \quad (3.1.35)$$

որտեղ w -ն էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտությունն է:

• Հավասարաչափ լիցքավորված R շառավղով գնդային մակերևութի էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան.

$$W = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R}; \quad (3.1.36)$$

• Օավալով հավասարաչափ լիցքավորված R շառավղով գնդի էլեկտրաստատիկ դաշտի էներգիան.

$$W = \frac{3q^2}{20\pi\varepsilon_0 R}; \quad (3.1.37)$$

• Արտաքին էլեկտրական դաշտի հետ կետային դիպոլի փոխազդեցության էներգիան.

$$W = -\vec{p} \cdot \vec{E} = -pE \cos \alpha; \quad (3.1.38)$$

էներգիայի այս արտահայտությունը համընկնում է դիպոլի մեխանիկական պոտենցիալ էներգիայի հետ և դիպոլի վրա աղդող ուժը՝

$$\vec{F} = -\text{grad}W = \text{grad}(\vec{p} \cdot \vec{E}):$$

§2. ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՋՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

Երբ արտաքին $\vec{E}_0$ էլեկտրական դաշտում միջավայր է տեղադրվում, նրանում մակածվում են ազատ մակերևութային (հաղորդիչների դեպքում) կամ կապված մակերևութային ու ծավալային լիցքեր (դիէլեկտրիկների դեպքում) և ամենուրեք էլեկտրական դաշտի $\vec{E}$ լարվածությունը հավասար կլինի $\vec{E}_0$ և մակածված լիցքերի ստեղծած $\vec{E}'$ դաշտերի վեկտորական գումարը՝

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}':$$

Միջավայրի ներսում $\vec{E}'$ -ը միշտ $\vec{E}_0$ -ին հակառակ է ուղղված: Հաղորդիչների ներսում $\vec{E}' = -\vec{E}_0$, դիէլեկտրիկներում $|\vec{E}'| < |\vec{E}_0|$:

1. Էլեկտրաստատիկ դաշտը հաղորդիչների ատկայության դեպքում
 • Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը հաղորդչի մակերևույթի վրա.

$$E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \quad (3.2.1)$$

որտեղ E_n -ը լարվածության նորմալ բաղադրիչն է, լարվածության տանգենցիալ (շոշափողով) բաղադրիչը հավասար է զրոյի, իսկ $\vec{n}$ -ը՝ հաղորդչի մակերևույթի արտաքին նորմալը:

• **Հաղորդչի ներսի պոտենցիալը, դաշտի լարվածությունը և ավել-
 ցուկ լիցքերի ծավալային խտությունը.**

$$\varphi = const; \quad \vec{E} = 0; \quad \rho = 0: \quad (3.2.2)$$

Հավասարակշռության դեպքում հաղորդչի լիցքը բաշխվում է միայն դրա մակերևույթով այնպես, որ հաղորդչի ներսի կետերն ունենան նույն պոտենցիալը: Հաղորդչի ներսում էլեկտրաստատիկ դաշտը բացակայում է:

• **Լիցքավորված հաղորդչի մակերևույթին ազդող էլեկտրաստատիկ ճնշումը.**

$$p = \frac{|\sigma|E}{2} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} = w: \quad (3.2.3)$$

Էլեկտրաստատիկ ճնշումը հավասար է դաշտի էներգիայի ծավալային խտությանը մակերևույթի մոտ կետերում:

2. **Հաղորդիչների և կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունը**

• **Առանձին հաղորդչի էլեկտրաունակությունը.**

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad \text{կամ} \quad C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi}, \quad (3.2.4)$$

որտեղ q -ն հաղորդչի լիցքն է, φ -ն՝ դրա պոտենցիալը: Միավորների ՄՀ համակարգում էլեկտրաունակության միավորը կլինի 1Կլ/Վ, որին անվանում են 1ֆարադ՝ $1\text{Ֆ} = \frac{1\text{Կլ}}{\text{Վ}}$: Միավորների ԳՀ-ում էլեկտրաունակության միավորը կլինի՝ $1 \frac{\text{CGSEq}}{\text{CGSE}\varphi} = 1$ սմ: $1\text{Ֆ} = 9 \cdot 10^{11}$ սմ:

1սմ ունակությունը, դա վակուումում գտնվող 1սմ շառավղով մետաղական գնդի ունակությունն է:

• **R շառավղով հաղորդիչ գնդի էլեկտրաունակությունը վակուումում և միջավայրում.**

$$C_0 = 4\pi\varepsilon_0 R; \quad C = 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon R, \quad (3.2.5)$$

որտեղ ε -ը միջավայրի հարաբերական դիէլեկտրական թափանցելիությունն է: Միավորների ԳՀ-ում՝ $C_0 = R$:

- Դատարկ և համասեռ դիէլեկտրիկով լցված կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը.

$$C_0 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}; \quad C = \varepsilon C_0, \quad (3.2.6)$$

որտեղ q -ն դրական լիցքավորված շրջադրի լիցքն է, իսկ U -ն՝ շրջադիրների պոտենցիալների տարբերությունը ($U > 0$):

- Հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը.

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}; \quad C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}, \quad (3.2.7)$$

որտեղ S -ը մեկ շրջադրի մակերեսն է, d -ն՝ դրանց միջև եղած հեռավորությունը:

- Հարթ կոնդենսատորի տարանուն լիցքեր ունեցող շրջադիրների ձգողության ուժը.

$$|\vec{F}| = \frac{q^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon S} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 S: \quad (3.2.8)$$

- Գլանային կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը.

$$C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0 H}{\ln \frac{R}{r}}; \quad C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon H}{\ln \frac{R}{r}}, \quad (3.2.9)$$

որտեղ H -ը շրջադիրների բարձրությունն է, r և R -ը՝ դրանց շառավիղները:

- Գնդային կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը.

$$C_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0 Rr}{R-r}; \quad C_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon Rr}{R-r}, \quad (3.2.10)$$

որտեղ r և R -ը շրջադիրների շառավիղներն են:

- Կոնդենսատորների միացման համարժեք էլեկտրաունակությունը, լիցքը և պոտենցիալների տարբերությունը

ա) Հաջորդական միացման դեպքում.

$$\frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}; \quad q = q_i; \quad U = \sum_i U_i: \quad (3.2.11)$$

բ) Զուգահեռ միացման դեպքում.

$$C = \sum_i C_i; \quad q = \sum_i q_i; \quad U = U_i: \quad (3.2.12)$$

3. Մի քանի հաղորդիչների լիցքերի ու պոտենցիալների կապը

- Հաղորդիչների համակարգի յուրաքանչյուր հաղորդիչի պոտենցիալը կախված է ոչ միայն իր լիցքից, այլև մյուս հաղորդիչների լիցքերից և դրանց փոխադարձ դասավորությունից.

$$\varphi_i = \sum_{k=1}^n \alpha_{ik} q_k, \quad (3.2.13)$$

որտեղ α_{ik} գործակիցները կախված են հաղորդիչների ձևից, չափերից ու նրանց փոխադարձ դասավորությունից և կոչվում են պոտենցիալային գործակիցներ: Պոտենցիալային գործակիցները դրական են և $\alpha_{ik} = \alpha_{ki}$:

• Համակարգի յուրաքանչյուր հաղորդչի լիցքը կախված է թե՛ իր պոտենցիալից, թե՛ մյուս հաղորդիչների պոտենցիալներից և հաղորդիչների փոխադարձ դիրքից.

$$q_i = \sum_{k=1}^n C_{ik} \varphi_k, \quad (3.2.14)$$

որտեղ C_{ik} գործակիցները կոչվում են ունակային գործակիցներ ($C_{ik} = C_{ki}$): Երբ $i \neq k$, $C_{ik} < 0$; $i = k$, $C_{ii} > 0$:

• Լիցքավորված հաղորդիչների համակարգի էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n C_{ik} \varphi_i \varphi_k: \quad (3.2.15)$$

• Փոխադարձության թեորեմը հաղորդիչների համակարգի համար.

$$\sum_i q_i \varphi'_i = \sum_i q'_i \varphi_i: \quad (3.2.16)$$

Օրինակ՝ երկու հաղորդչի համար $q_1 \varphi'_1 + q_2 \varphi'_2 = q'_1 \varphi_1 + q'_2 \varphi_2$, որտեղ q_1 , q_2 և φ_1 , φ_2 հաղորդիչների սկզբնական լիցքերն ու պոտենցիալներն են, իսկ q'_1 , q'_2 և φ'_1 , φ'_2 -ը՝ նույն հաղորդիչների (անփոփոխ դիրքերի և դասավորության համար) փոխված լիցքերն ու պոտենցիալները:

• Առանձնացված հաղորդչի էներգիան.

$$W = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2}: \quad (3.2.17)$$

• Լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիան.

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}: \quad (3.2.18)$$

4. Էլեկտրաստատիկ դաշտը դիէլեկտրիկների առկայության դեպքում

Այն միջավայրերը, որոնցում չկան ազատ լիցքավորված մասնիկներ, կոչվում են դիէլեկտրիկներ: Կա երկու տեսակի դիէլեկտրիկ՝ բևեռային և ոչ բևեռային: Բևեռային դիէլեկտրիկի մոլեկուլներն արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում ունեն $\sim 10^{-29}$ Կլմ կարգի սեփական դիպոլային մոմենտ, իսկ ոչ բևեռային դիէլեկտրիկների մոլեկուլները՝ չունեն դիպոլային մոմենտ:

• Կուլոնի օրենքը.

$$|\vec{F}| = k \frac{|Q||q|}{\varepsilon r^2}; \vec{F} = k \frac{Qq}{\varepsilon r^3} \vec{r} : \quad (3.2.19)$$

• Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը դիէլեկտրիկում.

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon}, \quad (3.2.20)$$

որտեղ $\vec{E}_0$ -ն կողմնակի լիցքերի դաշտի լարվածությունն է վակուումում, ε -ը՝ միջավայրի հարաբերական դիէլեկտրական թափանցելությունը:

5. Դիէլեկտրիկի բևեռացումը և էլեկտրական ինդուկցիայի (շեղման) վեկտորը

• Դիէլեկտրիկի բևեռացման վեկտորը.

$$\vec{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_i, \quad (3.2.21)$$

որտեղ $\vec{p}_i$ -ն մեկ մասնիկի դիպոլային մոմենտն է, իսկ ΔV - ն՝ ֆիզիկական փոքր ծավալ: Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում բևեռային և ոչ բևեռային դիէլեկտրիկների բևեռացման վեկտորը հավասար է զրոյի և դրանք բևեռացած չեն: Այս դեպքում բևեռային դիէլեկտրիկի մոլեկուլների սեփական դիպոլային մոմենտները, ջերմային շարժման հետևանքով, ունեն անկանոն դասավորություն և $\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = 0$: Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ այդ դիպոլները մասնակիորեն ուղղվում են դաշտի ուղղությամբ և դիէլեկտրիկը բևեռանում է՝ $\sum_{i=1}^N \vec{p}_i \neq 0$: Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկների մոլեկուլներում արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ մակաձվում է դաշտի ուղղությունն ունեցող դիպոլային մոմենտ և ոչ բևեռային դիէլեկտրիկը բևեռանում է: Դիպոլային մոմենտ մակաձվում է նաև բևեռային մոլեկուլներում, սակայն այն մի քանի կարգով փոքր է մոլեկուլների սեփական դիպոլային մոմենտներից:

• Բևեռացման վեկտորի և լարվածության կապը.

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}, \quad (3.2.22)$$

որտեղ χ -ն միջավայրի էլեկտրական ընկալունակությունն է ($\chi = \varepsilon - 1$):

• Էլեկտրական շեղում (էլեկտրական դաշտի ինդուկցիա).

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}: \quad (3.2.23)$$

• **Էլեկտրական դաշտի ինդուկցիայի և լարվածության կապը.**

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}: \quad (3.2.24)$$

(3.2.23) և (3.2.24) բանաձևերը ճիշտ են իզոտրոպ միջավայրերի և թույլ դաշտերի համար:

• **Սեգնետաէլեկտրիկներ.**

Կան բնեռային դիէլեկտրիկներ, որոնք որոշակի ջերմաստիճանային միջակայքում կարող են բնեռացած լինել նաև արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում: Բացի այդ, դրանց $\vec{P}$ բնեռացման վեկտորը $\vec{E}$ -ից կախված է ոչ գծային օրենքով, դրանց դիէլեկտրական ընկալությունը և թափանցելիությունը կախված են դաշտի E լարվածությունից, ընդ որում ոչ միարժեք կերպով: Այս հատկությունն առաջին անգամ նկատվել է սեգնետյան աղի ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$) մոտ և նման հատկությամբ օժտված դիէլեկտրիկներին անվանել են սեգնետաէլեկտրիկներ: Սեգնետաէլեկտրիկների դիէլեկտրական թափանցելիությունը կարող է հավասար լինել տասնյակ հազարի, մինչդեռ սովորական դիէլեկտրիկների մոտ այն 10-ի կարգի մեծություն է:

$P(E)$ և $D(E)$ կախվածություններն ունեն հիստերեզիսային օղակի տեսք (տես Նկ.3.24), որտեղ պետք է կատարել $I_m \rightarrow P$, $B \rightarrow D$, $H \rightarrow E$ փոխարինումը:

6. Կապված լիցքերի բաշխվածության և դիէլեկտրիկում դաշտը բնութագրող մեծությունների կապը

• **Բնեռացման վեկտորի հոսքը կամայական փակ մակերևույթով.**

$$\oint_S \vec{P} d\vec{S} = -q', \quad (3.2.25)$$

որտեղ q' -ն այդ մակերևույթի ներսի կապված լիցքն է:

• **Կապված լիցքերի մակերևութային և ծավալային խտությունները.**

$$\sigma' = P_n = \vec{P} \cdot \vec{n}; \quad \rho' = -\text{div} \vec{P}, \quad (3.2.26)$$

որտեղ $\vec{n}$ -ը դիէլեկտրիկի մակերևույթի արտաքին նորմալն է:

• **Էլեկտրական շեղման վեկտորի հոսքը կամայական փակ մակերևույթով (Գաուսի թեորեմը).**

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q, \quad (3.2.27)$$

որտեղ q -ն այդ մակերևույթի ներսի ընդհանուր կողմնակի լիցքն է: (3.2.27)-ի դիֆերենցիալ տեսքը՝ $\operatorname{div} \vec{D} = \rho$:

• **Էլեկտրական դաշտի լարվածության հոսքը կամայական փակ մակերևույթով.**

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0} (q + q'): \quad (3.2.28)$$

(3.2.28) -ի դիֆերենցիալ տեսքը՝ $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0} (\rho + \rho')$:

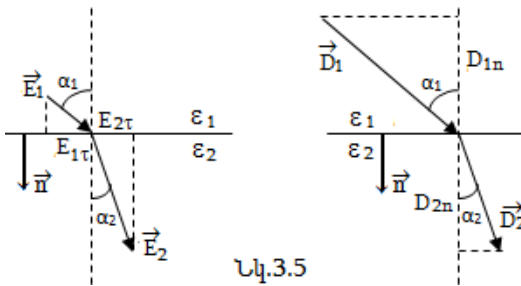
7. Առնչություններ երկու դիէլեկտրիկները բաժանող սահմանի վրա

• $P_{2n} - P_{1n} = -\sigma'$; $D_{2n} = D_{1n}$; $\frac{E_{2n}}{E_{1n}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ (եթե բաժանման սահմանի վրա չկան կողմնակի լիցքեր՝ $\sigma = 0$); $E_{1t} = E_{2t}$; $\frac{D_{2t}}{D_{1t}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$:

• **Ուժագծերի բեկման օրենքը**

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \quad (3.2.29)$$

որտեղ ε_1 և ε_2 -ն առաջին և երկրորդ միջավայրերի դիէլեկտրական թափանցելիություններն են, α_1 և α_2 -ը՝ դաշտի գծերի և բաժանման սահմանի նորմալի կազմած անկյունները (Նկ.3.5):



Նկ.3.5

8. Առնչություններ հաղորդիչ-դիէլեկտրիկ սահմանի վրա

$$P_n = \sigma' = -\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma; \quad D_n = \sigma; \quad E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon}, \quad (3.2.30)$$

որտեղ σ և σ' -ը կողմնակի և կապված լիցքերի մակերևութային խտություններն են բաժանման սահմանի վրա: Բևեռացման, ինդուկցիայի և լարվածության տանգենցիալ բաղադրիչները հավասար են

գրոյի:

$$\text{Միավորների ԳՀ-ում՝ } D_n = 4\pi\sigma; \quad E_n = \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon}:$$

9. Էլեկտրական դաշտի էներգիան դիէլեկտրիկում

$$W = \frac{1}{2} \int_V \vec{D} \vec{E} dV; \quad w = \frac{1}{2} \vec{D} \vec{E} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon \varepsilon_0}, \quad (3.2.31)$$

որտեղ w -ն էներգիայի ծավալային խտությունն է:

10. Դիպոլային մոմենտ և դիէլեկտրական թափանցելիություն

• Ոչ բևեռային մոլեկուլների մակածված դիպոլային մոմենտը.

$$\vec{p}_d = \varepsilon_0 \alpha \vec{E}, \quad (3.2.32)$$

որտեղ α -ն մոլեկուլի (ատոմի) բևեռացվելիությունն է՝ $\alpha \approx 4\pi a^3$, a -ն ատոմի էլեկտրոնի միջին հեռավորությունն է միջուկից ($a \approx 10^{-10}$ մ): Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{p}_d = \alpha \vec{E}$, իսկ $\alpha = a^3$:

• Ոչ բևեռային նոսր գազերի դիէլեկտրական թափանցելիությունը.

$$\varepsilon = 1 + \alpha n: \quad (3.2.33)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\varepsilon = 1 + 4\pi\alpha n$:

• Ոչ բևեռային խիտ գազերում և հեղուկներում գործող դաշտը.

$$\vec{E}^* = \vec{E} + \frac{1}{3\varepsilon_0} \vec{P}: \quad (3.2.34)$$

• Ոչ բևեռային խիտ գազերի և հեղուկների դիէլեկտրական թափանցելիությունը.

$$\varepsilon = 1 + \frac{\alpha n}{1 - \alpha n/3}: \quad (3.2.35)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\varepsilon = 1 + \frac{4\pi\alpha n}{1 - 4\pi\alpha n/3}$:

• Բևեռային նոսր գազերի դիէլեկտրական թափանցելիությունը.

$$\varepsilon = 1 + \alpha n + \frac{np^2}{3\varepsilon_0 kT}, \quad (3.2.36)$$

որտեղ n -ը մոլեկուլների կոնցենտրացիան է, p -ն՝ մոլեկուլի սեփական դիպոլային մոմենտը, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը: (3.2.36)-ը ճիշտ է, երբ $pE \ll kT$:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\varepsilon = 1 + 4\pi\alpha n + \frac{4\pi np^2}{3kT}$:

11. Բևեռացած դիէլեկտրիկի էներգիան և դրա վրա ազդող ուժը.

$$W_\eta = -\frac{1}{2} \int_V \vec{P} \vec{E}_0 dV; \quad \vec{F}_\eta = \int_V \frac{(\varepsilon-1)\varepsilon_0}{2} \text{grad} E^2 dV, \quad (3.2.37)$$

որտեղ $\vec{E}_0$ -ն կողմնակի լիցքերի էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է վակուումում, իսկ $\vec{E}$ -ն՝ լարվածությունը դիէլեկտրիկում: (3.2.37)-ից հետևում է, որ էլեկտրական դաշտում տեղադրված դիէլեկտրիկի վրա ազդող ուժը նրան հրում է այն ուղղությամբ, որով լարվածության մոդուլը ամենաարագն է աճում:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $W_\eta = -\frac{1}{8\pi} \int_V \vec{P} \vec{E}_0 dV$; $\vec{F}_\eta = \int_V \frac{(\varepsilon-1)}{8\pi} \text{grad} E^2 dV$:

§3. ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Հոսանքի ուժ և խտություն

Էլեկտրական հոսանք կոչվում է լիցքավորված մասնիկների կարգավորված (ուղղորդված) շարժումը: Էլեկտրական հոսանքն ունի դրական լիցքերի շարժման ուղղությունը կամ բացասական լիցքերի շարժման հակառակ ուղղությունը:

Հաղորդչի դիտարկվող հատույթով միավոր ժամանակում անցած լիցքի քանակությանն անվանում են հոսանքի ուժ (I), այն սկայյար մեծություն է:

Հաղորդչի լայնական հատույթի միավոր մակերեսով միավոր ժամանակում անցած լիցքի քանակությանն անվանում են հոսանքի խտություն (j), այն հոսանքի ուղղությունն ունեցող վեկտոր է:

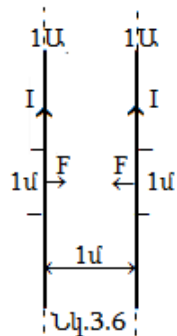
Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում պայմանավորված է ազատ էլեկտրոնների ուղղորդված շարժմամբ և ունի դրանց շարժման հակառակ ուղղությունը: Մետաղներում ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիան կազմում է $10^{26} \div 10^{29} \text{ մ}^{-3}$:

• Հոսանքի ուժը.

$$I = \frac{dq}{dt}; I = \int_S \vec{j} d\vec{S}; q = \int I(t) dt, \quad (3.3.1)$$

որտեղ $\vec{j}$ -ն հոսանքի խտությունն է:

Հոսանքի ուժի միավորը ՄՀ-ում 1ամպերն է: Հոսանքի ուժը հավասար է 1Ա-ի, եթե վակուումում իրարից 1մ հեռավորության վրա գտնվող երկու անվերջ երկար և անվերջ բարակ հաղորդալարերով անցնելիս, նրանցից յուրաքանչյուրի 1մ երկարության հատվածի վրա մյուսի կողմից ազդում է $F = 2 \times 10^{-7} \text{ Ն}$ ուժ (Նկ.3.6):



Միավորների ԳՀ-ում հոսանքի ուժի միավորը համարվում է հոսանքի ուժի մագնիսական միավորը՝ $1CGSM_I$: Հոսանքի ուժը հավասար է $1CGSM_I$ -ի, եթե վակուումում իրարից 2սմ հեռավորության վրա գտնվող երկու անվերջ երկար և անվերջ բարակ հաղորդալարերով անցնելիս, նրանցից յուրաքանչյուրի 1սմ երկարության հատվածի վրա մյուսի կողմից ազդի 1դին ուժ (տես 3.4.20): $1U = 0,1CGSM_I$:

• **Հաստատուն հոսանքի ուժը.**

$$I = \frac{q}{t} \quad (3.3.2)$$

• **Հոսանքի խտությունը.**

$$\vec{j} = en\vec{v}; \quad j = \frac{dI}{ds_{\perp}}, \quad (3.3.3)$$

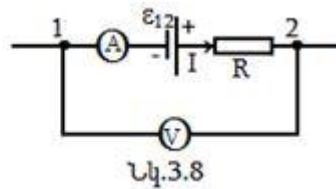
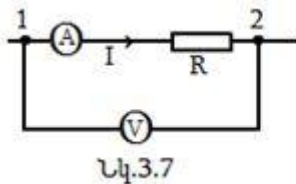
որտեղ q -ն հաղորդչի լայնական կտրվածքով t ժամանակում անցած լիցքն է, $\vec{v}$ -ն՝ հոսանքակիրների կարգավորված շարժման միջին արագությունը, n -ը՝ դրանց կոնցենտրացիան, $dS_{\perp}$ -ը՝ հոսանքակիրների շարժման ուղղությանն ուղղահայաց մակերեսի տարրը, dI -ն՝ այդ մակերեսով հոսանքի ուժը, e -ն՝ հոսանքակիր մասնիկի լիցքը:

2. Օհմի օրենքը շղթայի համասեռ տեղամասի համար

• **Օհմի օրենքի ինտեգրալ տեսքը.**

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}, \quad (3.3.4)$$

որտեղ $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ -ն տեղամասի ծայրերի միջև պոտենցիալների տարբերությունն է, R -ը՝ տեղամասի դիմադրությունը (Նկ.3.7): (3.3.4)-ը նշանակում է, որ հաղորդչով անցնող հոսանքի ուժն ուղիղ համեմատական է դրա վրա կիրառված լարմանը:



Դիմադրության միավորը ՄՀ-ում 1Օհմ-ն է, իսկ միավորների ԳՀ-ում դիմադրության բացարձակ էլեկտրաստատիկ միավորը՝ $1CGSE_R$: $1CGSE_R = 9 \cdot 10^{11}$ Օհմ:

• Հաստատուն լայնական կտրվածքով համասեռ հաղորդալարի դիմադրությունը.

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad (3.3.5)$$

որտեղ ρ -ն հաղորդչի տեսակարար դիմադրությունն է: Տեսակարար դիմադրության միավորը ՄՀ-ում 1 Օհմ-ն է, իսկ ԳՀ-ում դրա բացարձակ էլեկտրաստատիկ միավորը՝ $1CGSE_\rho$:

$$1CGSE_\rho = 9 \cdot 10^9 \text{ Օհմ} \cdot \text{մ}:$$

• Օհմի օրենքի դիֆերենցիալ տեսքը.

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E}, \quad (3.3.6)$$

որտեղ $\vec{E}$ -ն էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունն է:

3. Էլեկտրաշարժ ուժ: Օհմի օրենքը շղթայի անհամասեռ տեղամասի համար.

• Էլեկտրաշարժ ուժ.

Կողմնակի (ոչ էլեկտրաստատիկ) ուժերի կողմից միավոր դրական լիցքը շղթայի տեղամասով (կամ փակ շղթայով) տեղափոխելու աշխատանքին անվանում են էլեկտրաշարժ ուժ (ԷլՇՈւ).

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = \oint_l \vec{E}^* d\vec{l}, \quad (3.3.7)$$

որտեղ A -ն կողմնակի ուժերի կողմից q լիցքի տեղափոխման աշխատանքն է, իսկ $\vec{E}^*$ -ն՝ կողմնակի ուժերի դաշտի լարվածությունը:

• Ինտեգրալ տեսքը.

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}, \quad (3.3.8)$$

որտեղ ε_{12} -ը 1-2 տեղամասի հոսանքի աղբյուրների գումարային ԷլՇՈւ-ն է՝

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \int_1^2 \vec{E}^* d\vec{l}: \quad (3.3.9)$$

Համարվում է $\varepsilon_{12} > 0$, եթե 1-2 ուղղությամբ շարժվելիս հոսանքի աղբյուրում անցնում ենք բացասական բևեռից դրականին (Նկ. 3.8):

• Դիֆերենցիալ տեսքը.

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} (\vec{E} + \vec{E}^*), \quad (3.3.10)$$

որտեղ $\vec{E}^*$ -ն կողմնակի ուժերի դաշտի լարվածությունն է:

• Հոծ միջավայրի դիմադրությունը.

$$R = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \rho}{C}, \quad (3.3.11)$$

որտեղ C -ն մետաղական էլեկտրոդների համակարգի էլեկտրաոնակությունն է, որոնց միջև հոսում է հոսանք, ε -ը՝ միջավայրի դիէլեկ-

տրական թափանցելիությունը: Միավորների ԳՀ-ում՝ $R = \frac{\varepsilon \rho}{4\pi C}$:

4. Հաղորդիչների միացումները

- Հաղորդիչների հաջորդական միացման դեպքում.

$$R = \sum_i R_i; \quad U = \sum_i U_i; \quad I = \text{const}: \quad (3.3.12)$$

- Հաղորդիչների գուգահեռ միացման դեպքում.

$$\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}; \quad I = \sum_i I_i; \quad U = \text{const}: \quad (3.3.13)$$

5. Մետաղների դիմադրության կախվածությունը ջերմաստիճանից

$$R = R_0(1 + \alpha t); \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad (3.3.14)$$

որտեղ R_0 -ն, ρ_0 -ն դիմադրությունը և տեսակարար դիմադրությունն են $t = 0^\circ \text{C}$ -ում, α -ն՝ դիմադրության ջերմաստճանային գործակիցը, t -ն՝ ջերմաստիճանը Ցելսիուսի սանդղակով:

6. Հաստատուն հոսանքի աշխատանքը և հզորությունը

- Հոսանքի աշխատանքը.

$$A = UI t, \quad (3.3.15)$$

որտեղ U -ն շղթայի տեղամասի լարումն է, t -ն՝ հոսանքն անցնելու ժամանակը:

- Հոսանքի հզորությունը.

$$P = \frac{A}{t} = UI: \quad (3.3.16)$$

7. Ջոուլ-Լենցի օրենքը

- Ինտեգրալ տեսքը.

$$Q = I^2 R t, \quad (3.3.17)$$

որտեղ Q -ն t ժամանակամիջոցում շղթայի տեղամասում անջատված ջերմաքանակն է: Օրենքը ճիշտ է, եթե շղթայի այդ տեղամասում բացակայում է էլեկտրական էներգիայի փոխակերպումն այլ տեսակի էներգիայի:

- Եթե հոսանքի ուժը փոփոխվում է.

$$Q = \int_0^t I^2 R dt: \quad (3.3.18)$$

- Դիֆերենցիալ տեսքը.

$$w = \frac{Q}{tV} = \frac{1}{\rho} E^2 = \vec{j} \cdot \vec{E}, \quad (3.3.19)$$

որտեղ w -ն հաղորդչի միավոր ծավալից անջատվող ջերմային հզորությունն է:

8. Կիրիսիոֆի կանոնները

• Առաջին կանոնը.

Շղթայի հանգույցում հոսանքների հանրահաշվական գումարը հավասար է զրոյի.

$$\sum_k I_k = 0: \quad (3.3.20)$$

Հանգույց մտնող հոսանքի ուժն ունի դրական նշան, իսկ հանգույցից դուրս եկողը՝ բացասական: Կիրիսիոֆի առաջին կանոնը հոսանքների համար տալիս է հանգույցների թվից մեկով պակաս անկախ հավասարումներ:

• Երկրորդ կանոնը՝

Ճյուղավորված շղթայի ցանկացած կոնտուրի տեղամասերի լարման անկումների հանրահաշվական գումարը հավասար է այդ կոնտուրում գործող էլՇՈւ-ների հանրահաշվական գումարին.

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i: \quad (3.3.21)$$

Տեղամասի լարման անկում համարվում է այդ տեղամասի հոսանքի ուժի և դիմադրության արտադրյալը: Տեղամասի լարման անկումը վերցվում է դրական, եթե այդ տեղամասի հոսանքի ուղղությունը համընկնում է կոնտուրի շրջանցման ուղղության հետ, իսկ հակառակը՝ բացասական: Աղբյուրի էլՇՈւ-ն համարում են դրական, եթե կոնտուրի շրջանցման ժամանակ աղբյուրում անցնում ենք բացասական բևեռից դրականին, իսկ հակառակը՝ բացասական: Կոնտուրի շրջանցման ուղղության ընտրությունը կամայական է:

Կիրիսիոֆի երկրորդ կանոնը հոսանքների համար տալիս է անկախ կոնտուրների թվին հավասար անկախ հավասարումներ: Եթե հայտնի են շղթայի դիմադրությունները և էլՇՈւ-ները, ապա Կիրիսիոֆի երկու կանոնները միասին տալիս են անհայտ հոսանքների թվին հավասար անկախ հավասարումներ:

Զճյուղավորված շղթայի դեպքում, որտեղ գործում է մեկ աղբյուր, ունենք՝ $IR + Ir = \varepsilon$, որը հանդիսանում է Օհմի օրենքը փակ շղթայի համար, որտեղ r -ն աղբյուրի ներքին դիմադրությունն է:

• Եթե փակ շղթան պարունակում է n միանման հոսանքի աղբյուր-

ներ, որոնք իրար միացած են հաջորդաբար, ապա շղթայի հոսանքի ուժը կլինի՝

$$I = \frac{n\varepsilon}{R+nr}, \quad (3.3.22)$$

որտեղ ε -ը մեկ աղբյուրի էլԵՌԻ-ն է, իսկ r -ը մեկ աղբյուրի ներքին դիմադրությունը:

• Եթե փակ շղթան պարունակում է n միանման հոսանքի աղբյուրներ, որոնք իրար միացած են զուգահեռ, ապա շղթայի չճյուղավորված մասի հոսանքի ուժը կլինի՝

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r/n} : \quad (3.3.23)$$

9. Անընդհատության հավասարումը

• Ինտեգրալ տեսքը.

$$\oint_S \vec{j} d\vec{S} = - \frac{\partial q}{\partial t}, \quad (3.3.24)$$

որտեղ q -ն S փակ մակերևույթի ներսում եղած ազատ լիցքերի հանրահաշվական գումարն է: (3.3.24) -ն արտահայտում է էլեկտրական լիցքի պահպանման օրենքը, հետևաբար հիմնարար օրենք է:

• Դիֆերենցիալ տեսքը.

$$\operatorname{div} \vec{j} = - \frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (3.3.25)$$

որտեղ ρ -ն ազատ լիցքերի ծավալային խտությունն է: Հաստատուն հոսանքի համար $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ և ունենք.

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0: \quad (3.3.26)$$

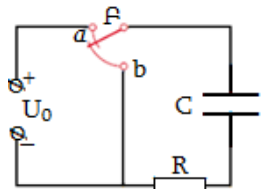
Սա նշանակում է, որ հաստատուն հոսանքի գծերը միշտ փակ են:

10. Անցումային պրոցեսներ RC - շղթայում

• Կոնդենսատորի լիցքավորումը (Նկ.3.9-ում բանալին բերվում է a դիրքին).

$$U = U_0(1 - e^{-t/\tau}); \quad I = \frac{U_0}{R} e^{-t/\tau}, \quad (3.3.27)$$

որտեղ U -ն և U_0 -ն կոնդենսատորի վրա լարումն է համապատասխանաբար t և $t_0 = 0$ պահին, I -ն հոսանքի ուժը, $\tau = RC$ ՝ շղթայի հաստատունը, C -ն՝ կոնդենսատորի ունակությունը, R -ը՝ կոնդենսատորին հաջորդաբար միացված դիմադրությունը:



• Կոնդենսատորի լիցքաթափումը (Նկ.3.9-ում բանալին a դիրքից տեղափոխվում է b դիրքը)։

$$U = U_0 e^{-t/\tau}; \quad I = \frac{U_0}{R} e^{-t/\tau}; \quad (3.3.28)$$

11. Օհմի օրենքը լիցքաչեզոք էլեկտրոլիտների համար

$$\vec{j} = zne(k_+ + k_-)\vec{E} = \gamma\vec{E}, \quad (3.3.29)$$

որտեղ $zn = z_+n_+ = z_-n_-$; $z_{\pm}$ -ը՝ դրական և բացասական իոնների արժեքականությունն է, $n_{\pm}$ -ը՝ դրանց կոնցենտրացիան, $k_{\pm}$ -ը՝ իոնների շարժունությունը: $k_{\pm} \sim 10^{-7} \div 10^{-8} \text{մ}^2/\text{Վ.վ}$ կարգի մեծություն է: (3.3.29) կախվածությունը գծային է, քանի որ n կախված չէ դաշտի E լարվածությունից և հոսանքի j խտությունից:

12. Ֆարադեյի օրենքներն էլեկտրոլիզի համար

• Առաջին օրենքը.

$$m = kq, \quad (3.3.30)$$

որտեղ m -ն էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի զանգվածն է, երբ էլեկտրոլիտով q լիցք է անցնում, k -ն՝ անջատվող նյութի էլեկտրաքիմիական համարժեքը:

• Երկրորդ օրենքը.

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{z}, \quad (3.3.31)$$

որտեղ $F = eN_A$ -ն Ֆարադեյի հաստատունն է, M -ը՝ անջատվող նյութի մոլային զանգվածը, N_A -ն՝ Ավոգադրոյի հաստատունը, z -ը՝ անջատվող նյութի արժեքականությունը:

13. Հոսանքը գազերում

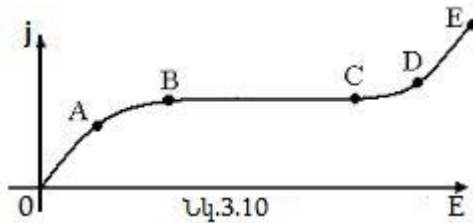
Հոսանքն իոնացված գազերում պայմանավորված է դրական, բացասական իոնների և ազատ էլեկտրոնների ուղղորդված շարժմամբ:

• Հոսանքի խտության կախումն էլեկտրական դաշտի լարվածությունից ոչ ինքնուրույն պարապման դեպքում.

$$\vec{j} = ne(k_+ + k_-)\vec{E}: \quad (3.3.32)$$

Գազերի հոսանքակիրների $k_{\pm}$ շարժունակությունները $10^3 \div 10^4$ անգամ մեծ են էլեկտրոլիտի իոնների շարժունակությունից, իսկ n կոնցենտրացիան կախված է դաշտի E լարվածությունից և հոսանքի j խտությունից: Այդ պատճառով (3.3.32) կախվածությունը գծային չէ և

չի համարվում Օհմի օրենք (Նկ.3.10):



Գրաֆիկի $OABCD$ տեղամասում, երբ գազի ճնշումը մթնոլորտային է, հոսանքը պայմանավորված է իոնարարի ազդեցությամբ (ոչ ինքնուրույն պարպում), իսկ D կետից հետո ($E \geq 30000$ Վ/սմ) գազապարպումը տեղի է ունենում իոնարարի բացակայությամբ (ինքնուրույն պարպում):

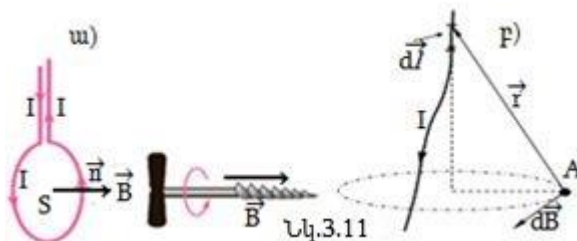
§4. ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուղղությունը և մոդուլը

• Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուղղությունը.

Մագնիսական դաշտի ինդուկցիան ունի դաշտում տեղադրված հոսանքակիր ազատ կոնտուրի դրական նորմալի ուղղությունը, երբ այն գտնվում է կայուն հավասարակշռության վիճակում (Նկ.3.11ա):



• Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մոդուլը.

Մագնիսական դաշտում տեղադրված հոսանքակիր կոնտուրի վրա դաշտի կողմից ազդող պտտող մոմենտի առավելագույն արժեքի

հարաբերությունը կոնտուրի հոսանքի ուժի և մակերեսի արտադրյալին, անվանում են մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մոդուլ.

$$|\vec{B}| = \frac{M_{max}}{IS}. \quad (3.4.1)$$

(3.4.1)-ից հետևում է, որ մագնիսական իդուկցիայի միավորը ՄՀ-ում կլնի $1 \frac{\text{Ն}\cdot\text{մ}}{\text{Ա}\cdot\text{մ}^2}$, որին անվանում են 1տեսլա՝ $1\text{Տլ} = 1 \frac{\text{Ն}\cdot\text{մ}}{\text{Ա}\cdot\text{մ}^2}$: Նկատի ունենալով, որ $1\text{Ն}=10^5\text{դին}$, $1\text{Ա}=0,1\text{CGSM}_I$, $1\text{մ}=10^2\text{սմ}$, կունենանք $1\text{Տլ}=10^4 \frac{\text{դին}\cdot\text{սմ}}{\text{CGSM}_I\cdot\text{սմ}^2} = 1 \frac{\text{դին}\cdot\text{սմ}}{\text{CGSM}_I\cdot\text{սմ}^2}$ մեծությունը հանդիսանում է ինդուկցիայի միավորը ԳՀ-ում, որին անվանում են 1գաուս՝ $1\text{Գս} : 1\text{Տլ} = 10^4\text{Գս}$:

2. Բիո-Սավար-Լապլասի օրենքը

• Գծային հոսանքի տարրի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան (Նկ.3.11բ)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}, \quad (3.4.2)$$

որտեղ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Հն/մ մեծությունը կոչվում է մագնիսական հաստատուն: $d\vec{B}$ -ն $Id\vec{l}$ գծային հոսանքի տարրի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան է այդ տարրից $\vec{r}$ -ով տրվող կետում

• Ծավալային հոսանքի տարրի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{j} \times \vec{r}}{r^3} dV, \quad (3.4.3)$$

որտեղ $d\vec{B}$ -ն $\vec{j}dV$ ծավալային հոսանքի տարրի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան է այդ տարրից $\vec{r}$ -ով տրվող կետում: Միավորների ԳՀ-ում՝ $d\vec{B} = \frac{1}{c} \frac{\vec{j} \times \vec{r}}{r^3} dV$, որտեղ c -ն կոչվում է էլեկտրադինամիկական հաստատուն՝ $c = 3 \cdot 10^{10}$ սմ/վ:

3. Ոչ ռելատիվիստական արագությամբ հավասարաչափ շարժվող կետային լիցքի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} = \mu_0 \epsilon_0 \vec{v} \times \vec{E} = \frac{1}{c^2} \vec{v} \times \vec{E}, \quad (3.4.4)$$

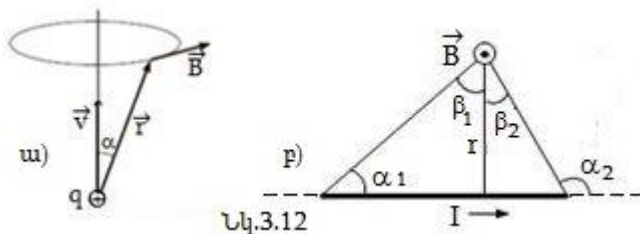
որտեղ q -ն մասնիկի էլեկտրական լիցքն է, $\vec{v}$ -ն՝ դրա արագությունը, $\vec{E}$ -ն՝ q լիցքի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը $\vec{r}$ շառավիղ-վեկտորով կետում (Նկ.3.12ա): Միավորների ԳՀ-ում՝

$$\vec{B} = \frac{1}{c} \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{E}:$$

Ռեկտորիվիստական արագության դեպքում՝

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q(\vec{v} \times \vec{r}) \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{r^3 (1 - v^2 \sin^2 \alpha / c^2)^{3/2}}, \quad \text{իսկ } \vec{E} = \frac{q \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \vec{r}}{4\pi \epsilon_0 r^3 (1 - v^2 \sin^2 \alpha / c^2)^{3/2}}.$$

Նորից $\vec{B} = \frac{1}{c^2} \vec{v} \times \vec{E}$:



Նկ.3.12

4. Վերադարձնելով մագնիսական դաշտի համար

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i,$$

որտեղ $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \dots$ -ը համակարգի առանձին շարժվող լիցքի կամ հոսանքի ստեղծած մագնիսական ինդուկցիան է դիտարկվող կետում, $\vec{B}$ -ն՝ արդյունարար դաշտի ինդուկցիան:

5. Մագնիսական դաշտի լարվածությունը

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}: \quad (3.4.5)$$

Այստեղ $\vec{B}$ -ն դաշտի ինդուկցիան է միջավայրի բացակայության դեպքում՝ $\vec{B} = \vec{B}_0$: Մագնիսական դաշտի լարվածության միավորը ՄՀ-ում 1Ա/մ, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1էրստեդը:

$$1 \frac{\text{Ա}}{\text{մ}} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ էրստ}, \quad \text{իսկ } \vec{H} = \vec{B}:$$

6. Ուղիղ հոսանքակիր հաղորդալարերի մագնիսական դաշտերի ինդուկցիան

- Ուղիղ հոսանքակիր լարի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\sin \beta_1 + \sin \beta_2), \quad (3.4.6)$$

որտեղ r , β_1 , β_2 , α_1 , α_2 -ը ցույց են տրված Նկ.3.12բ-ում:

- Անվերջ երկար ուղիղ լարի դաշտի ինդուկցիան (Նկ. 3.12բ-ում $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$):

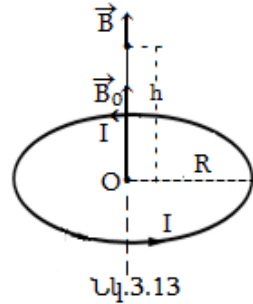
$$B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi r}: \quad (3.4.7)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $B = \frac{1}{c} \frac{2I}{r}$:

• Օղակաձև հոսանքի դաշտի մագնիսական ինդուկցիան դրա առանցքի կետերում.

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (3.4.8)$$

որտեղ R -ն օղակի շառավիղն է, h -ը՝ դիտարկվող կետի հեռավորությունն օղակի կենտրոնից, I -ն՝ հոսանքի ուժը: Օղակի կենտրոնում ($h=0$, Նկ.3.13)՝

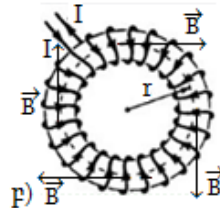
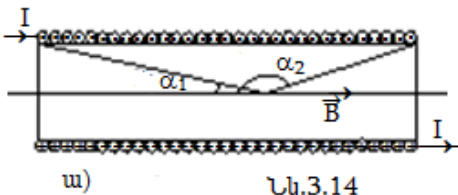


$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} : \quad (3.4.9)$$

• Սուլենոիդի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան դրա առանցքի կետերում.

$$B = \frac{\mu_0}{2} I n (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (3.4.10)$$

որտեղ n -ը սուլենոիդի միավոր երկարության գալարների թիվն է, իսկ α_1 և α_2 անկյունները՝ առանցքի և դիտարկվող կետը սուլենոիդի հիմքի եզրերին միացնող ուղիղների կազման անկյուններն են (Նկ. 3.14ա): Միավորների ԳՀ-ում՝ $B = \frac{2\pi}{c} I n (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$:



• Անվերջ երկար սուլենոիդի և տորոիդի (Նկ.3.14բ) համար.

$$B = \mu_0 I n : \quad (3.4.11)$$

7. Մագնիսական հոսք և ինդուկտիվություն

• Համասեռ դաշտի մագնիսական հոսքը հարթ մակերեսով.

$$\Phi = B S \cos \alpha, \quad (3.4.12)$$

որտեղ α -ն հարթության դրական նորմալով և մագնիսական ինդուկ-

ցիայով կազմված անկյունն է:

Մագնիսական հոսքի միավորը ՄՀ-ում 1վեբերն է՝ $1\text{Վբ} = 1\text{Տլ} \cdot \text{մ}^2$, իսկ միավորների ԳՀ-ում՝ 1մաքսվելը: $1\text{Մաքս} = 1\text{Գս} \cdot \text{սմ}^2$: $1\text{Վբ} = 10^8\text{Մաքս}$

• **Ընդհանուր դեպքում.**

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}: \quad (3.4.13)$$

• **Կոնտուրով անցնող I հոսանքի ստեղծած մագնիսական հոսքն այն կամայական մակերևույթով, որի եզրը տվյալ կոնտուրն է.**

$$\Phi = LI, \quad (3.4.14)$$

որտեղ L -ը կոնտուրի ինդուկտիվությունն է: Միավորների ԳՀ-ում՝ $\Phi = \frac{1}{c} LI$, որտեղ c -ն էլեկտրադինամիկական հաստատունն է: Միավորների ՄՀ-ում ինդուկտիվության միավորը 1հենրին է՝ $1\text{Հն} = 1 \frac{\text{Վբ}}{\text{Ա}}$, միավորների ԳՀ-ում՝ 1սմ-ը: Սա 1սմ շառավղով բարակ մետաղե գալարի ինդուկտիվությունն է: $1\text{Հն} = 10^9\text{սմ}$:

• **Երկար սոլենոիդի և տորոիդի ինդուկտիվությունը.**

$$L = \mu_0 n^2 V, \quad (3.4.15)$$

որտեղ n -ը ունի նույն իմաստը, ինչ (3.4.10)-ում, V -ն սոլենոիդի (տորոիդի) ներսի ծավալն է:

8. Մագնիսաստատիկայի հիմնական հավասարումների ինտեգրալ և դիֆերենցիալ տեսքերը

• **Գաուսի թեորեմը.**

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0; \quad \text{div} \vec{B} = 0, \quad (3.4.16)$$

որտեղ $\oint_S \vec{B} d\vec{S}$ -ը մագնիսական ինդուկցիայի հոսքն է կամայական S փակ մակերևույթով, $\text{div} \vec{B}$ -ն՝ $\vec{B}$ վեկտորի դիվերգենցիան: (3.4.16)-ը ճիշտ է նաև ոչ ստատիկ մագնիսական դաշտի համար, որից հետևում է նաև, որ մագնիսական ինդուկցիայի գծերը միշտ փակ են: $\text{div} \vec{B} = 0$ հավասարումից հետևում է, որ $\vec{B} = \text{rot} \vec{A}$, որտեղ $\vec{A}$ -ին անվանում են մագնիսական դաշտի վեկտոր-պոտենցիալ: $\vec{A}$ -ի մասին առավել մանրամասն տես հավելվածում:

• **Շրջապատույթի թեորեմը մագնիսական ինդուկցիայի համար (լրիվ հոսանքի օրենքը).**

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i = \mu_0 I = \mu_0 \int_S \vec{j} d\vec{S}; \quad \text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}, \quad (3.4.17)$$

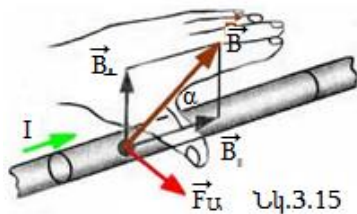
որտեղ $\oint \vec{B} d\vec{l}$ -ը $\vec{B}$ վեկտորի շրջապատություն է կամայական l փակ կոնտուրով, I_i -ն կոնտուրով ընդգրկված հոսանքի ուժը: Ընդունվում է $I_i > 0$, եթե հոսանքի ուղղությունը կոնտուրի շրջանցման ուղղության հետ կապված է աջ պտուտակի կանոնով, հակառակ դեպքում՝ $I_i < 0$: $\vec{j}$ -ն հոսանքի խտությունն է, $\int_S \vec{j} d\vec{S}$ -ը՝ ինտեգրալ է S մակերևույթով, որի եզրը l կոնտուրն է, $\text{rot} \vec{B}$ -ն՝ $\vec{B}$ վեկտորի ռոտորը (մրրիկը): (3.4.17) բանաձևը ճիշտ է միայն ստատիկ դաշտի համար:

9. Ամպերի ուժը

• **Համասեռ մագնիսական դաշտում տեղադրված ուղիղ հոսանքակիր հաղորդալարի վրա ազդող ուժը.**

$$F_U = BIl \sin \alpha, \quad (3.4.18)$$

որտեղ I -ն հոսանքի ուժն է, l -ը՝ հաղորդալարի երկարությունը, α -ն՝ հոսանքի ուղղության և մագնիսական ինդուկցիայի կազմած անկյունը (Նկ. 3.15):



Առավել հաճախ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մոդուլը սահմանում են (3.4.18) արտահայտության միջոցով՝

$$B = \frac{F_{\text{մաք.}}}{Il}:$$

Հետևաբար $1 \text{Sl} = 1 \frac{\text{V}}{\text{A} \cdot \text{m}}:$

• **Կամայական հոսանքակիր հաղորդալարի վրա ազդող ուժն անհամասեռ մագնիսական դաշտում.**

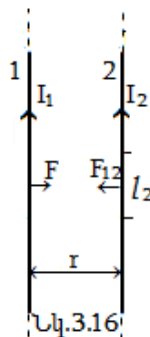
$$d\vec{F}_U = Id\vec{l} \times \vec{B}; \quad \vec{F}_U = \int_l Id\vec{l} \times \vec{B}; \quad \vec{F}_U = \int_l \vec{j} \times \vec{B} dV: \quad (3.4.19)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{F}_U = \frac{1}{c} \int_l \vec{j} \times \vec{B} dV:$

• **Երկու անվերջ երկար և անվերջ բարակ հոսանքակիր հաղորդալարերի փոխազդեցության ուժը (Նկ.3.16).**

$$F_{12} = \frac{\mu_0}{2\pi r} I_1 I_2 l_2, \quad (3.4.20)$$

F_{12} -ը 1 հաղորդչի կողմից 2 հաղորդչի l_2 երկարության հատվածի վրա ազդող ուժն է: 1Ա-ի սահմանումից



հետևում է, որ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Հն/մ}$: Միավորների ԳՀ-ում վերցվում է $F_{12} = \frac{2I_1 I_2}{r} l_2$ և սահմանվում հոսանքի մագնիսական միավորը՝ 1 CGSM_I :

10. Լորենցի ուժը

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}; \quad F_L = |q|vB\sin\alpha, \quad (3.4.21)$$

որտեղ $\vec{F}_L$ -ը q լիցքի վրա ազդող ուժն է, որը $\vec{v}$ արագությամբ շարժվում է $\vec{B}$ ինդուկցիայով մագնիսական դաշտում, α -ն՝ $\vec{v}$ -ի և $\vec{B}$ -ի կազմած անկյունը (Նկ.3.17): Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{F}_L = \frac{1}{c} q\vec{v} \times \vec{B}$: Լորենցի ուժը փոխում է միայն մասնիկի արագության ուղղությունը, իսկ մեծությունը չի փոխում:

Որոշ դեպքերում (օրինակ [15]) մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մոդուլը սահմանում են (3.4.21) բանաձևով՝

$$B = \frac{F_{\text{մաք.}}}{q v}:$$

Հետևաբար $1 \text{ Sl} = 1 \frac{\text{Ն}}{\text{Գլ.մ/վ}}$: Հեշտ է նկատել, որ

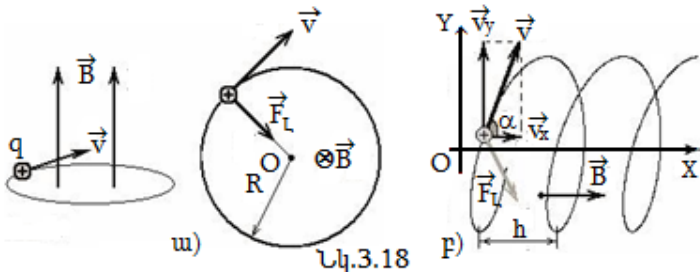
$$1 \frac{\text{Ն}}{\text{Գլ.մ/վ}} = 1 \frac{\text{Ն}}{\text{Ա.մ}} = 1 \frac{\text{Ն.մ}}{\text{Ա.մ}^2} = 1 \text{ Sl}:$$

• Լիցքավորված մասնիկի շարժումը համասեռ մագնիսական դաշտում.

ա) Մասնիկի $\vec{v}$ արագությունն ուղղահայաց է $\vec{B}$ -ին (Նկ.3.18ա):

Մասնիկը $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ պարբերությամբ կամ $\omega = \frac{qB}{m}$ անկյունային հաճախությամբ հավասարաչափ պտտվում է $R = \frac{mv}{qB}$ շառավղով շրջանագծով:

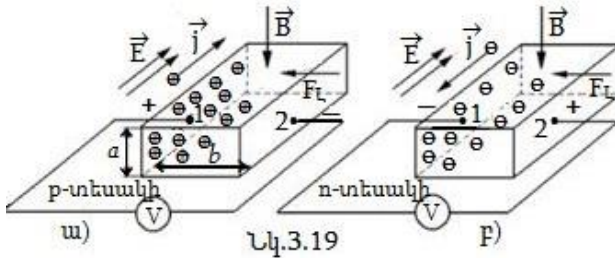
բ) Մասնիկի $\vec{v}$ արագությունն α անկյուն է կազմում $\vec{B}$ -ի հետ (Նկ. 3.18բ):



Մասնիկը հավասարաչափ շարժվում է $h = v_x T = \frac{2\pi m}{qB} v \cos \alpha$ քայլ ունեցող գալարագծով, որի գալարի շառավիղը՝ $R = \frac{mv_y}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$, իսկ գալարով պտտվելու պարբերությունը՝ $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$:

• Հոլի երևույթը

Եթե ուղղանկյուն լայնական հատույթ ունեցող ժապավենը, որով անցնում է հաստատուն հոսանք, տեղադրվի ժապավենին ուղղահայաց մագնիսական դաշտում (Նկ.3.19), ապա հոսանքակիրները Լորենցի ուժի ազդեցությամբ կշեղվեն դեպի ժապավենի կողմնային նիստերից մեկը և ժապավենի կողմնային նիստերի միջև կառաջանա լարում: Եթե հոսանքակիրներն ունեն դրական լիցք (Նկ.19ա, p-տե-սակի կիսահաղորդիչ), ապա 1 նիստը կունենա դրական, իսկ 2-ը՝ բացասական լիցք: Եթե հոսանքակիրներն ունեն բացասական լիցք (մետաղներ, n-տեսակի կիսահաղորդիչներ, Նկ.19բ), ապա 1 նիստը կունենա բացասական, իսկ 2-ը՝ դրական լիցք:



$$U_{12} = RjBb, \quad (3.4.22)$$

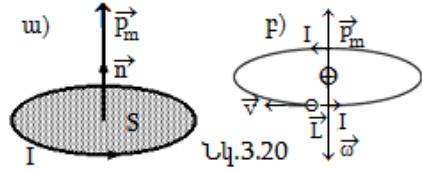
որտեղ $R = \frac{1}{ne}$ հաստատունը կոչվում է Հոլի հաստատուն, n-ը հոսանքակիրների կոնցենտրացիան է, e-ն՝ տարրական լիցքը: $j = \frac{I}{ab}$ ՝ հոսանքի խտությունն է, B-ն՝ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան, b-ն՝ ժապավենի լայնությունը:

11. Մագնիսական մոմենտ, դրա վարքը մագնիսական դաշտում

• Հոսանքակիր կոնտուրի մագնիսական մոմենտը (Նկ.3.20ա).

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}, \quad (3.4.23)$$

որտեղ I -ն կոնտուրի հոսանքի ուժն է, S -ը՝ կոնտուրի մակերեսը, $\vec{n}$ -ը՝ կոնտուրի մակերեսի նորմալն է, որի ուղղությունը հոսանքի ուղղության հետ կապված է աջ պտուտակի կանոնով: Հոսանքակիր ազատ կոնտուրը մագնիսական դաշտում կողմնորոշվում է այնպես, որ դրա դրական նորմալն ուղղված լինի դաշտի ուղղությամբ:



Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{p}_m = \frac{1}{c} IS \vec{n}$:

• **Էլեկտրոնի ուղեծրային և սեփական մագնիսական մոմենտները.**

ա) ատոմի միջուկի շուրջը փակ ուղեծրով էլեկտրոնի պտույտով (Նկ.3.20բ) պայմանավորված է հոսանք, որի մագնիսական մոմենտը կլինի՝

$$\vec{p}_m = \frac{e}{2m} \vec{L}, \quad (3.4.24)$$

որտեղ L -ը՝ էլեկտրոնի իմպուլսի մոմենտն է (մեխանիկական մոմենտ-տր): Այսպիսով, ատոմի էլեկտրոնի p_m ուղեծրային մագնիսական մոմենտի հարաբերությունը նրա մեխանիկական մոմենտին հաստատուն մեծություն է՝

$$\frac{p_m}{L} = \frac{e}{2m} = g, \quad (3.4.25)$$

որտեղ g -ն կոչվում է մագնիսահոլակային (գիրոմագնիսական) հաստատուն:

բ) էլեկտրոնն ունի նաև $L_s = \frac{1}{2} \hbar$ սեփական մեխանիկական մոմենտ, որտեղ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Ջվ՝ Պլանկի հաստատունն է: Այս մեխանիկական մոմենտով պայմանավորված մագնիսական մոմենտը կլինի՝

$p_s = \frac{e \hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Տլ: Այս մագնիսական մոմենտին ան-

վանում են Բորի մագնետոն՝ $\mu_B = \frac{e \hbar}{2m}$: Դժվար չէ նկատել, որ սպինային մագնիսական մոմենտի հարաբերությունը սպինային մեխանիկական մոմենտին տալիս է՝ $\frac{p_s}{L_s} = \frac{e}{m} = g_s$, այսինքն, սպինային մագնիսահոլակային հաստատունն երկու անգամ մեծ է ուղեծրային մագնիսահոլակային հաստատունից:

• Մագնիսական դաշտում գտնվող մագնիսական դիպոլի վրա ազդող ուժը.

$$\vec{F} = iF_x + jF_y + kF_z, \\ F_x = p_m \frac{\partial B_x}{\partial n}, \quad F_y = p_m \frac{\partial B_y}{\partial n}, \quad F_z = p_m \frac{\partial B_z}{\partial n}, \quad (3.4.26)$$

որտեղ B_x -ը մագնիսական ինդուկցիայի պրոեկցիան է OX առանցքի վրա, $\frac{\partial B_x}{\partial n}$ -ը՝ B_x -ի ածանցյալն է նորմալի կամ $\vec{p}_m$ -ի ուղղությամբ, p_m -ը՝ մագնիսական մոմենտի մոդուլը: Համասեռ մագնիսական դաշտի կողմից հոսանքակիր շրջանակի կամ մագնիսական մոմենտի վրա ուժ չի ազդի:

• Մագնիսական դաշտում գտնվող մագնիսական մոմենտի վրա ազդող ուժի մոմենտը.

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}; \quad M = p_m B \sin \alpha: \quad (3.4.27)$$

(3.4.27) բանաձևը ճիշտ է, եթե մագնիսական դաշտի անհամասեռությունը հոսանքակիր շրջանակի սահմաններում անտեսվում է:

12. Մագնիսական դաշտում հոսանքակիր հաղորդալարի (շրջանակի) տեղափոխման աշխատանքը

$$dA = Id\Phi; \quad A = I(\Phi_2 - \Phi_1), \quad (3.4.28)$$

որտեղ $d\Phi$ -ն մագնիսական հոսքի փոփոխությունն է տվյալ տեղափոխության ժամանակ, Φ_1 և Φ_2 -ը մագնիսական հոսքերն են շրջանակի մակերեսով (սկզբնական և վերջնական դիրքերում): Այս աշխատանքը կատարում է հաղորդալարով հոսանք ստեղծող աղբյուրը, էլեկտրամագնիսական էլՇՈՒ-ի դեմ, նրանում հոսանքը հաստատուն պահելու համար: Միավորների ԳՀ-ում $A = \frac{1}{c} I(\Phi_2 - \Phi_1)$:

13. Մագնիսական դաշտի էներգիան և մագնիսական փոխազդեցության էներգիան

• Մագնիսական դաշտի էներգիան և խտությունը.

$$W = \frac{1}{2} \int_V \frac{B^2}{\mu_0} dV; \quad w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{\mu_0 H^2}{2}, \quad (3.4.29)$$

• Հոսանքների մագնիսական էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} I\Phi = \frac{\Phi^2}{2L}; \quad (3.4.30)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $W = \frac{1}{2c^2} LI^2 = \frac{1}{2c} I\Phi = \frac{\Phi^2}{2L}$:

• Արտաքին մագնիսական դաշտում գտնվող մագնիսական մոմենտի միայն մեխանիկական էներգիան.

$$W_{մեխ} = -\vec{p}_m \cdot \vec{B} = -p_m B \cos \alpha: \quad (3.4.31)$$

Մագնիսական դաշտի կողմից մագնիսական մոմենտի վրա ազդող ուժը պայմանավորված է այս էներգիայով՝

$$\vec{F} = -\text{grad} W_{մեխ} = \text{grad}(\vec{p}_m \cdot \vec{B}):$$

§5. ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԸ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊ-ՔՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

Այն միջավայրերը, որոնց մոլեկուլներն արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում չունեն մագնիսական մոմենտ, կոչվում են դիամագնիսներ: Արտաքին մագնիսական դաշտում դիամագնիսի բոլոր մոլեկուլներում մակաձվում է այդ դաշտին հակառակ ուղղված մագնիսական մոմենտ (դիամագնիսը մագնիսանում է, առաջանում են մագնիսացման հոսանքներ), որոնց մագնիսական դաշտն ուղղված է արտաքին դաշտին հակառակ և թուլացնում է դաշտը:

Այն միջավայրերը, որոնց մոլեկուլներն արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում ունեն սեփական մագնիսական մոմենտ, կոչվում են պարամագնիսներ: Արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում, մոլեկուլների ջերմային շարժման հետևանքով, դրանց մագնիսական մոմենտներն ունեն անկանոն դասավորություն և պարամագնիսը մագնիսացած չէ: Արտաքին մագնիսական դաշտում մոլեկուլների սեփական մագնիսական մոմենտները մասնակիորեն ուղղվում են արտաքին դաշտի ուղղությամբ (պարամագնիսը մագնիսանում է, առաջանում են մագնիսացման հոսանքներ), ու դրանց մագնիսական դաշտը ունենալով արտաքին դաշտի ուղղությունը, ուժեղացնում է այդ դաշտը: Պարամագնիսական ատոմներում ևս մակաձվում է արտաքին դաշտին հակառակ ուղղված մագնիսական մոմենտ, սակայն այն շատ փոքր է սեփական մոմենտից և սովորաբար անտեսվում է:

Այսպիսով, $\vec{B}_0$ մագնիսական դաշտում տեղադրված միջավայրում մակաձվում են մակերևութային ու ծավալային մագնիսացման հոսանքներ և ամենուրեք մագնիսական դաշտի $\vec{B}$ ինդուկցիան դառ-

նում է $\vec{B}_0$ և մագնիսացման հոսանքների $\vec{B}'$ դաշտերի վեկտորական գումարը՝

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}':$$

Դիամագնիսների ներսում $\vec{B}'$ -ն ունի $\vec{B}_0$ -ի հակառակ ուղղությունը և $|\vec{B}| < |\vec{B}_0|$, իսկ պարամագնիսների և ֆեռոմագնիսների ներսում $\vec{B}'$ -ն ունի $\vec{B}_0$ -ի ուղղությունը և $|\vec{B}| > |\vec{B}_0|$:

1. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիան միջավայրում

$$B = \mu B_0, \quad (3.5.1)$$

որտեղ μ -ն միջավայրի մագնիսական թափանցելիությունն է, B_0 -ն՝ հաղորդման հոսանքների մագնիսական դաշտի ինդուկցիան վակուումում: Դիամագնիսների համար $0 < \mu < 1$, պարամագնիսների համար $\mu > 1$, ֆեռոմագնիսների համար $\mu \gg 1$:

2. Համասեռ միջավայրում գտնվող շրջանակի ինդուկտիվությունը

$$L = \mu L_0, \quad (3.5.2)$$

որտեղ L_0 -ն շրջանակի ինդուկտիվությունն է վակուումում:

3. Մագնիսացման վեկտորը և մագնիսական դաշտի լարվածությունը

• Մագնիսացման վեկտոր անվանում են միջավայրի միավոր ծավալի մագնիսական մոմենտին.

$$\vec{I}_m = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}, \quad (3.5.3)$$

որտեղ $\vec{p}_{mi}$ -ն i -րդ մոլեկուլային հոսանքի (մոլեկուլի կամ ատոմի) մագնիսական մոմենտն է, ΔV -ն՝ ֆիզիկական փոքր ծավալ:

Արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում դիամագնիսների և պարամագնիսների մագնիսացման վեկտորը հավասար է զրոյի՝

$\vec{B} = 0$, $\vec{I}_m = 0$: Ֆեռոմագնիսների մոտ $\vec{B} = 0$ դեպքում մագնիսացման վեկտորը կարող է զրոյից տարբեր լինել:

• Մագնիսական դաշտի լարվածությունը.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{I}_m, \quad (3.5.4)$$

որտեղ $\vec{B}$ -ն մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է միջավայրում:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{I}_m$:

• Կապը մագնիսացման վեկտորի և լարվածության միջև.

$$\vec{I}_m = \chi_m \vec{H}, \quad (3.5.5)$$

որտեղ χ_m -ը միջավայրի մագնիսական ընկալունակությունն է ($\chi_m = \mu - 1$): Պարամագնիսների համար $\chi_m > 0$, դիամագնիսների համար $\chi_m < 0$: Ֆեռոմագնիսների համար $\chi_m \gg 1$ և ոչ միաբժեքորեն կախված է H -ից:

• **Կապը մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի և լարվածության միջև.**

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}: \quad (3.5.6)$$

Այստեղ $\mu = 1 + \chi_m$: Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{B} = \mu \vec{H}$, իսկ $\mu = 1 + 4\pi\chi_m$: (3.5.5) և (3.5.6) բանաձևերը ճիշտ են իզոտրոպ պարամագնիսների և դիամագնիսների համար թույլ դաշտերի դեպքում: Քանի որ $\vec{B} = \mu \vec{B}_0$, ուստի $\vec{H} = \vec{H}_0 = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$:

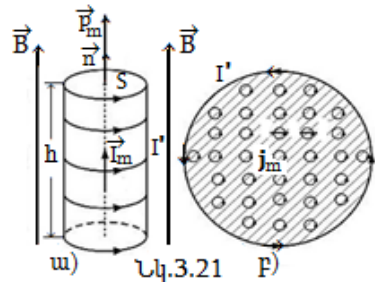
4. Մագնիսացման հոսանքների և միջավայրում դաշտը բնութագրող մեծությունների կապը

• **Համասեռ մագնիսացած գլանի մագնիսական մոմենտը և մագնիսացման վեկտորը (Նկ.3.21ա).**

$$\vec{p}_m = I' S \vec{n}; \quad \vec{l}_m = \frac{\vec{p}_m}{S h} = \frac{l'}{h} \vec{n} = i' \vec{n} \quad \text{կամ} \quad i' = \vec{l}_m \cdot \vec{n}: \quad (3.5.7)$$

Այստեղ I' – ը գլանի կողմնային մակերեսի վրա առաջացած մագնիսացման հոսանքի ուժն է, երբ այն տեղադրվել է գլանի ծնիչին զուգահեռ համասեռ մագնիսական դաշտում: $i' = \frac{l'}{h}$ -ն այդ հոսանքի զծային խտությունն է: Նկ.3.21-ում մագնիսացման վեկտորն ուղղված է գլանի առանցքով և ունի S մակերեսի նորմալի ուղղությունը և $i' = I_m$: Եթե գլանի հիմքերն առանցքի հետ կազմեն α անկյուն, ապա $i' = I_m \cos \alpha = \vec{l}_m \cdot \vec{n}$: Արդեն $\vec{n}$ վեկտորը մագնիսացման վեկտորի հետ կկազմի α անկյուն: Համասեռ մագնիսացման դեպքում մագնիսացման հոսանքի ծավալային խտությունը հավասար է զրոյի՝ $\vec{j}_m = 0$ (Նկ.3.21բ):

Միավորների ԳՀ-ում՝ $i' = c \vec{l}_m \cdot \vec{n}$:



• Անհամասեռ մագնիսացած գլանի մագնիսացման հոսանքը և հոսանքի խտությունը.

$$I' = \int_h \vec{I}_m \cdot d\vec{l};$$

$$\vec{j}_m = \text{rot} \vec{I}_m: \quad (3.5.8)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{j}_m = c \cdot \text{rot} \vec{I}_m$:

• Մագնիսացման վեկտորի շրջա-պըտույտը կամայական փակ կոնտուրով.

$$\oint_l \vec{I}_m d\vec{l} = I', \quad (3.5.9)$$

որտեղ I' -ը l կոնտուրի ընդգրկած մագնիսացման հոսանքն է:

• Մագնիսական դաշտի լարվածության շրջապտույտը կամայական փակ կոնտուրով.

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = I, \quad (3.5.10)$$

որտեղ I -ն l կոնտուրի ընդգրկած հաղորդման հոսանքների հանրահաշվական գումարն է:

• Մագնիսական ինդուկցիայի շրջապտույտը կամայական փակ կոնտուրով.

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0(I + I'): \quad (3.5.11)$$

• Դիֆերենցիալ տեսքը.

$$\text{rot} \vec{B} = \mu_0(\vec{j} + \vec{j}_m), \quad \text{rot} \vec{H} = \vec{j}, \quad (3.5.12)$$

որտեղ $\vec{j}$ -ն հաղորդման հոսանքի խտությունն է:

Միավորների ԳՀ-ում՝

$$\text{rot} \vec{B} = \frac{4\pi}{c}(\vec{j} + \vec{j}_m); \quad \text{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}:$$

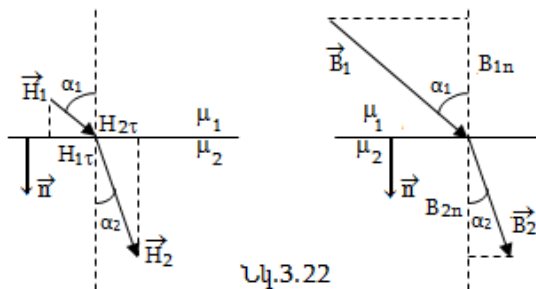
5. Առնչություններ երկու մագնետիկները բաժանող սահմանի վրա

• $B_{1n} = B_{2n}; \quad H_{1t} = H_{2t}: \quad (3.5.13)$

(եթե բաժանման սահմանի վրա չկան հաղորդման հոսանքներ, Նկ.3.22):

• $\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1}, \quad (3.5.14)$

որտեղ μ_1 և μ_2 -ը առաջին և երկրորդ մագնետիկների մագնիսական թափանցելիություններն են, α_1 և α_2 -ը՝ դաշտի գծերի և բաժանման սահմանի նորմալի կազմած անկյունները (Նկ.3.22):



Նկ.3.22

6. Մագնիսական դաշտի էներգիան միջավայրում

- $$W = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \vec{H} dV; \quad w = \frac{1}{2} \vec{B} \vec{H} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}; \quad (3.5.15)$$

(3.5.15)-ը ֆեռոմագնիսների համար ճիշտ չէ:

Միավորների ՔՀ-ում՝ $W = \frac{1}{8\pi} \int_V \vec{B} \vec{H} dV$:

- Մագնիսացած մագնետիկի (մագնիսանյութի) էներգիան և դրա վրա ազդող ուժը.

$$W_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \int_V \vec{B}_0 \vec{I}_m dV; \quad (3.5.16)$$

որտեղ $\vec{B}_0$ -ն հաղորդման հոսանքների մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է վակուումում:

- Մագնիսացած մագնետիկի միավոր ծավալի վրա ազդող ուժը.

$$\vec{f} = (\vec{I}_m \vec{\nabla}) \vec{B}, \quad (3.5.17)$$

կամ
$$f_x = \frac{1}{2} \frac{(\mu - 1)}{\mu_0 \mu} \frac{\partial \vec{B}^2}{\partial x}; \quad f_y = \frac{1}{2} \frac{(\mu - 1)}{\mu_0 \mu} \frac{\partial \vec{B}^2}{\partial y}; \quad f_z = \frac{1}{2} \frac{(\mu - 1)}{\mu_0 \mu} \frac{\partial \vec{B}^2}{\partial z};$$

Քանի որ պարամագնիսների և ֆեռոմագնիսների համար $\mu > 1$,

ուստի այդ ուժերն ունեն մագնիսական դաշտի աճման ուղղությունը և ձգվում են հաստատուն մագնիսների կողմից, իսկ դիամագնիսների դեպքում $0 < \mu < 1$ և $\vec{f}$ -ի պրոյեկցիաներն ուղղված են դաշտի նվազման կողմը և հաստատուն մագնիսների կողմից վանվում են:

7. Դիամագնիսների և պարամագնիսների մագնիսական ընկալչությունը (համաձայն դասական տեսության)

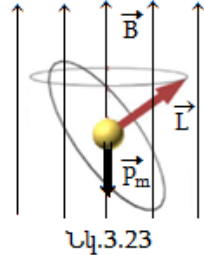
- Ատոմների լարմոյան պրեցեսիան մագնիսական դաշտում.

Մագնիսական դաշտում գտնվող ատոմի էլեկտրոնային ուղեծրերը սկսում են պրեցեսիա կատարել մագնիսական դաշտի շուրջ

ջը և դրա արդյունքում ատոմը ձեռք է բերում լրացուցիչ մագնիսական մոմենտ, որը հակառակ է ուղղված արտաքին մագնիսական դաշտին (Նկ.3.23): Ատոմի այս կոնապտույտին (պրեցեսիային) անվանում են լարմոյրյան պրեցեսիա, որի հաճախությունը՝

$$\vec{\Omega} = \frac{e}{2m} \vec{B}, \quad (3.5.18)$$

որտեղ e -ն էլեկտրոնի լիցքն է, m -ը՝ զանգվածը: Այս պրեցեսիայով է պայմանավորված ատոմների դիամագնիսական հատկությունը: Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{\Omega} = \frac{e}{2mc} \vec{B}$:



• Դիամագնիսների մագնիսական ընկալությունը.

$$\chi_m = -\frac{e^2 n Z \langle R^2 \rangle \mu_0}{6m}, \quad (3.5.19)$$

որտեղ e -ն էլեկտրոնի լիցքն է, m -ը՝ զանգվածը, n -ը՝ ատոմների կոնցենտրացիան, Z -ը՝ ատոմի կարգաթիվը, $\langle R^2 \rangle$ -ն՝ միջուկից էլեկտրոնների միջին քառակուսային հեռավորության քառակուսին:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\chi_m = -\frac{e^2 n Z \langle R^2 \rangle}{6mc^2}$:

• Պարամագնիսական գազի մագնիսական ընկալությունը (թույլ դաշտերի դեպքում).

$$\chi_m = \frac{n p_m^2 \mu_0}{3kT} = \frac{C}{T}, \quad (3.5.20)$$

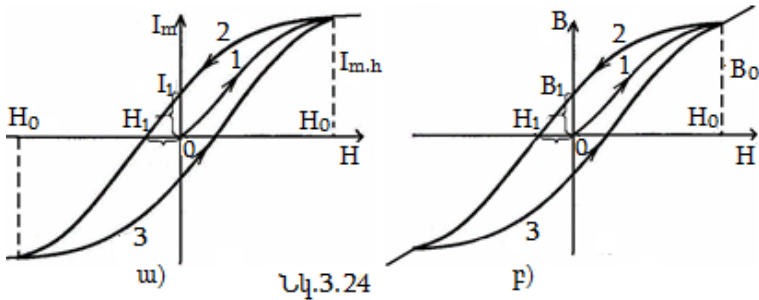
որտեղ p_m -ն ատոմի սեփական մագնիսական մոմենտն է, k -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, T -ն՝ բացարձակ ջերմաստիճանը:

Դասական տեսությամբ ստացված (3.5.20) արդյունքը երեք անգամ փոքր է փորձնական արդյունքից: Սա նշանակում է, որ պարամագնիսականությունը դասական տեսությամբ չի բացատրվում: Միջավարի մագնիսական հատկությունների ճշգրիտ բացատրությունը տալիս է քվանտային տեսությունը:

8. Ֆեռոմագնիսների հիստերեզիսային օղակները

Կան պարամագնիսներ, որոնք որոշակի ջերմաստիճանային տիրույթում կարող են մագնիսացած լինել նաև արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում: Բացի այդ, դրանց $\vec{I}_m$

մագնիսացման վեկտորը $\vec{H}$ -ից կախված է ոչ գծային օրենքով, դրանց մագնիսական ընկալությունը և թափանցելությունը կախված են դաշտի H լարվածությունից, ընդ որում ոչ միաբժեք կերպով: Այս հատկությունն առաջին անգամ նկատվել է երկաթի մոտ և նման հատկությամբ օժտված մագնետիկներին անվանել են ֆեռոմագնիսներ: Ֆեռոմագնիսների մագնիսական թափանցելությունը կարող է հավասարվել միլիոնի, մինչդեռ սովորական պարամագնիսների մոտ այն մեկի կարգի մեծություն է:



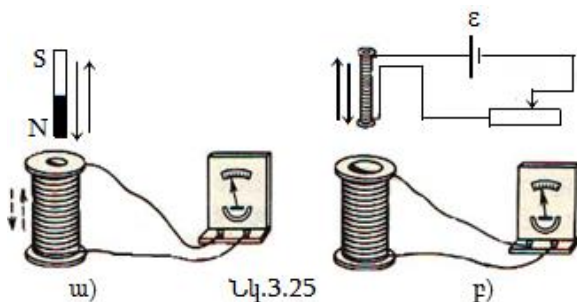
• $\vec{I}_m$ մագնիսացման վեկտորի արժեքների կախումը մագնիսական դաշտի H լարվածությունից (Նկ.3.24ա): Մագնիսական ինդուկցիայի արժեքների կախումը դաշտի լարվածությունից (Նկ.3.24բ): Հիստերեզիսի առավելագույն օղակում մնացորդային լարվածությունը կոչվում է կոերցիտիվ ուժ: Եթե ֆեռոմագնիսի կոերցիտիվ ուժը մեծ է, ապա այն կոչվում է մագնիսակարծր ֆեռոմագնիս, հակառակ դեպքում՝ մագնիսափափուկ:

§6. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՄԱԿԱԾՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և քանակներ

Փոփոխական մագնիսական հոսքը հաղորդիչ կոնտուրում (կոճում) ստեղծում է էլեկտրական հոսանք կամ ԷԼՇՈՒ, այս հոսանքին (ԷԼՇՈՒ-ին) անվանում են մակածված հոսանք (ԷԼՇՈՒ), իսկ երևույթին Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթ: Էլեկտրամագնիսական մակածման ԷԼՇՈՒ-ի ծագումը կախված չէ մագնիսական հոսքի փոփոխման ձևից: Նկ.3.25ա-ում այդ ԷԼՇՈՒ-ն առաջանում է

հաստատուն մագնիսի միջոցով, իսկ Նկ.3.25բ-ում՝ էլեկտրամագնիսով:



1. Էլեկտրամագնիսական մակածման Ֆարադեյի օրենքը և դրա մասնավոր դեպքերը

• Շրջանակում առաջացած մակածման ԷԼՇՈՒ-ն (ընդհանուր դեպքում).

$$\varepsilon_{\mathcal{U}} = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.6.1)$$

որտեղ $\frac{d\Phi}{dt}$ -ն մագնիսական հոսքի փոփոխման արագությունն է շրջանակի մակերեսով: (3.6.1) բանաձևը հաշվի է առնում ինչպես մագնիսական դաշտի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում, այնպես էլ շրջանակի դիրքի փոփոխությունը:

• Շրջանակում առաջացած մակածման ԷԼՇՈՒ-ն, որը պայմանավորված է միայն մագնիսական դաշտի փոփոխությամբ.

$$\varepsilon_{\mathcal{U}} = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}: \quad (3.6.2)$$

• Շրջանակում առաջացած մակածման ԷԼՇՈՒ-ն, որը պայմանավորված է միայն շրջանակի դիրքի փոփոխությամբ.

$$\varepsilon_{\mathcal{U}} = \oint_l (\vec{v} \times \vec{B}) d\vec{l}, \quad (3.6.3)$$

որտեղ $\vec{v}$ -ն շրջանակի $d\vec{l}$ տարրի արագությունն է:

• Էլեկտրամագնիսական մակածման ԷԼՇՈՒ-ն համասեռ մագնիսական դաշտում հաստատուն արագությամբ համընթաց շարժվող հաղորդչալարում.

$$\varepsilon_{\mathcal{U}} = (\vec{v} \times \vec{B}) \int_l d\vec{l} = (\vec{v} \times \vec{B}) \vec{L}, \quad (3.6.4)$$

որտեղ $\vec{L}$ -ը հաղորդալարի ծայրերն իրար միացնող վեկտորն է:

Հաղորդալարե փակ շրջանակի դեպքում $\oint d\vec{l} = 0$ և այս դեպքում $\varepsilon_{\mathcal{U}} = 0$: Եթե l երկարությամբ ուղիղ հաղորդալարն ուղղահայաց է մագնիսական դաշտի ինդուկցիային, իսկ $\vec{v}$ -ն $\vec{B}$ -ի հետ կազմում է α անկյուն, ապա $\varepsilon_{\mathcal{U}} = U = Bvl \sin \alpha$:

• **Շրջանակում առաջացած մակաձման ԷԼՇՈՒ-ի միջին արժեքը.**

$$\langle \varepsilon_{\mathcal{U}} \rangle = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}: \quad (3.6.5)$$

• **Հաղորդիչ շրջանակով անցնող լիցքը.**

$$q = - \frac{\Delta \Phi}{R}, \quad (3.6.6)$$

որտեղ $\Delta \Phi$ -ն մագնիսական հոսքի փոփոխությունն է շրջանակի մակերեսով, R -ը՝ շրջանակի դիմադրությունը:

• **Հաղորդիչ շրջանակով անցնող փոփոխական հոսանքի ստեղծած մակաձման ԷԼՇՈՒ-ն (ինքնամակաձման ԷԼՇՈՒ-ն).**

$$\varepsilon_{\mathcal{H}} = -L \frac{dI}{dt}, \quad (3.6.7)$$

որտեղ L -ը շրջանակի ինդուկտիվությունն է:

2. Մի քանի հոսանքակիր շրջանակների մագնիսական հոսքերի և հոսանքների կապը (երկու շրջանակի օրինակով)

$$\Phi_1 = L_{11}I_1 + L_{21}I_2, \quad \Phi_2 = L_{12}I_1 + L_{22}I_2, \quad (3.6.8)$$

որտեղ Φ_1 և Φ_2 -ը 1 և 2 շրջանակների մակերեսներով մագնիսական հոսքերն են, I_1 և I_2 -ը՝ դրանց հոսանքները, L_{12} և L_{21} -ը փոխադարձ ինդուկտիվության գործակիցները, որոնք կախված են շրջանակների ձևից, չափերից և դրանց փոխադարձ դասավորությունից: Ոչ ֆեռոմագնիսական միջավայրի դեպքում $L_{21} = L_{12}$, ինչը նշանակում է, որ առաջին շրջանակի ստեղծած հոսքը երկրորդում (առաջինի հոսանքն I է) հավասար է երկրորդի ստեղծած հոսքին առաջինում, երբ երկրորդով անցնում է նույն I հոսանքը (փոխադարձության թեորեմ):

• Հոսանքակիր շրջանակների մագնիսական փոխազդեցության էներգիան.

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i,k} L_{ik} I_i I_k: \quad (3.6.9)$$

3. Անցումային պրոցեսներ LR - շղթայում

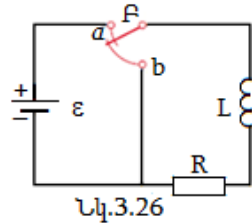
• Հոսանքի ուժը կոճում, երբ շղթան անջատելուց հետո հաղորդալարով անմիջապես փակում են (Նկ.3.26).

$$I = I_0 e^{-Rt/L}, \quad (3.6.10)$$

որտեղ I_0 -ն հոսանքի ուժն է շղթան անջատելու պահին, R -ը՝ կոճի և հաղորդալարի ընդհանուր դիմադրությունը:

Միավորների ԳՀ-ում՝

$$I = I_0 e^{-c^2 R t / L}:$$



Նկ.3.26

• Հոսանքի ուժը կոճում, երբ այն միացնում են հաստատուն հոսանքի աղբյուրին.

$$I = I_0 (1 - e^{-Rt/L}), \quad (3.6.11)$$

որտեղ I_0 -ն հաստատված հոսանքի ուժն է:

§7. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՏՍՏԱՆՈՒՄՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

Էլեկտրամագնիսական տատանումներ անվանում են պարբերաբար փոփոխվող հոսանքին, լարմանը, էլեկտրական դաշտի լարվածությանը, մագնիսական դաշտի ինդուկցիային:

1. Հարմոնիկ օրենքով փոփոխվող հոսանք

• Գործնականում փոփոխական են անվանում այն հոսանքը, որը ժամանակից կախված փոխվում է հարմոնիկ օրենքով.

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi_{01}), \quad (3.7.1)$$

որտեղ $\omega = 2\pi\nu$ -ն հոսանքի շրջանային հաճախությունն է, $\nu = 1/T$ -ն՝ հաճախությունը, φ_{01} -ը հոսանքի սկզբնական փուլն է, իսկ I_0 -ն՝ հոսանքի լայնույթը: Փոփոխական հոսանքը ստանում են $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t + \varphi_{02})$ փոփոխական էլՇՈՒ-ով աղբյուրից (գեներատոր-

րից), որտեղ ε_0 -ն էլՇՈՒ-ի լայնություն է, իսկ φ_{02} -ը՝ էլՇՈՒ-ի սկզբնական փուլը:

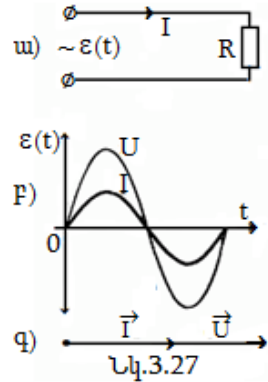
2. Ակտիվ դիմադրությունը փոփոխական հոսանքի շղթայում (Նկ. 3.27)

Անտեսվում է շղթայի ինդուկտիվ և ունակային դիմադրությունները:

- **ԷլՇՈՒ - ն և հոսանքի ուժը**

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 \sin(\omega t); \\ I &= I_0 \sin(\omega t),\end{aligned}\quad (3.7.2)$$

այսինքն հոսանքի ուժն ու էլՇՈՒ-ն ունեն նույն փուլը (Նկ.3.27բ): Նկ.3.27գ-ում հոսանքը և լարումը ներկայացված են պտտվող վեկտորների տեսքով:



- **Օհմի օրենքը.**

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R}; \quad I_q = \frac{\varepsilon_q}{R}, \quad (3.7.3)$$

որտեղ $I_q = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$; $\varepsilon_q = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{2}}$ հանդիսանում են հոսանքի և էլՇՈՒ-ի գործող արժեքները:

- **Ակտիվ հզորության միջին արժեքը.**

$$P = \frac{I_0 \varepsilon_0}{2} = I_q \varepsilon_q = I_q^2 R: \quad (3.7.4)$$

3. Ինդուկտիվ կոճը փոփոխական հոսանքի շղթայում (Նկ. 3.28ա)

Անտեսվում է կոճի և միացնող հաղորդալարերի ակտիվ և ունակային դիմադրությունները:

- **ԷլՇՈՒ-ն և հոսանքի ուժը.**

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t); \quad I = I_0 \sin(\omega t - \pi/2): \quad (3.7.5)$$

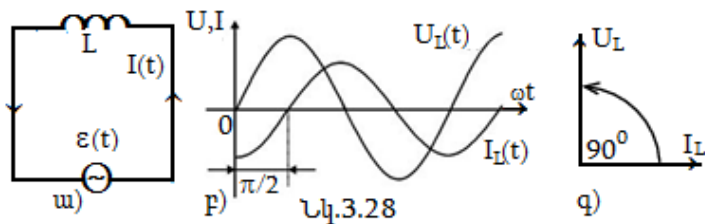
Հոսանքի ուժը $\pi/2$ փուլով էտ է ընկած էլՇՈՒ-ից (Նկ.3.28բ, գ):

Օհմի օրենքը.

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R_L}; \quad I_q = \frac{\varepsilon_q}{R_L}, \quad (3.7.6)$$

որտեղ $R_L = \omega L$ -ն ինդուկտիվ դիմադրությունն է:

- **Ակտիվ հզորության միջին արժեքը՝ $P = 0$:**



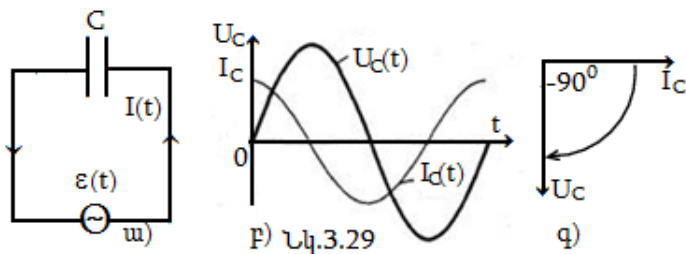
4. Կոնդենսատորը փոփոխական հոսանքի շղթայում (Նկ. 3.29)

Անտեսվում է կոնդենսատորի և միացնող հաղորդալարերի ակտիվ և ինդուկտիվ դիմադրությունները:

• ԷԼՇՈՒ-ն և հոսանքի ուժը.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t); \quad I = I_0 \sin(\omega t + \pi/2), \quad (3.7.7)$$

այսինքն հոսանքի ուժը $\pi/2$ փուլով առաջ է ընկած ԷԼՇՈՒ-ից (Նկ. 3.29բ և գ):



• Օհմի օրենքը.

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R_C}; \quad I_q = \frac{\varepsilon_q}{R_C}, \quad (3.7.8)$$

որտեղ $R_C = 1/\omega C$ -ն ունակային դիմադրությունն է:

• Ակտիվ հզորության միջին արժեքը՝ $P = 0$:

5. Հաջորդական միացած L , R և C տարրերը փոփոխական հոսանքի շղթայում (Նկ. 3.30)

• ԷԼՇՈՒ-ն և հոսանքի ուժը.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t); \quad I = I_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.7.9)$$

• Հոսանքի և ԷԼՇՈՒ-ի փուլերի տարբերության եռանկյունաչափական ֆունկցիաները.

$$\sin \varphi = \frac{R_L - R_C}{Z}; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{R_L - R_C}{R}, \quad (3.7.10)$$

որտեղ $Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}$ -ը կոչվում է լրիվ դիմադրություն:

- Օհմի օրենքը.

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{Z}; \quad I_q = \frac{\varepsilon_q}{Z}: \quad (3.7.11)$$

- Ակտիվ հզորության միջին արժեքը.

$$P = I_q \varepsilon_q \cos \varphi: \quad (3.7.12)$$

- Ռեակտիվ հզորության միջին արժեքը.

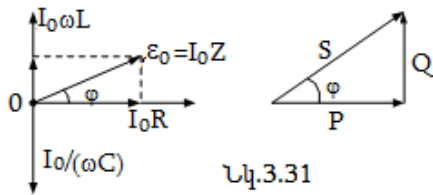
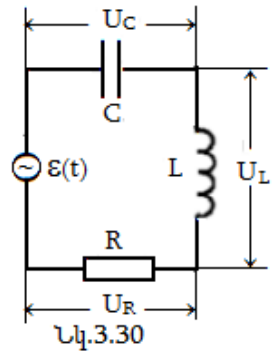
$$Q = I_q \varepsilon_q \sin \varphi: \quad (3.7.13)$$

- Լրիվ հզորության միջին արժեքը.

$$S = I_q \varepsilon_q = \sqrt{P^2 + Q^2}: \quad (3.7.14)$$

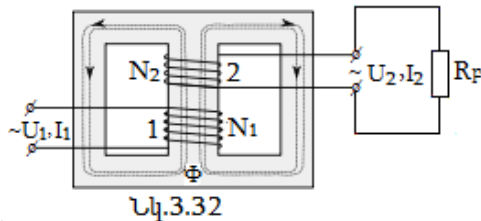
- Հաջորդական միացած L , R և C տարրերի

փոփոխական հոսանքի շղթայի լարումների և հզորությունների վեկտորական դիագրամները (Նկ.3.31).



6. Տրանսֆորմատոր

Այն էլեկտրական սարքերը, որոնք գործնականում անփոփոխ հզորության դեպքում մեծացնում կամ փոքրացնում են փոփոխական լարումը, կոչվում են տրանսֆորմատորներ (Նկ.3.32): Տրանսֆորմատորի աշխատանքի հիմքում ընկած է էլեկտրամագնիսական մակաձման երևույթը:



Առաջնային փաթույթով անցնող I_1 հոսանքը միջուկի ներսում ստեղծում է փոփոխական մագնիսական հոսք, որի շնորհիվ կոճերի յուրաքանչյուր գալարում մակաձվում է $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ ԷլՇՈւ (Նկ.3.32):

• **Առաջնային և երկրորդային փաթույթներում մակաձված ԷլՇՈւ – ները.**

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{և} \quad \varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (3.7.15)$$

որտեղ N_1 -ն առաջնային փաթույթի գալարների թիվն է, իսկ N_2 -ը՝ երկրորդայինի:

• **Օհմի օրենքն առաջնային և երկրորդային փաթույթների փակ կոնտուրների համար.**

$$U_1 + \varepsilon_1 = I_1 R_1, \quad \varepsilon_2 = I_2 R_2: \quad (3.7.16)$$

1 և 2 ինդեքսները վերաբերվում են համապատասխան փաթույթներին, R_1 -ն առաջնային փաթույթի ակտիվ օհմական դիմադրությունն է, R_2 -ը՝ երկրորդային փաթույթի և բեռի միացյալ ակտիվ դիմադրությունը՝ $R_2 = R'_2 + R_p$: Սովորաբար տրանսֆորմատորները պատրաստվում են այնպես, որ նրանց փաթույթների օհմական դիմադրությունները շատ փոքր լինեն բեռի դիմադրությունից և կարելի է համարել $I_1 R_1 \ll U_1$ և (3.7.16) –ից կունենանք՝

$$U_1 = -\varepsilon_1, \quad I_2 R_p = \varepsilon_2: \quad (3.7.17)$$

$\varepsilon_1 \approx -U_1$ առնչությունը նշանակում է, որ առաջնային փաթույթում մակաձված ԷլՇՈւ-ն հակափուլ է մուտքային լարմանը և համարյա կոմպենսացնում է նրան:

• **Պարապ ընթացքում՝**

$$I_1 \approx 0, \quad I_2 = 0: \quad (3.7.18)$$

• **Տրանսֆորմացիայի գործակիցը.**

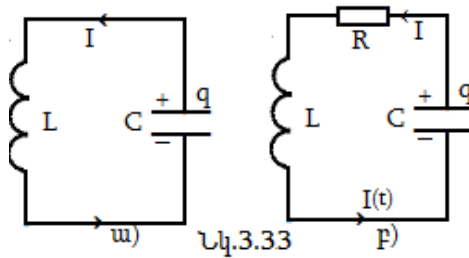
$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\varepsilon_{1m}}{\varepsilon_{2m}}, \quad (3.7.19)$$

որտեղ ε_{1m} -ը և ε_{2m} -ն առաջնային և երկրորդային փաթույթներում մակաձված ԷլՇՈւ-ների լայնության արժեքներն են:

• **Առաջնային և երկրորդային փաթույթներում ծախսված հզորությունների տարբերությունն անտեսվում է՝**

$$P_1 = U_1 I_1 \approx P_2 = \varepsilon_2 I_2: \quad (3.7.20)$$

7. Իդեալական տատանողական կոնտուրը (Նկ.3.33ա)



Նկ.3.33

- Տատանումների պարբերությունը.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.7.21)$$

- Տատանումների էներգիան.

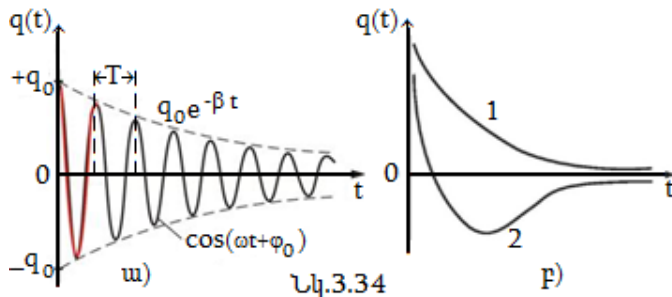
$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI_0^2}{2} \quad (3.7.22)$$

8. Հաջորդական միացած L, R և C տարրերից կազմված տատանողական կոնտուր (Նկ.3.33բ)

- Կոնդենսատորի շրջադրի լիցքի կախվածությունը ժամանակից.

$$q = q_m(t) \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (3.7.23)$$

որտեղ $q_m(t) = q_0 e^{-\beta t}$ -ն լիցքի լայնույթն է t պահին (Նկ.3.34ա), $\beta = R/2L$ -ը՝ մարման գործակիցը, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ -ն՝ տատանումների շրջանային հաճախությունը, $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ -ն՝ սեփական շրջանային հաճախությունը, φ_0 -ն՝ տատանումների սկզբնական փուլը:



Եթե մարումը թույլ է $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 \ll \frac{1}{LC}$, տատանումների հաճախությունը կլինի՝ $\omega \approx \omega_0$:

• **Ռելաքսացիայի ժամանակը.**

$$\tau = 1/\beta: \quad (3.7.24)$$

Սա այն ժամանակն է, որի ընթացքում տատանումների լայնույթը փոքրանում է e անգամ:

• **Մարման լոգարիթմական դեկրեմենտը.**

$$\delta = \ln \frac{q_m(t)}{q_m(t+T)} = \beta T = \frac{1}{N_e}, \quad (3.7.25)$$

որտեղ $T = 2\pi/\omega$ -ն մարող տատանումների պարբերությունն է, N_e - ն՝ տատանումների այն թիվը, որի ընթացքում լայնույթը փոքրանում է e անգամ:

• **Կոնտուրի բարորակությունը.**

$$Q = \frac{\pi}{\delta} = \pi N_e: \quad (3.7.26)$$

• **Կոնտուրի բարորակությունը թույլ մարումների դեպքում.**

$$Q = \frac{2\pi W}{\Delta W}, \quad (3.7.27)$$

որտեղ W -ն կոնտուրի կուտակած էներգիան է ժամանակի տվյալ պահին, ΔW -ն՝ այդ էներգիայի կորուստը մեկ պարբերության ընթացքում: (3.7.25-3.7.27) բանաձևերը ճիշտ են, երբ $\beta < \omega_0$ կամ $R < R_{lp}$, որտեղ $R_{lp} = 2\sqrt{L/C}$ -ն կոնտուրի կրիտիկական դիմադրությունն է, այդ դիմադրությունից սկսած՝ կոնտուրում տատանում չի լինի: Երբ $\beta > \omega_0$ կամ $R > R_{lp}$, տեղի է ունենում կոնդենսատորի ապերիոդիկ լիցքաթափում (1 կորը Նկ.3.34բ-ում): $R = R_{lp}$ դեպքում $q(t)$ կախումը կունենա Նկ.3.34բ-ում բերված 2 կորի տեսքը:

§8. ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՄԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Շեղման հոսանք

$$I_2 = \oint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} = \oint_S \vec{j}_2 d\vec{S}, \quad (3.8.1)$$

որտեղ $\vec{j}_2 = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ -ն շեղման հոսանքի խտությունն է:

2. Մաքսվելի հավասարումները

• Ինտեգրալ տեսքը.

Մաքսվելի հավասարումների առաջին զույգը:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0: \quad (3.8.2)$$

Մաքսվելի հավասարումների երկրորդ զույգը:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}; \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV: \quad (3.8.3)$$

• Դիֆերենցիալ տեսքը.

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{կամ} \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \text{div} \vec{B} &= 0 \quad \text{կամ} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0; \end{aligned} \quad (3.8.4)$$

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{կամ} \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \text{div} \vec{D} &= \rho_0 \quad \text{կամ} \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_0, \end{aligned} \quad (3.8.5)$$

որտեղ ρ_0 -ն կողմնակի լիցքերի ծավալային խտությունն է:

3. Նյութական հավասարումները

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}; \quad \vec{j} = \gamma \vec{E}: \quad (3.8.6)$$

4. Ալիքային հավասարումը համասեռ և իզոտրոպ միջավայրում

• Էլեկտրական դաշտի համար.

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad (3.8.7)$$

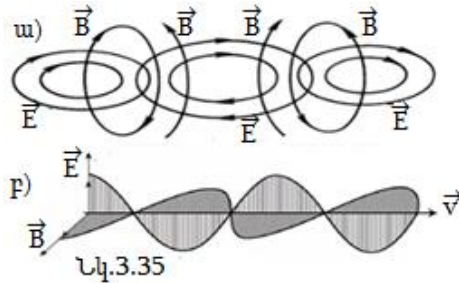
որտեղ $v = \frac{1}{\sqrt{\mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}$ -ն էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունն է միջավայրում, որն ունի ε դիէլեկտրական և μ մագնիսական թափանցելիություն, $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ -ն՝ էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունն է վակուումում:

• Մագնիսական դաշտի համար.

$$\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0: \quad (3.8.8)$$

$\vec{E}$, $\vec{B}$ և $\vec{j}$ վեկտորները միմյանց փոխուղղահայաց են և կազմում են աջ պտուտակային համակարգ (Նկ.3.35): (3.8.7) և (3.8.8) հավասարումներից որոշվում է $\vec{E}$ -ի և $\vec{B}$ -ի արժեքները տարածության այն կետերում, որտեղ $\vec{j} = 0$ և $\rho = 0$:

Նկ.3.35ա-ում պատկերված է էլեկրամագնիսական ալիքի ծագման պրոցեսը՝ փոփոխական մագնիսական դաշտը ստեղծում է փոփոխական մրրկային էլեկտրական դաշտ, որը ստեղծում է փոփոխական մագնիսական դաշտ և այլն: Նկ.3.35բ-ում պատկերված է այդ ալիքի տարածման պրոցեսը:



5. ՕՒ առանցքով տարածվող հարթ մենեքանգ էլեկտրամագնիսական ալիքի հավասարումը.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_0), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \sin(\omega t - kx + \varphi_0), \quad (3.8.9)$$

որտեղ $\vec{E}_0$ -ն էլեկտրական դաշտի լայնույթն է, իսկ $\vec{B}_0$ -ն՝ մագնիսական դաշտի լայնույթը, ω -ն՝ ալիքի շրջանային հաճախությունը, k -ն՝ ալիքային թիվը (ալիքային վեկտորի մոդուլը): Դրանց միջև կապը՝ $k = \frac{\omega}{v}$: $\vec{k}$ ալիքային վեկտորն ունի ալիքի տարածման արագության ուղղությունը: (3.8.9) արտահայտությունները բավարարում են (3.8.7) և (3.8.8) հավասարումներին:

• Ալիքի երկարությունը.

$$\lambda = vT = \frac{\omega T}{k} = \frac{2\pi}{k}, \quad (3.8.10)$$

որտեղ $T = \frac{2\pi}{\omega}$ -ն ալիքի պարբերությունն է:

• E և H մեծությունների կապն ալիքի ցանկացած կետում.

$$E\sqrt{\epsilon\epsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0}; \quad E = vB \quad \text{կամ} \quad H = vD: \quad (3.8.11)$$

Վեկտորական տեսքով $\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}$ կամ $\vec{H} = \vec{v} \times \vec{D}$:

Միավորների ՔՀ-ում՝ $E = \frac{v}{c}B$; $H = \frac{v}{c}D$, իսկ $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$:

Վեկտորական տեսքով $\vec{E} = -\frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{B}$ կամ $\vec{H} = \frac{1}{c}\vec{v} \times \vec{D}$

6. Էլեկտրամագնիսական դաշտի էներգետիկ բնութագրերը

- Էներգիայի ծավալային խտությունը.

$$w = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu \mu_0 H^2}{2} = \varepsilon \varepsilon_0 E^2: \quad (3.8.12)$$

Միավորների ԳՀ-ում $w = \frac{\varepsilon E^2}{4\pi} = \frac{\mu H^2}{4\pi}$:

- Էներգիայի ծավալային խտության միջին արժեքը ներդաշնակ դաշտի համար.

$$\langle w \rangle = \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 E_0^2: \quad (3.8.13)$$

- Էներգիայի հոսքի խտությունը (Պոյնտինգի վեկտորը և դրա մոդուլը).

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}; \quad S = wv = \sqrt{\frac{\varepsilon \varepsilon_0}{\mu \mu_0}} E^2 = EH: \quad (3.8.14)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{S} = \frac{c}{4\pi} \vec{E} \times \vec{H}$; $S = wv = \frac{c}{4\pi} EH$:

- Վակուումի ալիքային դիմադրությունը.

$$z_0 = \frac{E_x}{H_y} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377 \text{ Օմ}: \quad (3.8.15)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $z_0 = 1$:

- Էներգիայի հոսքի խտության միջին արժեքը ներդաշնակ դաշտի համար (ինտենսիվությունը).

$$I = \langle S \rangle = \frac{1}{2} E_0 H_0 = \frac{1}{2} z_0 H_0^2 = \frac{1}{2} \frac{E_0^2}{z_0}, \quad (3.8.16)$$

որտեղ H_0 -ն մագնիսական դաշտի լայնություն է, իսկ E_0 -ն՝ էլեկտրական դաշտինը:

Միավորների ԳՀ-ում՝ $I = \langle S \rangle = \frac{c}{8\pi} E_0 H_0 = \frac{v}{8\pi} E_0^2$:

7. Արագացումով օժտված լիցքավորված մասնիկի ճառագայթած էլեկտրամագնիսական ալիքի հզորությունը.

$$P = \frac{1}{6\pi \varepsilon_0} \frac{q^2 a^2}{c^3}, \quad (3.8.17)$$

որտեղ q -ն մասնիկի լիցքն է, a -ն՝ արագացումը:

8. $p = p_0 \sin \omega t$ էլեկտրական մոմենտով օժտված դիպոլի (օսցիլյատորի) ճառագայթման միջին հզորությունը.

$$\overline{P} = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} \frac{\omega^4 p_0^2}{c^3}. \quad (3.8.18)$$

9. $m = m_0 \sin \omega t$ մոմենտով օժտված մագնիսական դիպոլի (օսցիլյատորի) ճառագայթման միջին հզորությունը.

$$\overline{P} = \frac{\mu_0}{12\pi} \frac{\omega^4 m_0^2}{c^2}. \quad (3.8.19)$$

10. Էլեկտրամագնիսական ալիքի իմպուլսը և ճնշումը

• Էլեկտրամագնիսական ալիքի միավոր ծավալի իմպուլսը.

$$\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2} = \frac{1}{c^2} \vec{E} \times \vec{H} = \vec{D} \times \vec{B} : \quad (3.8.20)$$

Միավորների ԳՀ-ում՝ $\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2} = \frac{1}{4\pi c} \vec{E} \times \vec{H} = \frac{1}{4\pi c} \vec{D} \times \vec{B} :$

• Էլեկտրամագնիսական ալիքի ճնշումը r անդրադարձման գործակցով մակերևույթին.

$$p = (1 + r)\langle w \rangle : \quad (3.8.21)$$

11. Փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտում շարժվող լիցքավորված մասնիկի վրա ազդող ուժը.

$$\vec{F} = q\vec{E} + \frac{q}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] : \quad (3.8.22)$$

[20] աշխատանքում հիմնավորվում է, որ

$$\vec{F} = q\vec{E} + \frac{q}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] + \frac{q}{2c} \left[\vec{\rho} \times \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right], \quad (3.8.23)$$

որտեղ $\vec{\rho}$ -ն մասնիկի շարժման հետագծի կորության շառավիղ-վեկտորն է՝ $\vec{\rho} = \frac{v^2}{|\vec{v} \times \vec{a}|^2} [\vec{v} \times [\vec{v} \times \vec{a}]]$, $\vec{a}$ -ն՝ մասնիկի արագացումը:

ԳԼՈՒԽ 4. ՕՊՏԻԿԱ

§1. ԵՐԿՐԱԶԱՓԱԿԱՆ ՕՊՏԻԿԱՅԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ:

ԿԵՆՏՐՈՆԱՑՎԱԾ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Երկրաչափական օպտիկայի հիմնական օրենքները

• Լույսի ուղղագիծ տարածման օրենքը.

Թափանցիկ, օպտիկական համասեռ միջավայրում լույսը տարածվում է ուղիղ գծով:

Վերջավոր, սակայն բավականին նեղ լուսային փունջը, որը կարող է գոյություն ունենալ մյուս փնջերից անկախ, կոչվում է լույսի ճառագայթ: Համաձայն լույսի ուղղագիծ տարածման օրենքի, օպտիկապես համասեռ միջավայրում լույսի ճառագայթը հանդիսանում է ուղիղ գիծ:

Լույսի ճառագայթներն օժտված են շրջելիության հատկությամբ, որի էությունը կայանում է նրանում, որ որոշակի հետագծով մի ուղղությամբ տարածվող ճառագայթը ճշգրիտ կրկնում է իր ընթացքը հակադիր ուղղությամբ տարածվելիս:

• Լույսի փնջերի անկախության օրենքը

Կամայական լուսային փնջերի տարածումը միջավայրում կախված չէ ուրիշ լուսային փնջերի առկայությունից: Այսինքն՝ լուսային փնջերը միմյանց վրա չեն ազդում, և յուրաքանչյուր փունջ տարածվում է այնպես, ինչպես կտարածվեր մյուս փնջերի բացակայության դեպքում:

Մի քանի լուսային փնջերի համատեղ ստեղծած լուսավորվածությունը հավասար է առանձին փնջերի ստեղծած լուսավորվածությունների գումարին:

• Լույսի անդրադարձման օրենքները

ա) Առաջին օրենք.

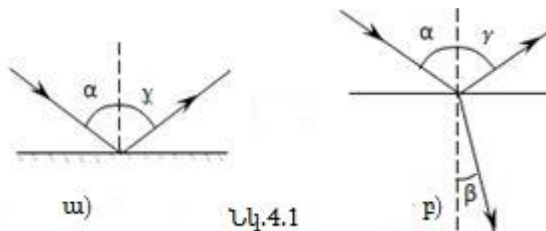
Ընկնող ճառագայթը, անդրադարձած ճառագայթը և անկման կետում երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին տարված ուղղահայացը գտնվում են նույն հարթության մեջ (Նկ.4.1ա):

բ) Երկրորդ օրենք.

Անկման α անկյան կամայական արժեքի դեպքում անդրա-

դարձման γ անկյունը հավասար է անկման անկյանը՝

$$\angle \gamma = \angle \alpha: \quad (4.1.1)$$



• **Երկու թափանցիկ միջավայրերի սահմանում լույսի բեկման օրենքները**

ա) Առաջին օրենք.

Ընկնող ճառագայթը, բեկված ճառագայթը և անկման կետում երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին տարված ուղղահայացը գտնվում են նույն հարթության մեջ (Նկ.4.1բ):

բ) Երկրորդ օրենք.

Անկման α անկյան կամայական արժեքի դեպքում անկման անկյան սինուսի հարաբերությունը բեկման β անկյան սինուսին հաստատուն մեծություն է և տվյալ երկու միջավայրերի համար՝

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (4.1.2)$$

n_1 -ը կոչվում է առաջին միջավայրի բացարձակ բեկման ցուցիչ, n_2 -ը՝ երկրորդ միջավայրի բացարձակ բեկման ցուցիչ, իսկ n_{21} -ը՝ հարաբերական բեկման ցուցիչ: Այս օրենքները ճիշտ են, երբ միջավայրի անհամասեռությունների d բնութագրական չափը շատ մեծ է լույսի ալիքի λ երկարությունից՝ $\lambda \ll d$: Այսինքն, երկրաչափական օպտիկայում անտեսվում են լույսի ալիքային հատկությունները:

2. Միջավայրի բեկման ցուցիչը

• **Միջավայրի բացարձակ բեկման ցուցիչ.**

Միջավայրի բացարձակ բեկման ցուցիչ, կամ պարզապես բեկման ցուցիչ, կոչվում է վակուումում և տվյալ միջավայրում լույսի արագությունների հարաբերությունը՝

$$n = \frac{c}{v} \quad (4.1.3)$$

• Միջավայրի հարաբերական բեկման ցուցիչ.

Մի միջավայրի բեկման ցուցչի հարաբերությունն ուրիշ միջավայրի բեկման ցուցչին, կոչվում է հարաբերական բեկման ցուցիչ՝

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}, \quad (4.1.4)$$

որտեղ $n_1 = \frac{c}{v_1}$ -ն առաջին միջավայրի բեկման ցուցիչն է, $n_2 = \frac{c}{v_2}$ -ը երկրորդ միջավայրինը, իսկ n_{21} -ը՝ երկրորդ միջավայրի հարաբերական բեկման ցուցիչը: Փոքր բեկման ցուցիչ ունեցող միջավայրին անվանում են օպտիկապես նոսր միջավայր, իսկ ավելի մեծ բեկման ցուցիչովինը՝ օպտիկապես խիտ միջավայր:

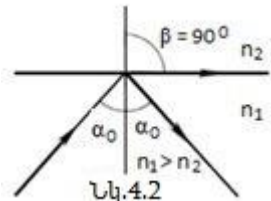
• Լույսի լրիվ անդրադարձումը

Երբ լույսի ճառագայթն օպտիկապես խիտ միջավայրից անցնում է օպտիկապես նոսր միջավայր ($n_1 > n_2$), ապա այն թեքվում է դեպի այդ միջավայրերի բաժանման սահմանը և անկման α_0 սահմանային անկյան դեպքում β բեկման անկյունը դառնում է 90° (Նկ.4.2):

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}: \quad (4.1.5)$$

$\alpha > \alpha_0$ անկյան դեպքում բեկված ճառագայթ չի լինի (լրիվ անդրադարձում): Եթե լույսի ճառագայթը $n_1 = n$ միջավայրից անցնում է վակուում՝ $n_2 = 1$, ապա

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}: \quad (4.1.6)$$



3. Ֆերմայի սկզբունքը

Տարածության մի կետից մյուսը լույսը տարածվում է այնպիսի ճանապարհով, որն անցնելու ժամանակը նվազագույնն է:

Այս սկզբունքից բխում են լույսի ուղղագիծ տարածման, անդրադարձման և բեկման օրենքները:

• Եթե օպտիկապես անհամասեռ միջավայրում լույսը 1 և 2 կետերի միջև անցել է S ճանապարհով, ապա $l = \int_1^2 n ds$ -ը կոչվում է օպտիկական ճանապարհ, համասեռ միջավայրում $l = ns$: Հետևաբար, լույսը տարածվում է այնպիսի ճանապարհով, որի օպտիկական

երկարությունը նվազագույնն է: Անհամասեռ միջավայրում լույսն ուղիղ գծով չի տարածվի:

4. Օդատեսիլ (միրաժ).

Կտրուկ տարբերվող ջերմաստիճաններով օդի շերտերի սահմանից լույսի անդրադարձման երևույթով է պայմանավորված օդատեսիլը: Մթնոլորտային օդատեսիլները կարելի է բաժանել երեք հիմնական խմբի՝ ստորին, վերին և կողային:

• **Ներքին օդատեսիլ.** եթե ընդարձակ և հարթ վայրերում Երկրի մակերևույթին հաված օդի շերտի ջերմաստիճանը զգալիորեն բարձր է վերին հարևան շերտի ջերմաստիճանից, ապա այդ շերտի խտությունը, և հետևաբար բեկման ցուցիչը, կլինի զգալիորեն փոքր, քան օդի վերին շերտինը և լույսի ճառագայթն անդրադառնալով այդ շերտերը բաժանող սահմանից, կշեղվի ուղղաձիգ հարթության մեջ և հեռվում գտնվող դիտորդը, բացի առարկայից, դրա տակ կտեսնի



նաև նրա շրջված կեղծ պատկերը: Այս օդատեսիլը կոչվում է ներքին կամ լճային (Նկ.4.3ա):

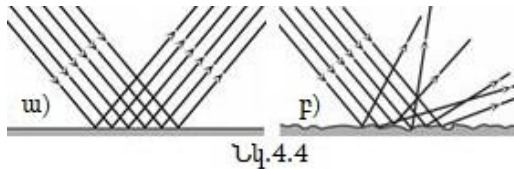
• **Վերին օդատեսիլ.** եթե ընդարձակ և հարթ վայրերում Երկրի մակերևույթին հաված օդի շերտի ջերմաստիճանը զգալիորեն ցածր է վերին հարևան շերտի ջերմաստիճանից, ապա այդ շերտի խտությունը, և հետևաբար բեկման ցուցիչը, կլինի զգալիորեն մեծ քան օդի վերին շերտինը և լույսի ճառագայթն անդրադառնալով այդ շերտերը բաժանող սահմանից, կշեղվի ուղղաձիգ հարթության մեջ և հեռվում գտնվող դիտորդը, բացի առարկայից, դրա վերևում կտեսնի նաև նրա շրջված կեղծ պատկերը: Այս օդատեսիլը կոչվում է վերին կամ հեռահար (Նկ.4.3բ):

• **Կողային օդատեսիլ.** եթե Երկրի մակերևույթի մոտ գտնվող օդային ուղղաձիգ շերտերի ջերմաստիճաններն իրարից զգալիորեն տարբերվում են, ապա այդ շերտերի խտությունները, և հետևաբար, բեկ-

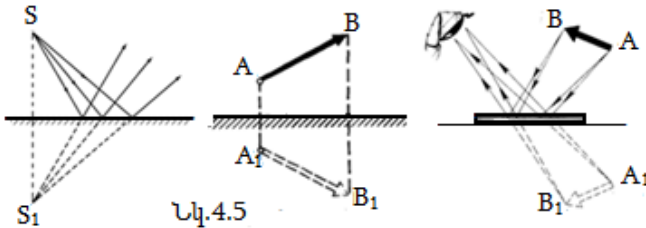
ման ցուցիչներն իրարից էապես կտարբերվեն և լույսի ճառագայթն անդրադառնալով այդ շերտերի բաժանման սահմանից կըկորանա է հորիզոնական հարթության մեջ և հեռվում գտնվող դիտորդը, բացի առարկայից, դրա կողքին կտեսնի այդ առարկայի ուղիղ, կեղծ պատկերը: Դրան անվանում են կողային օդատեսիլ:

5. Հարթ հայելի

Այն հարթությունը, որն իրականացնում է հայելային անդրադարձում (Նկ.4.4ա), կոչվում է հարթ հայելի: Հարթ հայելու մակերևույթի անհարթությունների բնութագրական չափը լույսի ալիքի երկարության կարգի մեծությունն է՝ $d \leq \lambda$: Նկ.4.4 բ-ն՝ լույսի ցրիվ անդրադարձումն է, այս դեպքում $d \gg \lambda$:



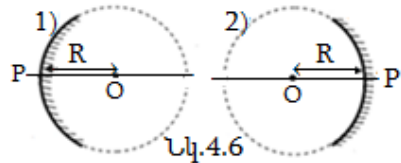
• Կետի և առարկայի պատկերը հարթ հայելում (Նկ.4.5).



Պատկերը կեղծ է, համաչափ հայելու նկատմամբ և նույն չափի:

6. Գնդաձև հայելի

Այն կոր հայելիները, որոնց ողորկ մակերևույթը գնդաձևի արտաքին կամ ներքին մաս են, կոչվում են գնդային հայելի: Նկ.

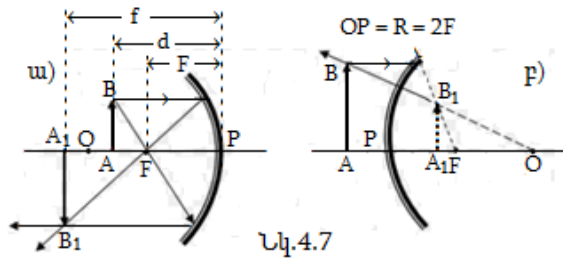


4.6-ի 1)-ը՝ ուռուցիկ, իսկ 2)-ը՝ գոգավոր հայելի է: P կետը կոչվում

է հայելու բևեռ, գնդի O կենտրոնը կոչվում է օպտիկական կենտրոն:
Նկ.4.7ա-ում բերված է AB առարկայի պատկերի կառուցումը գո-
գավոր հայելում, իսկ Նկ.4.7բ-ում՝ ուռուցիկ հայելում:

OP ուղիղը կոչվում է գլխավոր օպտիկական առանցք: F -ը՝ կիզա-
կետ, իսկ հայելու կիզակետային հեռավորությունն է՝

$$FP = OF = F = R/2:$$



• **Գոգավոր հայելու (Նկ.4.7ա) բանաձևը.**

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (4.1.7)$$

որտեղ d -ն առարկայի հեռավորությունն է հայելու բևեռից (AP), f -ը՝
պատկերի հեռավորությունը հայելու բևեռից (A_1P): (4.1.7) բանաձևը
ճիշտ է գլխավոր օպտիկական առանցքին մոտ ճառագայթների հա-
մար, որոնց անվանում են մերձառանցքային կամ պարաքսյալ ճա-
ռագայթներ:

Եթե առարկայի հեռավորությունը հայելու կիզակետից՝ $AF = l_0$ -է,
իսկ պատկերի հեռավորությունը կիզակետից՝ $A_1F = l$, ապա

$$F^2 = l_0 l: \quad (4.1.8)$$

• **Ուռուցիկ հայելու (Նկ.4.7 բ) բանաձևը.**

$$-\frac{1}{F} = -\frac{2}{R} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}: \quad (4.1.9)$$

• **Գնդաձև հայելու գծային կամ լայնական խոշորացումը.**

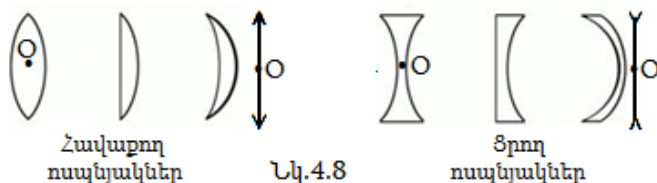
Եթե գնդաձև հայելու գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա
գտնվող՝ նրան ուղղահայաց AB բարձրությամբ հատվածի պատկերն

ունի A_1B_1 բարձրություն, ապա A_1B_1/AB հարաբերությունը կոչվում գծային կամ լայնական խոշորացում՝ $\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB}$: Գնդային հայելու գծային խոշորացումը՝

$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f}{d} \quad (4.1.10)$$

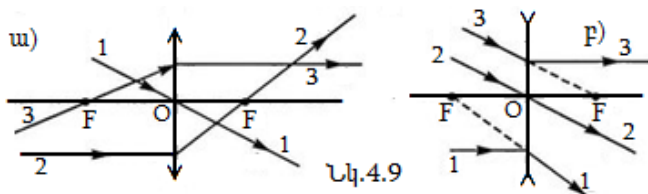
7. Բարակ ոսպնյակներ

Թափանցիկ, գնդային մակերևույթներով սահմանափակված մարմիններին անվանում են ոսպնյակներ: Եթե ոսպնյակի հաստությունը շատ փոքր է գնդային մակերևույթների շառավիղներից՝ $L \ll R_1, R_2$,



ապա այդ ոսպնյակը համարվում է բարակ, իսկ Նկ.4.8-ում բերված է հավաքող և ցրող ոսպնյակներն ու դրանց նշանակումները: Օ կետը կոչվում է ոսպնյակի օպտիկական կենտրոն: Այդ կետով անցնող ճառագայթները չեն շեղվում:

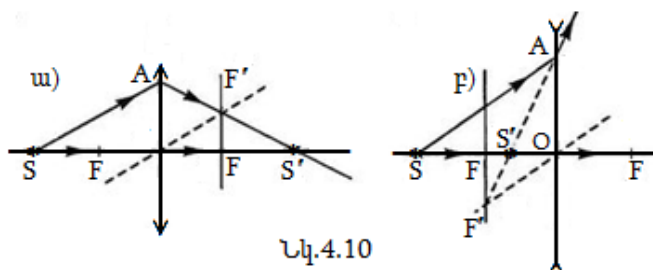
• Որոշ ճառագայթների ընթացքը հավաքող (Նկ.4.9ա) և ցրող ոսպնյակում (Նկ.4.9բ)



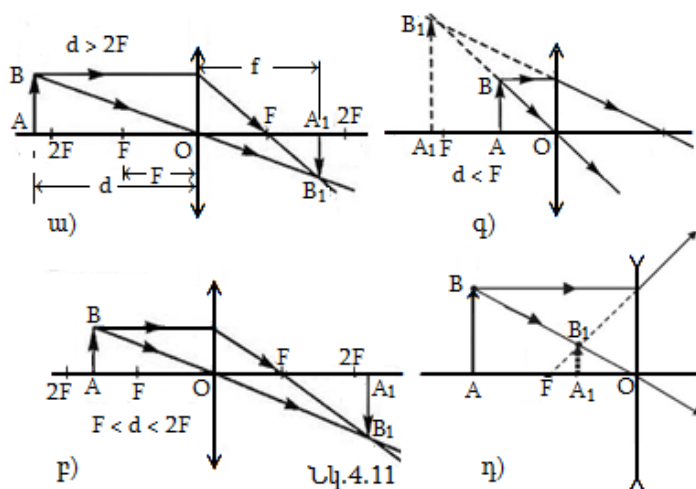
• Գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա գտնվող S լուսատու կետի պատկերի կառուցումը հավաքող (Նկ. 4.10ա) և ցրող ոսպնյակում (Նկ. 4.10բ):

Կիզակետով անցնող և գլխավոր օպտիկական առանցքին ուղղահա-

յաց FF' հարթությունը կոչվում է կիզակետային հարթություն:



• AB առարկայի պատկերի կառուցումը հավաքող (Նկ.4.11ա,բ,գ) և ցրող ոսպնյակներում (Նկ.4.11դ).



• Բարակ հավաքող ոսպնյակի բանաձևը.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \text{ երբ } d > F; \quad \frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \text{ երբ } d < F, \quad (4.1.11)$$

որտեղ d -ն առարկայի հեռավորությունն է ոսպնյակից, f -ը՝ պատկերի հեռավորությունը ոսպնյակից, F -ը՝ ոսպնյակից կիզակետային հեռավորությունը:

- Բարակ ցրող ոսպնյակի բանաձևը.

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \quad (4.1.12)$$

- Բարակ ոսպնյակի օպտիկական ուժը.

$$D = \frac{1}{F}. \quad (4.1.13)$$

- Միջավայրում գտնվող բարակ ոսպնյակի օպտիկական ուժը.

$$D = \frac{n_0}{F} = \frac{(n-n_0)}{n_0} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (4.1.14)$$

որտեղ n_0 -ն միջավայրի բեկման ցուցիչն է, n -ը՝ ոսպնյակի նյութի բեկման ցուցիչը: R_1 և R_2 -ը՝ ոսպնյակի գնդային մակերևույթների շառավիղներն են: Եթե $n > n_0$, ապա երկուռուցիկ ոսպնյակի համար՝ $R_1 > 0, R_2 > 0$, իսկ երկգոգավորի համար՝ $R_1 < 0, R_2 < 0$:

- Բարակ ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը.

$$F = \frac{R_1 R_2}{(n_h - 1)(R_1 + R_2)}, \quad (4.1.15)$$

որտեղ $n_h = n/n_0$ -ն ոսպնյակի հարաբերական բեկման ցուցիչն է:

- Կիպ տեղադրված երկու բարակ ոսպնյակների օպտիկական ուժը.

$$D = D_1 + D_2, \quad (4.1.16)$$

որտեղ D_1 և D_2 -ն առանձին ոսպնյակների օպտիկական ուժերն են:

(4.1.16) բանաձևը ճիշտ է նաև երկու համառանցք բարակ ոսպնյակների համար, եթե դրանց միջև եղած տարածությունը լցված է n բեկման ցուցչով օժտված միջավայրով: Գոգավոր մակերևույթների դեպքում կորության շառավիղները վերցվում են բացասական նշանով:

- Բարակ ոսպնյակների գծային խոշորացումը

$$\text{ա) հավաքող ոսպնյակ՝} \quad \Gamma = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{f}{d} = \frac{F}{d-F}; \quad (4.1.17)$$

$$\text{բ) ցրող ոսպնյակ՝} \quad \Gamma = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{|f|}{d} = \frac{F}{d+|F|}; \quad (4.1.18)$$

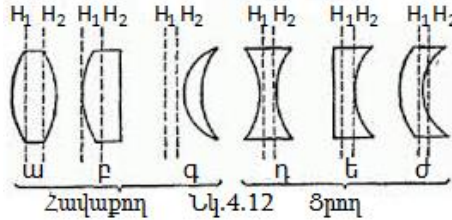
- Բարակ ոսպնյակների երկայնական խոշորացումը

Եթե AB երկարությամբ հատվածը գտնվում է զլխավոր օպտիկական առանցքի վրա (կամ դրան զուգահեռ ուղղու վրա) և ունի պատկերի $A_1 B_1$ երկարություն, ապա $A_1 B_1 / AB$ հարաբերությունը կոչվում է ոսպնյակի երկայնական խոշորացում՝

$$\beta = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{f_B - f_A}{d_A - d_B} \quad (4.1.19)$$

8. Հաստ ոսպնյակներ

- Հաստ ոսպնյակի գլխավոր հարթությունները (Նկ.4.12)



Բարակ ոսպնյակի դեպքում H_1 և H_2 գլխավոր հարթություններն իրար հետ համընկնում են:

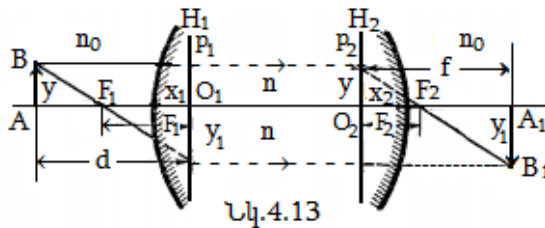
- Հառագայթի ընթացքը և առարկայի պատկերի կառուցումն օպտիկապես նույն միջավայրում գտնվող երկու լուսնիկ հաստ ոսպնյակում (Նկ.4.13, $n > n_0$):

Գլխավոր հարթությունների դիրքը որոշող x_1 և x_2 մեծությունները որոշվում են հետևյալ առնչություններից՝

$$x_1 = L \frac{n_0 D_1}{n D}; \quad x_2 = L \frac{n_0 D_2}{n D},$$

որտեղ $L = x_1 + O_1 O_2 + x_2$ -ն իրենից ներկայացնում է ոսպնյակի հաստությունը: Երկու լուսնիկ ոսպնյակի համար $D_1 = \frac{n-n_0}{n_0 R_1}$, $D_2 = \frac{n-n_0}{n_0 R_2}$, իսկ D -ն ոսպնյակի օպտիկական ուժն է: O_1 և O_2 կետերը կոչվում են ոսպնյակի գլխավոր կետեր:

Եթե O_1 կետը գտնվում է ընկնող ճառագայթի գծի վրա, ապա O_2 -ը կգտնվի ոսպնյակից դուրս եկող ճառագայթի գծի վրա, իսկ այդ գծերն էլ կլինեն իրար գուգահեռ:



Եթե հայտնի են հաստ ոսպնյակի գլխավոր հարթությունների դիրքերը և կիզակետերը, ապա դրանցում առարկայի պատկերի կառուցումը կատարվում է բարակ ոսպնյակի նման: Այս դեպքում $d = AO_1$, $f = A_1O_2$ և

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D:$$

- **L հաստությամբ ոսպնյակի օպտիկական ուժը.**

$$D = D_1 + D_2 - \frac{L}{n} D_1 D_2: \quad (4.1.20)$$

- **Կենտրոնացված օպտիկական համակարգի երկայնական խոշորացումը**

Եթե կենտրոնացված օպտիկական համակարգի գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա՝ նրա երկայնքով տեղադրված AB հատվածի պատկերի երկարությունն A_1B_1 է, ապա A_1B_1/AB հարաբերությունը կոչվում է երկայնական խոշորացում:

Ոսպնյակի երկայնական խոշորացումը՝

$$\beta = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{f_B - f_A}{d_A - d_B}: \quad (4.1.21)$$

- **Կենտրոնացված օպտիկական համակարգի անկյունային խոշորացումը**

Եթե կենտրոնացված օպտիկական համակարգի վրա ընկնող լույսի ճառագայթը գլխավոր օպտիկական առանցքի հետ կազմում է α_1 անկյուն, իսկ համակարգն անցնելուց հետո՝ α_2 անկյուն, ապա $tg\alpha_2/tg\alpha_1$ հարաբերությունը կոչվում է անկյունային խոշորացում.

$$\Gamma_\alpha = tg\alpha_2/tg\alpha_1: \quad (4.1.22)$$

- **Կենտրոնացված օպտիկական համակարգի Γ գծային, Γ_α անկյունային և β երկայնական խոշորացումների կապը.**

$$\Gamma = \beta \Gamma_\alpha: \quad (4.1.23)$$

§2. ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՄԱՐԲԵՐ: ԼՈՒՍԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

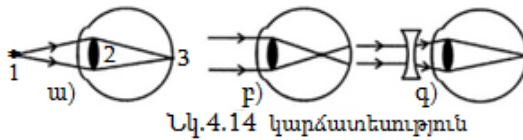
1. Օպտիկական սարքեր

- **Աչքի նվազագույն օպտիկական ուժը.**

$$D_{min} = \frac{1}{d_{min}} + \frac{1}{f}, \quad (4.2.1)$$

որտեղ f -ն ակնաբյուրեղից (2 կետը Նկ.4.14ա-ում), մինչև ցանցաթաղանթը եղած հեռավորությունն է (3 կետը Նկ.4.14ա-ում), սովորաբար վերցնում են $f = 17,1$ մմ, d_{min} -ը՝ աչքի հեռակա կետը՝ աչքից ամենահեռու կետը, որտեղ դրված մարմնի պատկերը ցանցաթաղանթի վրա հստակ է ստացվում:

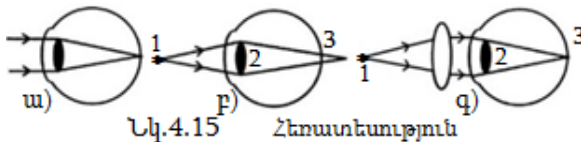
Նորմալ աչքի համար $d_{min} \rightarrow \infty$ և $D_{min} = \frac{1}{f} \approx 58,5$ դպտր:



• Առարկայից մինչև աչքը եղած այն նվազագույն L հեռավորությունը, որի դեպքում առարկայի մանրամասնությունները տեսանելի են աչքի նվազագույն ճիգով, կոչվում է լավագույն տեսողության հեռավորություն: Նորմալ աչքի համար $L=25$ մմ:

• Եթե աչքի d_{min} հեռակա կետը գտնվում է $0 < d_{min} < L$ միջակայքում, ապա մարդն օժտված է կարճատեսությամբ և այն շտկելու համար պետք է օգտագործի $D_{min} = -\frac{1}{d_{min}}$ բացասական օպտիկական ուժով ակնոցներ (Նկ.4.14):

• Եթե աչքի d_{min} հեռակա կետը գտնվում է $L < d_{min} < \infty$ միջակայքում, ապա մարդն օժտված է հեռատեսությամբ և այն շտկելու համար պետք է օգտագործի $D_{min} = +\frac{1}{d_{min}}$ դրական օպտիկական ուժով ակնոցներ (Նկ.4.15):

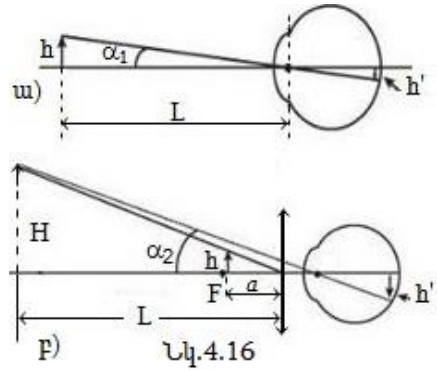


• Աչքին ամենամոտ կետը, որտեղ դրված առարկան հստակ է երևում, կոչվում է մոտակա կետ: Եթե աչքի d մոտակա կետը գտնվում է $0 < d < L$ միջակայքում, ապա մարդն օժտված է կարճատեսությամբ:

թյամբ և պետք է օգտագործի $D = 1/L - 1/d$ բացասական օպտիկական ուժով ակնոցներ:

• **Խոշորացույց.**

Պարզագույն խոշորացույցը մեծ օպտիկական ուժով հավաքող ոսպնյակ է: Դիտվող և բարձրության առարկան տեղադրվում է դրա հետևում՝ նրանից $a \approx F$ հեռավորության վրա (Նկ.4.16բ): Այդ դեպքում ստացված ուղիղ խոշորացված կեղծ պատկերը դիտվում է ոսպնյակին մոտ գտնվող աչքով՝ L լավագույն տեսողության վրա:



• **Խոշորացույցի խոշորացումը՝**

$$\Gamma_{\alpha} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx \frac{L}{F} = \frac{H}{h}, \quad (4.2.2)$$

$tg \alpha_1 = \frac{h}{L} \approx \alpha_1$; $tg \alpha_2 = \frac{h}{F} \approx \alpha_2$: $\alpha_1 = \frac{h}{L}$ -ը առարկայի դիտման անկյունն է L լավագույն տեսողության վրա (Նկ.4.16ա): $\alpha_2 = \frac{h}{F}$ -ն առարկայի դիտման անկյունն է, երբ այն տեղադրվում է աչքին մոտ գտնվող ոսպնյակի կիզակետում (Նկ.4.16բ):

• **Օբյեկտիվի լուսառուժը.**

Օբյեկտիվի լուսառուժ կոչվում է դրա հավաքող ոսպնյակի D տրամագծի և F կիզակետային հեռավորության հարաբերության քառակուսին՝

$$M = \left(\frac{D}{F}\right)^2: \quad (4.2.3)$$

• **Օբյեկտիվի ապերտուրան (բիբլ).**

Այն $\Delta\Omega$ մաքրման անկյունը, որի տակ երևում է օբյեկտիվի ոսպնյակը դիտման կետից, կոչվում է օբյեկտիվի ապերտուրա:

• **Օբյեկտիվի մուտքային ապերտուրան՝**

$$\Delta\Omega = \frac{\pi}{d^2} \left(\frac{D}{2}\right)^2, \quad (4.2.17)$$

որտեղ d -ն առարկայի հեռավորությունն է օբյեկտիվից:

• Օբյեկտիվի ելքային ապերտուրան՝

$$\Delta\Omega = \frac{\pi}{f^2} \left(\frac{D}{2}\right)^2, \quad (4.2.18)$$

որտեղ f -ը պատկերի հեռավորությունն է օբյեկտիվից:

• Մանրադիտակ.

Մանրադիտակը կազմված է իրարից հեռու տեղադրված, մեծ օպտիկական ուժ ունեցող երկու հավաքող ոսպնյակներից՝ օկուլյարից և օբյեկտիվից: Դիտվող առարկան տեղադրվում է օբյեկտիվի F_1 կիզակետի առջևում՝ նրան շատ մոտ: Օբյեկտիվը տալիս է առարկայի խոշորացված և շրջված պատկերը, որը օկուլյարով դիտվում է այնպես, ինչպես խոշորացույցով (Նկ.4.17):

• Մանրադիտակի խոշորացումը.

ա) ճշգրիտ բանաձևը՝

$$\Gamma_\alpha = \frac{F_1(d_2 + F_2)}{F_2(d_1 - F_1)}, \quad (4.2.3)$$

որտեղ F_2 -ն օկուլյարի կիզակետային հեռավորությունն է, d_1 -ը՝ առարկայի հեռավորությունն օբյեկտիվից, d_2 -ը՝ առարկայի կեղծ պատկերի հեռավորությունը աչքից: Սովորաբար d_2 -ը վերցնում են նորմալ աչքի լավագույն տեսողության հեռավորությանը հավասար՝

$d_2 = L = 25$ սմ:

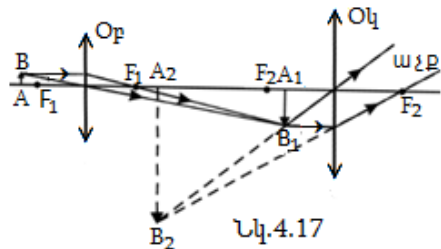
բ) մոտավոր բանաձևը՝

$$\Gamma_\alpha \approx \frac{lL}{F_1 F_2}, \quad (4.2.4)$$

որտեղ l -ը դիտվող առարկայի նկատմամբ օբյեկտիվի հետևի և օկուլյարի առջևի կիզակետերի միջև եղած հեռավորությունն է (փողակի երկարությունը):

• Փողակի երկարությունը (ճշգրիտ արժեքը).

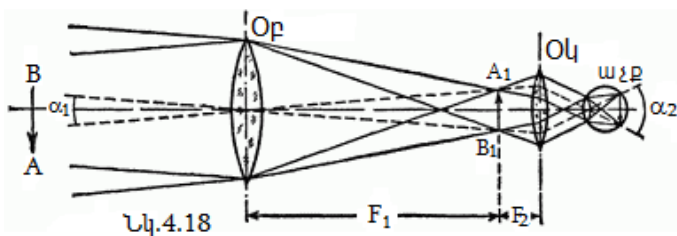
$$l = \frac{F_1 d_1}{d_1 - F_1} + \frac{F_2 d_2}{d_2 + F_2}:$$



Նկ.4.17

• **Հեռադիտակ.**

Հեռադիտակը կազմված է մեծ F_1 կիզակետային հեռավորությամբ օբյեկտիվից և փոքր F_2 կիզակետային հեռավորությամբ օկուլյարից: Օբյեկտիվով տրվող հեռու առարկայի պատկերը գործնականորեն գտնվում է իր հետևի կիզակետային հարթության մեջ: Այդ պատկերը դիտվում է այնպես, ինչպես խոշորացույցով (Նկ.4.18, Կեպլերի դիտակ): Գալիլեյի դիտակում օկուլյարը կարճ կիզակետով ցրող ոսպնյակ է, որի հետևի կիզակետը համընկնում է օբյեկտիվի հետևի կիզակետի հետ:

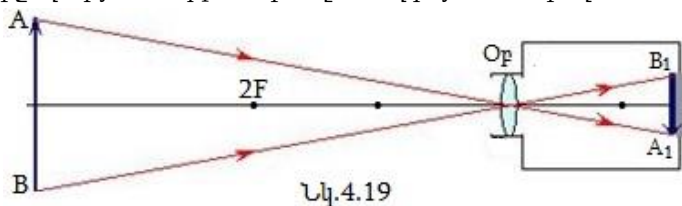


• **Հեռադիտակի խոշորացումը՝**

$$\Gamma_{\alpha} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx \frac{F_1}{F_2} \quad (4.2.5)$$

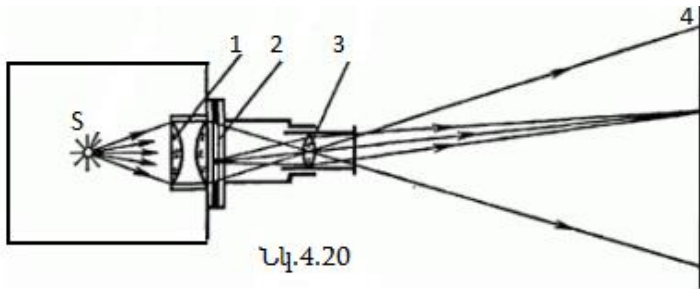
• **Լուսանկարչական ապարատ.**

Բոլոր լուսանկարչական ապարատների հիմնական մասը հավաքող ոսպնյակների համակարգն է՝ օբյեկտիվը (Նկ.4.19): Առարկան տեղադրվում է դրա կրկնակի կիզակետային հեռավորությունից մեծ հեռավորության վրա, այդ պատճառով իրական, շրջված, փոքրացված պատկերը ստացվում է հետևի կիզակետի և կրկնակի կիզակետի միջև: Այդ պատկերը գրանցվում է այդտեղ տեղադրված օպերատիվ հիշողության սարքում կամ լուսագրայուն ժապավենում:



• **Պրոյեկտոր.**

Պրոյեկտորն օպտիկական սարքավորում է, որը նախատեսված է լույսի համար թափանցիկ հենքի վրա եղած նկարի (ֆոտոժապավենի, 2-ը Նկ.4.20-ում) խոշորացած իրական պատկերն էկրանի վրա ստանալու համար: Պրոյեկտորի հիմնական մասը հավաքող ոսպնյակների համակարգն է՝ օբյեկտիվը, որի կիզակետի և կրկնակի կիզակետի միջև տեղադրվում է խոշորացվող նկարը՝ շրջված դիրքով: Լույսի աղբյուրի ճառագայթները ոսպնյակների 1 համակարգի միջոցով կենտրոնացվում են այդ նկարի վրա, որոնք այնուհետև անցնելով 3 օբյեկտիվով՝ 4 էկրանի վրա տալիս են ուղիղ խոշորացած պատկեր:



2. Լուսաչափություն

• **Ճառագայթային էներգիայի հոսք.**

Եթե Δt ժամանակամիջոցում որևէ մակերեսով անցնում է ΔQ ճառագայթային էներգիա, ապա այդ մակերեսով միավոր ժամանակում անցնող ճառագայթային էներգիան կլինի՝

$$\Delta\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (4.2.6)$$

$\Delta\Phi$ -ն կոչվում է ճառագայթային էներգիայի հոսք: Սահմանումից հետևում է, որ ճառագայթային էներգիայի հոսքի միավորը 1Վտ-ն է, սակայն օպտիկայում այդ միավորին անվանում են 1լյումեն՝ 1Լմ = =1Վտ:

• **Լույսի լրիվ հոսք.**

Լույսի աղբյուրից բոլոր ուղղություններով 1վ-ում դուրս եկող էներգիային անվանում են լույսի լրիվ հոսք՝

$$\Phi = \oint_S d\Phi: \quad (4.2.7)$$

• **Լույսի ուժ.**

Եթե տվյալ ուղղության $d\Omega$ մարմնային անկյան ներսով տարածվում է $d\Phi$ լուսային հոսք, ապա $d\Phi/d\Omega$ -ն կլինի միավոր մարմնային անկյան ներսով տարածվող լուսային հոսքը, որին անվանում են լույսի ուժ՝

$$J = \frac{d\Phi}{d\Omega}: \quad (4.2.8)$$

Լույսի կետային աղբյուրից առաքած լուսային հոսքը բոլոր ուղղություններով հավասարապես է բաշխված, հետևաբար դրա լույսի ուժը կլինի՝

$$J = \frac{\Phi}{4\pi}: \quad (4.2.9)$$

Լույսի ուժի միավորը 1կանդելան է՝ $1\text{ Կդ} = 1\text{ Վտ/ստերադիան}$:

• **Լուսավորվածություն.**

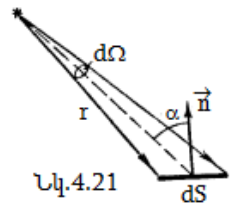
Եթե ds մակերեսի վրա ընկնում է $d\Phi$ լուսային հոսք, ապա $d\Phi/ds$ հարաբերությունը կլինի միավոր մակերեսի վրա ընկնող հոսքը, որին անվանում են լուսավորվածություն՝

$$E = \frac{d\Phi}{ds} = \frac{Jd\Omega}{ds}: \quad (4.2.10)$$

• **Լույսի կետային իզոտրոպ աղբյուրի լուսավորվածությունը.**

$$E = \frac{J \cos \alpha}{r^2}, \quad (4.2.11)$$

որտեղ r -ն աղբյուրից մինչև տվյալ ds մակերեսը եղած հեռավորությունն է, α -ն՝ ds մակերեսի նորմալի և այդ մակերեսի կենտրոնով անցնող լույսի ճառագայթի կազմած անկյունը (Նկ.4.21): Լուսավորվածության միավորն է՝ 1 Վտ/մ^2 , որին անվանում են լյուքս՝ $1\text{ Լք} = 1\text{ Վտ/մ}^2$:

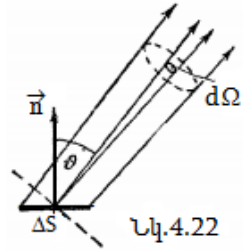


Նկ.4.21

• **Լույսի աղբյուրի պայծառությունը.**

Եթե լույսի աղբյուրի ΔS մակերեսից $d\Omega$ մարմնային անկյան ներսով առաքվում է $d\Phi$ լուսային հոսք (Նկ.4.22), ապա $B = \frac{d\Phi}{\Delta S \cos \theta d\Omega}$ մեծությանը անվանում են աղբյուրի պայծառություն, որտեղ θ -ն լուսա-

տու ΔS մակերեսի նորմալի և այդ մակերեսի դիտման ուղղության հետ կազմած անկյունն է, $\Delta S \cos \theta$ -ն՝ աղբյուրի տեսանելի մակերեսը: Պայծառության միավորն է՝ 1 կանդելա/մ²:



Եթե աղբյուրի B պայծառությունը կախված չէ θ անկյունից, ապա դրան անվանում են լամբերտյան աղբյուր:

• **Լույսի աղբյուրի լուսաստվությունը.**

Աղբյուրի միավոր մակերեսից բոլոր ուղղություններով արձակած լուսային հոսքին անվանում են աղբյուրի լուսաստվություն՝

$$\Lambda = \frac{\Phi}{S}: \quad (4.2.11)$$

Լուսաստվությունը չափվում է նույն միավորով, ինչ որ պայծառությունը՝ 1 կանդելա/մ²: Աղբյուրի Λ լուսաստվությունը B պայծառության հետ կապված է հետևյալ առնչությամբ՝

$$\Lambda = 2\pi \int_0^{\pi/2} B \cos \alpha \sin \theta d\theta: \quad (4.2.12)$$

Լամբերտյան աղբյուրների համար $\Lambda = \pi B$:

• **Լույսի ինտենսիվությունը.**

Եթե լույսի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց $ds_{\perp}$ մակերեսով անցնող լուսային հոսքը $d\Phi$ է, ապա $d\Phi/ds_{\perp}$ հարաբերությանն անվանում են լույսի ինտենսիվություն՝

$$I = \frac{d\Phi}{ds_{\perp}}: \quad (4.2.13)$$

Լույսի (էլեկտրամագնիսական ալիքի) ինտենսիվությունը չափվում է Վտ/մ² միավորներով:

• **Պատկերի լուսավորվածությունը ֆոտոապարատում.**

$$E = \frac{\pi}{4} B \left(\frac{D}{F} \right)^2, \quad (4.2.14)$$

որտեղ B -ն առարկայի պայծառությունն է:

• **Պրոյեկտորի տված պատկերի լուսավորվածությունը.**

$$E = \frac{\pi}{4} B \left(\frac{D}{F} \right)^2 \frac{1}{r^2}, \quad (4.2.15)$$

որտեղ Γ -ն օբյեկտիվի գծային խոշորացումն է: (4.2.14) և (4.2.15) բանաձևերը ճիշտ են լուսային էներգիայի կորուստների բացակայության դեպքում:

§3. ԼՈՒՑՄԻ ԻՆՏԵՐՖԵՐԵՆՑԸ ԵՎ ԴԻՖՐԱԿՑԻԱՆ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Լույսի ինտերֆերենց

• Լույսի կոհերենտ ալիքներ.

Երկու լուսային ալիք կոչվում են կոհերենտ, եթե դրանք ունեն նույն հաճախությունը՝ $\omega_1 = \omega_2$, իսկ փուլերի տարբերությունը ժամանակի ընթացքում մնում է հաստատուն՝

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_{01} - \varphi_{02} = \text{const}:$$

Լույսի բնական աղբյուրները կոհերենտ չեն: Կոհերենտ լուսային ալիքներ կարելի է ստանալ միևնույն կետային աղբյուրի ճառագայթած ալիքը բեկումների, անդրադարձումների կամ ձեղքերի միջոցով երկու մասի բաժանելով:

• Լույսի ինտերֆերենց.

Երկու կոհերենտ լուսային ալիքների վերադրման ժամանակ տարածության մեջ տեղի է ունենում լուսային հոսքի վերաբաշխում, որի արդյունքում որոշակի տեղերում առաջանում են ինտենսիվության (պայծառության) մաքսիմումներ, իսկ մեկ այլ տեղերում՝ մինիմումներ: Այս երևույթին անվանում են լույսի ինտերֆերենց:

• Լույսի երկու ալիքների ընթացքների օպտիկական տարբերությունը (Նկ.4.23).

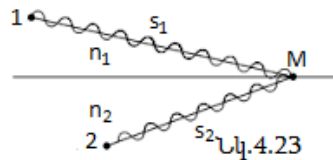
$$\Delta = n_2 s_2 - n_1 s_1 = l_2 - l_1: \quad (4.3.1)$$

• Լուսային ալիքների ինտերֆերենցիոն մինիմումների պայմանը (Նկ.4.24).

$$\Delta = \pm \frac{(2k+1)\lambda_0}{2}, \quad (4.3.2)$$

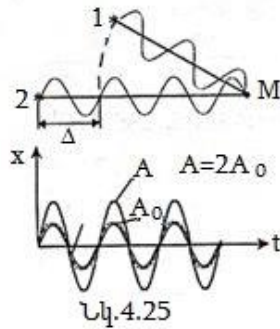
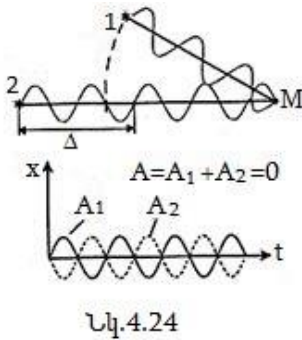
որտեղ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$: λ_0 -ն լուսային ալիքի երկարությունն է վակուումում:

• Լուսային ալիքների ինտերֆերենցիոն մաքսիմումների պայ-



մանը (Նկ.4.25).

$$\Delta = \pm k\lambda_0: \quad (4.3.3)$$

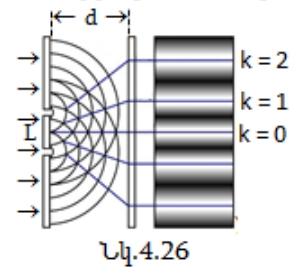


• **Ինտերֆերենցիոն շերտի լայնությունը.**

Ինտենսիվության երկու հարևան մինիմումների կամ մաքսիմումների միջև եղած Δx հեռավորությունը կոչվում է ինտերֆերենցիոն շերտի լայնություն՝

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda_0, \quad (4.3.4)$$

որտեղ d -ն աղբյուրների միջև եղած հեռավորությունն է, իսկ L -ը՝ աղբյուրներից մինչև էկրանն եղած հեռավորությունը (Նկ.4.26):



• **Ֆրենելի երկհայելի.**

Ֆրենելի երկհայելին իրենից ներկայացնում է 180° -ին շատ մոտ երկնիստ անկյուն կազմող երկու հարթ հայելիների համակարգ, որում լույսի կետային աղբյուրի երկու կեղծ պատկերները հանդես են գալիս որպես կոհերենտ աղբյուրներ (Նկ.4.27): Ֆրենելի երկհայելով ստացված ինտերֆերենցիոն պատկերի շերտի լայնությունը որոշվում է $\Delta x = \frac{r+b}{2\alpha} \lambda_0$ բանաձևով, որտեղ r -ը լույսի կետային աղբյուրի, ինչպես նաև նրա երկու կեղծ պատկերների հեռավորությունն է հայելիների կազմած երկնիստ անկյան կողից, b -ն՝ այդ կողի հեռավորությունն է էկրանից, իսկ α -ն՝ երկնիստ անկյանը կից փոքր անկյունը: Էկրանի վրա ալիքների վերածածկման տիրույթի երկա-

րությունը հավասար է $2b\alpha$ -ի, իսկ դիտվող ինտերֆերենցիոն շերտերի թիվը՝

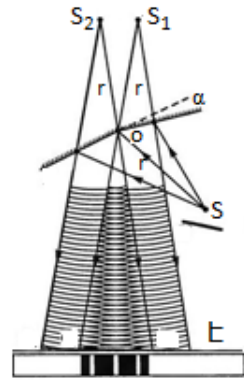
$$N = \frac{2b\alpha}{\Delta x} = \frac{4a^2br}{\lambda_0(r+b)};$$

• **Ֆրենելի երկարիզմա.**

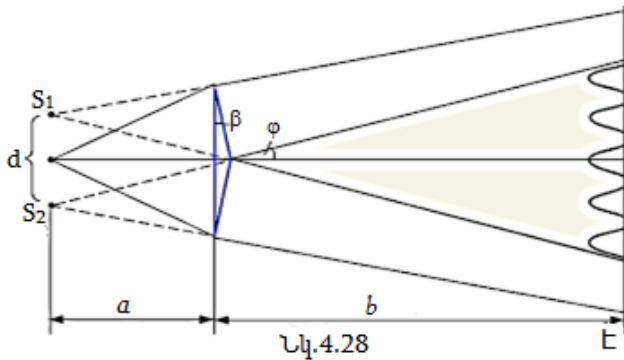
Ֆրենելի երկարիզման ապակու մի կտորից պատրաստված և ընդհանուր հիմք ունեցող երկու եռանկյուն պրիզմաներ են, որոնց բեկող β անկյունը փոքր է (Նկ.4.28):

Այդ հիմքին զուգահեռ՝ նրանից a հեռավորության վրա դրվում է լույսի ուղղազիծ աղբյուր, որի երկու կեղծ պատկերները հանդես են գալիս որպես կոհերենտ գլանային ալիքների աղբյուրներ: Դրանց միջև հեռավորությունը՝

$$d = 2atg\varphi \approx 2a\varphi = 2a(n-1)\beta:$$



Նկ.4.27



Նկ.4.28

Ինտերֆերենցիոն շերտի լայնությունը որոշվում է $\Delta x = \frac{a+b}{2a(n-1)\beta} \lambda_0$ բանաձևով, որտեղ b -ն երկարիզմայից մինչև էկրանն եղած հեռավորությունն է: Էկրանի վրա ալիքների վերաձածկման տիրույթի երկարությունը հավասար է $2btg\varphi \approx 2b\varphi$ -ի, իսկ դիտվող ինտերֆերենցիոն շերտերի թիվը՝

$$N = \frac{2b\varphi}{\Delta x} = \frac{4ab(n-1)^2\beta^2}{\lambda_0(a+b)}:$$

• **Լույսի ինտերֆերենցիան բարակ թաղանթներից անդրադառնալիս.**

Երբ d հաստությամբ թափանցիկ հարթ-զուգահեռ թիթեղի վրա ընկնում է մեներանգ լույսի զուգահեռ փունջ, թիթեղն անդրադարձնում է լույսի երկու կոհերենտ զուգահեռ փնջեր, որոնցից մեկն առաջանում է թիթեղի առջևի, իսկ երկրորդը՝ հետևի մակերևույթից (Նկ. $n_2 = \frac{c}{v_2}$ 4.29): Մրանց վերադրումը տալիս է ինտերֆերենցիոն պատկեր, որոնց մաքսիմումները որոշվում են հետևյալ պայմանից՝

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2} = k\lambda_0, \quad (4.3.5)$$

որտեղ α -ն անկման անկյունն է, իսկ $k = 0, 1, 2, 3, \dots$:

Իսկ ինտերֆերենցիոն մինիմումների համար՝

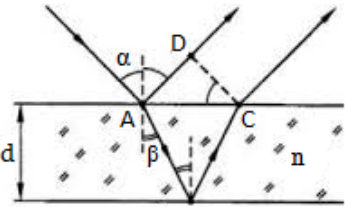
$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} \pm \frac{\lambda_0}{2} = \frac{(2k+1)\lambda_0}{2}: \quad (4.3.6)$$

Թիթեղից անցած առաջին երկու ճառագայթների ինտերֆերենցիոն պատկերում մաքսիմումների և մինիմումների պայմանները, անդրադարձածների նկատմամբ, տեղերով փոխվում են:

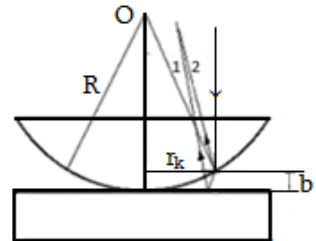
• **Նյութոնի օղակները.**

Նյութոնի օղակները դիտվում են, երբ լույսն անդրադառնում է իրար հաված հարթ-զուգահեռ ապակե թիթեղից և կորության մեծ շառավիղ ունեցող հարթուռուցիկ ոսպնյակից (Նկ.4.30): Բարակ թաղանթի դերը, որի մակերևույթներից անդրադառնում են կոհերենտ ալիքներ,

կատարում է թիթեղի և ոսպնյակի միջև եղած օդային բացակը: Մեներանգ լույսի ճառագայթների զուգահեռ փունջը նորմալի ուղղությամբ ընկնելիս հավասար հաստության շերտերն ունեն համա-



Նկ.4.29



Նկ.4.30

կենտրոն շրջանագծի տեսք (Նյուտոնի օղակներ), թեք ընկնելիս՝ էլիպսների տեսք: Նյուտոնի օղակների շառավիղները որոշվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$r_k = \sqrt{\frac{R\lambda_0}{2}}(k-1), \quad (4.3.7)$$

որտեղ $k = 1, 2, 3, \dots$, ընդ որում զույգ արժեքներին համապատասխանում են լուսավոր, իսկ կենտերինը՝ մութ օղակների շառավիղները: Այդ համակարգով անցնող կոհերենտ ճառագայթների ինտերֆերենցիոն մաքսիմումների և մինիմումների պայմանները, անդրադարձանների նկատմամբ, տեղերով փոխվում են:

• **Ինտերֆերենցիոն պատկերի տեսանելիությունը.**

$$V = \frac{I_{\text{մաք}} - I_{\text{մին}}}{I_{\text{մաք}} + I_{\text{մին}}}, \quad (4.3.8)$$

որտեղ $I_{\text{մաք}}$ -ը լուսավոր շերտի ինտենսիվությունն է, իսկ $I_{\text{մին}}$ -ը՝ մութ շերտինը:

2. Լույսի դիֆրակցիան

Դիֆրակցիա է կոչվում այն երևույթների համախումբը, որոնք դիտվում են խիստ անհամասեռություններ ունեցող միջավայրերում լույսի տարածման ժամանակ և կապված են երկրաչափական օպտիկայից եղած շեղումների հետ:

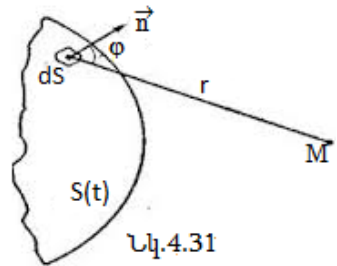
• **Հյուզենս-Ֆրենելի սկզբունքը.**

Ալիքի S ճակատի անվերջ փոքր dS մակերեսները (Նկ.4.31) հանդիսանում են գնդային կոհերենտ ալիքների աղբյուրներ՝

$$d\zeta = K \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0)$$

և որևէ M կետում արդյունաբար տատանումը ստացվում է որպես դրանց վերադրման արդյունք՝

$$\zeta = \int_S K \frac{a_0 dS}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha_0): \quad (4.3.9)$$



(4.3.9) բանաձևը կարելի է համարել որպես Հյուգենս-Ֆրենելի սկզբ-բունքի անալիտիկ արտահայտություն, որտեղ ինտեգրումը կատարվում է $S(t)$ ալիքային մակերևույթով: (4.3.9) –ում $\omega t + \alpha_0$ -ն տատանման փուլն է $S(t)$ ալիքային մակերևույթի գտնված տեղում, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ -ն՝ ալիքային թիվը, r -ը՝ մակերևույթի dS տարրի հեռավորությունը դիտարկվող կետից: α_0 մեծությունը որոշվում է dS -ի գտնված տեղում լուսային տատանումների լայնությամբ: K համեմատականության գործակիցը կախված է dS -ի $\vec{n}$ նորմալի և dS -ից դեպի դիտման կետն եղած ուղղության կազմած φ անկյունից և $K = 0$, եթե $\varphi = \pi/2$ և $K = K_{\text{սալ}}$, երբ $\varphi = 0$:

3. Ֆրենելի դիֆրակցիա

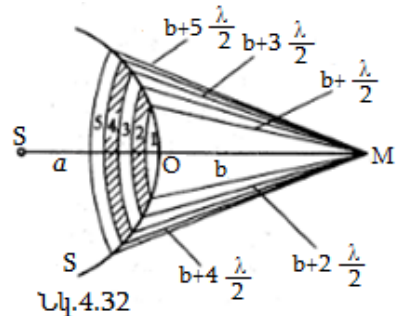
Եթե արգելքի վրա ընկնում է լույսի ճառագայթների ոչ զուգահեռ փունջ, իսկ դիֆրակցիան էլ դիտվում է արգելքից ոչ մեծ հեռավորության վրա, ապա նկատվող դիֆրակցիան կոչվում է Ֆրենելի դիֆրակցիա: Այս դիֆրակցիայի դեպքում էկրանի վրա ստացվում է արգելքի <<դիֆրակցիոն պատկերը>>:

• Ֆրենելի գոտիները.

Լույսի կետային աղբյուրի արձակած գնդային ալիքի մակերևույթը բաժանվում է օղակային գոտիների, որոնց եզրերից մինչև դիտման M կետն եղած հեռավորությունները տարբերվում են $\lambda/2$ –ով՝

$$b_m = b + m\lambda/2, \quad (4.3.10)$$

որտեղ λ -ն ալիքի երկարությունն է տվյալ միջավայրում, b -ն՝ O կետի հեռավորությունն է M կետից (Նկ. 4.32), իսկ b_m -ը՝ m -րդ գոտու արտաքին եզրի հեռավորությունը դիտման կետից: Ֆրենելի գոտիների մակերեսները համարյա իրար հավասար են: M կետում



արդյունաբար տատանման լայնությամբ՝ $A \approx \frac{A_1}{2}$, որտեղ A_1 -ն առաջին գոտու հարուցած տատանումների լայնություն է:

• **Ֆրենելի գոտիների շառավիղը.**

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda, \quad (4.3.11)$$

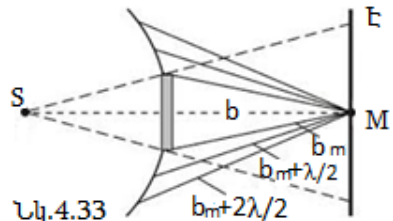
որտեղ $m = 1, 2, 3, \dots$, իսկ a -ն՝ լույսի աղբյուրի հեռավորությունն է ակիքային մակերևույթից (ֆրենելի գոտուց, $a = SO$):

• **Դիֆրակցիան կլոր սկավառակից.**

Եթե մեններանգ լույսի կետային աղբյուրի և դիտման կետի միջև, դրանց միացման գծին ուղղահայաց, տեղադրված ոչ թափանցիկ կլոր սկավառակը (Նկ.4.33) փակում է Ֆրենելի առաջին m թվով գոտիները, ապա դիտման կետում հարուցված տատանումների A լայնությամբ կլինի՝

$$A = \frac{A_{m+1}}{2}, \quad (4.3.12)$$

որտեղ A_{m+1} -ը դիտման կետում առաջին բաց գոտու հարուցած տատանումների լայնություն է: Այս դեպքում դիտման կետի ինտենսիվությունն առավելագույնն է, իսկ դիֆրակցիոն պատկերն ունի իրար հաջորդող լուսավոր և խավար օղակների տեսք: Պատկերի կենտրոնում միշտ ստացվում է լուսավոր բիծ:

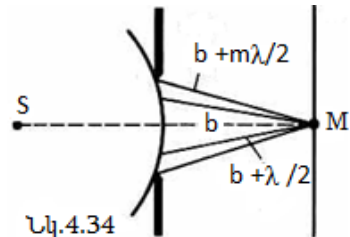


Նկ.4.33

• **Դիֆրակցիան կլոր անցքից.**

Եթե մեններանգ լույսի կետային աղբյուրի և դիտման կետի միջև, դրանց միացման գծին ուղղահայաց, տեղադրված ոչ թափանցիկ թիթեղի կլոր անցքը բաց է թողնում m թվով Ֆրենելի գոտիներ (Նկ.4.34), ապա դիտման կետում հարուցված տատանումների A լայնությամբ կլինի՝

$$A = \frac{A_1 + A_m}{2}, \quad (4.3.13)$$



Նկ.4.34

որտեղ A_1 -ն առաջին գոտու, իսկ A_m -ը՝ m -րդ գոտու հարուցած լայնություններն են: Կենտ m -ին համապատասխանում է (+) նշանը, զույգ m -ին՝ (-) նշանը: Փոքր կենտ m -ի դեպքում $A_m \approx A_1$ և $A \approx A_1$, փոքր զույգ m -ի դեպքում $A_m \approx A_1$ և $A \approx 0$: Դիֆրակցիոն պատկերն ունի իրար հաջորդող լուսավոր և խավար օղակների տեսք: Պատկերի կենտրոնում կարող է լինել կա՛մ խավար, կա՛մ լուսավոր բիծ:

4. Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիա

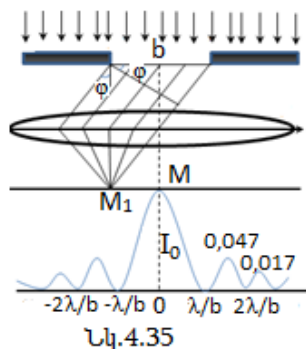
Եթե լույսի S աղբյուրը և դիտման P կետն արգելքից այնքան հեռու են, որ արգելքի վրա ընկնող և դեպի դիտման կետը գնացող ճառագայթները գործնականորեն կարելի է համարել զուգահեռ փընջեր, ապա նկատվող դիֆրակցիային անվանում են Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիա: Այս դիֆրակցիայի դեպքում դիտվում է հեռու գտնվող լույսի աղբյուրի << դիֆրակցիոն պատկերը >>:

• Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիան ճեղքից.

Եթե I ինտենսիվությամբ մեներանգ լույսի ճառագայթների զուգահեռ փունջն ընկնում է b լայնությամբ ճեղքի հարթության նորմալով (Նկ.4.35), ապա φ անկյան տակ դիֆրակցված ճառագայթների ինտենսիվությունը կլինի՝

$$I_{\varphi} = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}, \quad (4.3.14)$$

որտեղ I_0 -ն լույսի ինտենսիվությունն է դիֆրակցիոն պատկերի մեջտեղում:



• Դիֆրակցիոն մինիմումների պայմանը.

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (4.3.15)$$

որտեղ $m = 1, 2, 3, \dots$:

• Դիֆրակցիոն մաքսիմումների պայմանը.

Մեկ ճեղքից դիֆրակցիոն մաքսիմումների դիրքերը որոշվում է

հետևյալ տրանսցենդենտ հավասարումից՝

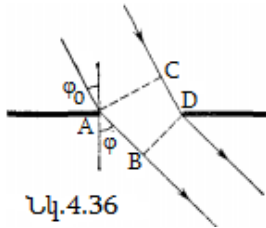
$$\alpha \cos \alpha - \sin \alpha = 0,$$

որտեղ $\alpha = \frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi$:

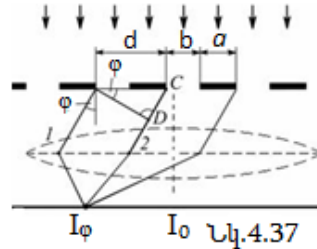
Գործնականում կարելի է համարել, որ մաքսիմումները գտնվում են երկու հարևան մինիմումների մեջտեղում: Եթե լույսի ճառագայթները ճեղքի հարթության նորմալի նկատմամբ ընկնում են φ_0 անկյան տակ (Նկ.4.36), ապա դիֆրակցիոն մինիմումների պայմանը կլինի՝

$$b(\sin \varphi - \sin \varphi_0) = \pm m \lambda: \quad (4.3.16)$$

• **Ֆրաունհոֆերի դիֆրակցիան դիֆրակցիոն ցանցից.**



Նկ.4.36



Նկ.4.37

Դիֆրակցիոն ցանց է կոչվում միատեսակ, իրարից միևնույն հեռավորության վրա գտնվող N հատ ճեղքերի համախումբը: Հարևան ճեղքերի կենտրոնների միջև եղած $d = b + a$ հեռավորությունը կոչվում է ցանցի հաստատուն կամ պարբերություն (Նկ.4.37):

• **Գլխավոր մաքսիմումների պայմանը.**

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda: \quad (4.3.17)$$

Դրանց ինտենսիվությունը տրվում է $I_{max} = N^2 I_\varphi$ բանաձևով, որտեղ I_φ -ն որոշվում է (4.3.14) արտահայտությամբ:

Եթե $d = 2b$, ապա զույգ m -ի համար ($m=2n$) կունենանք $b \sin \varphi = \pm n \lambda$, որը համընկնում է մեկ ճեղքից դիֆրակցիոն մինիմումի պայմանի հետ, հետևաբար այդ պայմանին բավարարող անկյան տակ ամբողջ ցանցը ճառագայթում չի տա և զույգ կարգ ունեցող մաքսիմումները կվերանան: $d = 3b$ դեպքում վերանում է յուրաքանչյուր

երրորդ գլխավոր մաքսիմումը և այլն:

• **Մինիմումների պայմանը՝**

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (4.3.18)$$

որտեղ b -ն ճեղքի լայնությունն է:

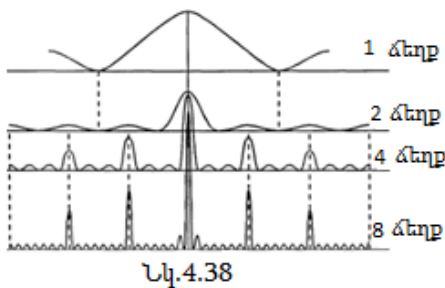
• **Լրացուցիչ մինիմումների պայմանը՝**

$$d \sin \varphi = \pm \frac{p}{N} \lambda, \quad (4.3.19)$$

որտեղ $p = 1, 2, 3, \dots, N-1, N+1, N+2, \dots$:

Երկու հարևան լրացուցիչ մինիմումների միջև կան մաքսիմումներ, որոնց անվանում են լրացուցիչ մաքսիմումներ: Երկու հարևան գլխավոր մաքսիմումների միջև տեղաբախշվում են $N-1$ հատ լրացուցիչ մինիմում և $N-2$ հատ լրացուցիչ մաքսիմում:

Նկ.4.38-ում բերված է ինտենսիվության բախշումն էկրանի վրա, կախված ճեղքերի քանակից: Ինչպես երևում է այդ նկարից, լրացուցիչ մաքսիմումների ինտենսիվությունը մեծ N -երի համար դառնում է շատ փոքր գլխավոր մաքսիմումների նըկատմամբ և դրանք անտեսվում են:



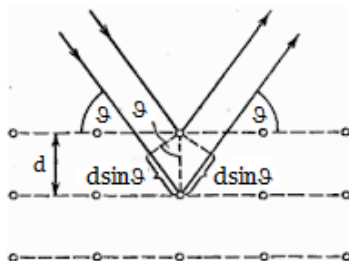
Նկ.4.38

5. Ռենտգենյան ճառագայթների դիֆրակցիան

• **Վուլֆ-Բրեգի բանաձևը.**

$$2d \sin \theta = \pm m \lambda, \quad (4.3.19)$$

որտեղ d -ն բյուրեղի երկու հարևան ատոմական հարթությունների միջև եղած հեռավորությունն է, θ -ն՝ սահքի անկյունը (Նկ.4.39), m -ը՝ դիֆրակցիոն մաքսիմումի կարգը:



Նկ.4.39

§4. ԼՈՒՅՄԻ ԴԻՄՊԵՐՄԵՆՍ ԵՎ ԿԼԱՆՈՒՄԸ: ԼՈՒՅՄԻ ՑՐՈՒՄԸ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Օպտիական սարքերի դիսպերսիա

Օպտիական սարքերի դիսպերսիան որոշում է իրարից 1 անգ-ստրեմ ալիքի երկարությամբ տարբերվող երկու սպեկտրալ գծերի անկյունային կամ գծային հեռավորությունը:

- Դիֆրակցիոն ցանցի անկյունային դիսպերսիան.

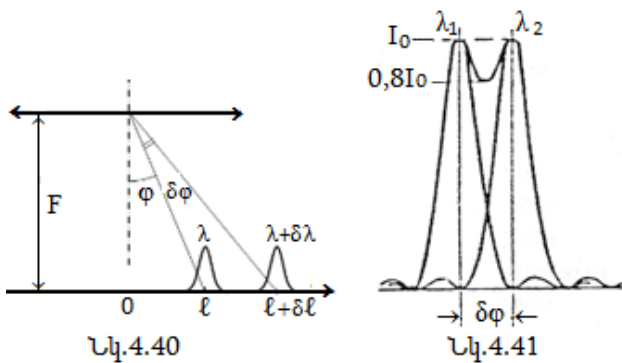
$$D_{\varphi} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi}, \quad (4.4.1)$$

որտեղ $\delta\varphi$ -ն երկու հարևան սպեկտրալ գծերի անկյունային հեռա-վորությունն է (Նկ.4.40), իսկ $m = 1, 2, 3, \dots$:

- Դիֆրակցիոն ցանցի գծային դիսպերսիան.

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda} \approx F \frac{m}{d}, \quad (4.2)$$

որտեղ δl -ը սպեկտրի երկու գծերի միջև հեռավորությունն է, որոնց ալիքների երկարությունները տարբերվում են $\delta\lambda$ -ով, իսկ F -ը՝ լույսի ճառագայթներն էկրանին հավաքող ուսայնակի կիզակետային հեռա-վորությունը (Նկ.4.40):



- Դիֆրակցիոն ցանցի գծային և անկյունային դիսպերսիաների կապը.

$$D_l = F D_{\varphi}: \quad (4.4.3)$$

2. Օպտիական սարքերի լուծող ուժը

Օպտիկական սարքերի լուծող ուժը որոշում է երկու լուսային ալիքների երկարությունների $\delta\lambda$ մինիմալ տարբերությունը, որի դեպքում դրանք սպեկտրի վրա ընկալվում են որպես առանձին գծեր: Այս դեպքում մի գծի մաքսիմումը պետք է համընկնի հարևան գծի մինիմումի հետ և տեղի ունենա Ռելեի պայմանը՝ $I_{min} = 0,8I_0$ (Նկ.4.41): Եթե օպտիկական սարքի սպեկտրում առանձին գծեր ընկալվող ամենամոտ գծերի անկյունային հեռավորությունը $\delta\varphi$ է, ապա սարքի լուծող ուժը կլինի՝

$$R = \frac{1}{\delta\varphi} : \quad (4.4.4)$$

• **Դիֆրակցիոն ցանցի լուծող ուժը.**

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN, \quad (4.4.5)$$

որտեղ N -ը ցանցի նրբագծերի թիվն է, իսկ $m = 1, 2, 3, \dots$:

• **Հեռադիտակի օբյեկտիվի լուծող ուժը.**

$$R = \frac{D}{1,22\lambda}, \quad (4.4.6)$$

որտեղ D -ն օբյեկտիվի մուտքի բիբի տրամագիծն է:

• **Մանրադիտակի լուծող ընդունակությունը.**

$$h \approx \frac{0,61\lambda}{n \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \quad (4.4.7)$$

որտեղ h -ը երկու կետերի միջև ամենափոքր հեռավորությունն է, որոնք միկրոսկոպի օգնությամբ ընկալվում են որպես առանձին կետեր: θ -ն օբյեկտիվի ռադիանսի տեսողության անկյունն է կիզակետից, n -ը՝ դրա բեկման ցուցիչը: Որքան փոքր է h -ը, այնքան մեծ է միկրոսկոպի լուծող ուժը:

• **Թափանցիկ եռանկյուն պրիզմայի լուծող ուժը.**

$$R = b \frac{dn}{d\lambda}, \quad (4.4.8)$$

որտեղ b -ն պրիզմայի հիմքի երկարությունն է, իսկ $\frac{dn}{d\lambda}$ -ն՝ պրիզմայի նյութի հարաբերական դիսպերսիան: Բանաձևը ճիշտ է, եթե ընկնող լույսի զուգահեռ փունջը գրավում է ամբողջ պրիզման և պրիզմայի ներսում տարածվում է հիմքին զուգահեռ:

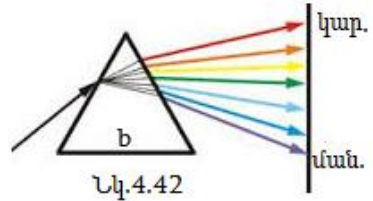
3. Լույսի դիսպերսիան և արագությունը

Լույսի դիսպերսիա են կոչվում այն երևույթները, որոնք պայմանավորված են նյութի բեկման ցուցչի լուսային ալիքի հաճախությունից (կամ երկարությունից) ունեցած կախվածությամբ՝

$$n = f(\lambda_0), \quad (4.4.9)$$

որտեղ λ_0 -ն լուսային ալիքի երկարությունն է վակուումում:

Այս երևույթի հետևանքով արևի լույսի նեղ ճառագայթն անցնելով ապակե պրիզմայով տարրալուծվում է տեսանելի յոթ գույնի ճառագայթների (Նկ.4.42):



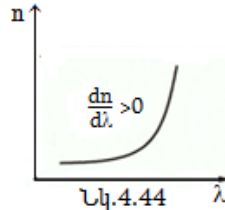
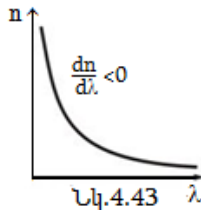
• Նորմալ դիսպերսիա.

$$n \approx a + \frac{b}{\lambda_0^2} + \frac{c}{\lambda_0^4} + \dots, \quad (4.4.10)$$

որտեղ a , b , c ,...-ն հաստատուններ են, որոնց արժեքները յուրաքանչյուր նյութի համար որոշվում է փորձով: Հաճախ բավարարվում են առաջին երկու անդամներով՝ $n \approx a + \frac{b}{\lambda_0^2}$ (Կոչիի բանաձև): Այս դեպքում բեկման ցուցիչը լույսի ալիքի մեծացման դեպքում նվազում է կամ հաճախության աճման դեպքում աճում (Նկ.4.43):

• Անոմալ դիսպերսիա.

Երբ կլանման տիրույթում և նրա մոտակայքի որոշ հատվածում ավելի կարճ ալիքներն ավելի քիչ են բեկվում, այդպիսի դիսպերսիան կոչվում է անոմալ: Այսինքն, բեկման ցուցիչը լույսի ալիքի երկարության մեծացման դեպքում աճում է կամ հաճախության նվազման դեպքում աճում (Նկ.4.44):



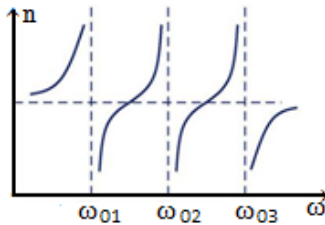
• Միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունը կլանումների բացակայության դեպքում.

$$\varepsilon = 1 + \sum_k \frac{N_k e^2 / (m_e \varepsilon_0)}{\omega_{0k}^2 - \omega^2}, \quad (4.4.11)$$

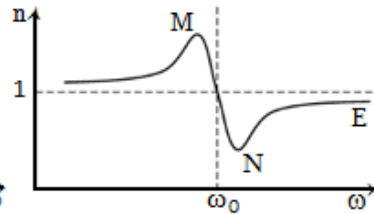
որտեղ N_k -ն այն ատոմների կոնցենտրացիան է, որոնց օպտիկական էլեկտրոններն ունեն ω_{0k} տատանումների սեփական հաճախություն: Քանի որ $n = \sqrt{\varepsilon}$, ուստի $n(\omega)$ կախվածության գրաֆիկն ունի Նկ.4.45-ում բերված տեսքը: Եթե բոլոր ատոմների օպտիկական էլեկտրոնների սեփական հաճախությունները ω_0 են, ապա՝

$$\varepsilon = 1 + \frac{N e^2}{\varepsilon_0 m_e (\omega_0^2 - \omega^2)}: \quad (4.4.12)$$

այս դեպքում, կորուստների առկայության պայմաններում, $n(\omega)$ կախվածության գրաֆիկն ունի Նկ.4.46-ում բերված տեսքը:



Նկ.4.45



Նկ.4.46

• Լուսային ալիքի փուլային արագությունը.

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{c}{n}, \quad (4.4.13)$$

որտեղ k -ն ալիքային թիվն է՝ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, c -ն՝ լույսի արագությունը վակուումում:

• Լուսային ալիքի խմբային արագությունը.

$$u = \frac{d\omega}{dk}: \quad (4.4.14)$$

• Խմբային և փուլային արագությունների կապը (Ռեյլեյի բանաձևը).

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}: \quad (4.4.15)$$

4. Լույսի կլանումը

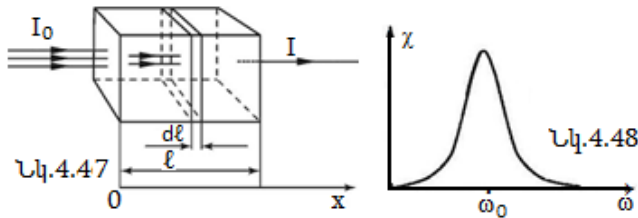
Երբ լույսը (էլեկտրամագնիսական ալիքը) տարածվում է միջավայրով, լույսի էներգիայի մի մասը փոխակերպվում է միջավայրի ներքին էներգիայի, որի հետևանքով լույսի ինտենսիվությունը փոքրանում է: Սրան անվանում են լույսի կլանում:

• **Բուգերի օրենքը.**

$$I = I_0 e^{-\chi l}, \quad (4.4.16)$$

որտեղ I_0 -ն կլանող միջավայրի վրա ընկնող լույսի ինտենսիվությունն է, I -ն՝ լույսի ինտենսիվությունը l հաստության շերտն անցնելուց հետո (Նկ.4.47), իսկ χ -ն՝ կլանման գործակիցը (ցուցիչը):

Կլանման ցուցիչը կախված է ալիքի հաճախությունից և մաքսիմալ արժեք է ընդունում, երբ լույսի հաճախությունը հավասար է լինում նյութի օպտիկական էլեկտրոնների սեփական տատանումների հաճախությանը (Նկ.4.48):



• **Կլանող համասեռ միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելությունը.**

$$\varepsilon = 1 + \frac{\omega_{n\ell q}^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2j\gamma\omega} = \varepsilon' + i\varepsilon'' = n^2, \quad (4.4.17)$$

որտեղ $\omega_{n\ell q}^2 = \frac{Ne^2}{\varepsilon_0 m_e}$, $i = \sqrt{-1}$, n -ը՝ բեկման ցուցիչը, իսկ γ -ն՝ ատոմը բնութագրող հաստատուն:

• **Նոսր միջավայրի բեկման ցուցիչը կլանման տիրույթի մոտակայքում.**

$$n(\omega) \approx 1 + \frac{\omega_{n\ell q}^2}{4\omega_0} \frac{\omega_0 - \omega}{(\omega_0 - \omega)^2 + \gamma^2}. \quad (4.4.18)$$

$\omega = \omega_0 - \gamma$ դեպքում ընդունում է մաքսիմում արժեք՝

$n_{max} = 1 + \frac{\omega_{p\text{էզ}}^2}{8\gamma\omega_0}$, իսկ $\omega = \omega_0 + \gamma$ դեպքում ընդունում է մինիմում

արժեք՝ $n_{min} = 1 - \frac{\omega_{p\text{էզ}}^2}{8\gamma\omega_0}$: $\omega \in [\omega_0 - \gamma; \omega_0 + \gamma]$ միջակայքում $n(\omega)$ -ն նվազող ֆունկցիա է (անոմալ դիսպերսիա): Այդ միջակայքից դուրս $n(\omega)$ -ն աճող ֆունկցիա է (նորմալ դիսպերսիա):

• **Նոսր միջավայրի բեկման ցուցիչը ռենտգենյան ճառագայթների համար ($\omega \gg \omega_0$).**

$$n(\omega) \approx 1 - \frac{\omega_p^2}{4\omega_0} \frac{\omega}{\omega^2 + \gamma^2} < 1: \quad (4.4.19)$$

Այս դեպքում խմբային արագությունը կլինի՝ $u = cn$:

• **Նոսր միջավայրի կլանման ցուցիչը կլանման տիրույթի մոտավայրում.**

$$\chi(\omega) \approx \frac{\omega_p^2}{4\omega_0} \frac{\omega_0 - \omega}{(\omega_0 - \omega)^2 + \gamma^2}: \quad (4.4.20)$$

$\omega = \omega_0$ դեպքում կլանման ցուցիչն ընդունում է մաքսիմալ արժեք՝

$$\chi(\omega)_{max} \approx \frac{\omega_p^2}{4\gamma\omega_0}:$$

(4.4.18), (4.4.19), (4.4.20) բանաձևերն ու դրանցից բխող հետևանքները դասական տեսության արդյունք են և հիմնականում նկարագրում են իրականության որակական պատկերը:

5. Լույսի ցրումը

Լուսային ալիքները դիֆրակցվելով միջավայրի անհամասեռությունների վրա, տալիս են այնպիսի դիֆրակցիոն պատկեր, որը բոլոր ուղղություններով ունի համարյա հավասարաչափ բաշխում: Փոքր անհամասեռությունների վրա այդպիսի դիֆրակցիան կոչվում է լույսի ցրում:

• **Լույսի ցրման օրենքը.**

$$I = I_0 e^{-\chi' l}, \quad (4.4.21)$$

որտեղ I_0 -ն անհամասեռ միջավայրի վրա ընկնող լույսի ինտենսիվությունն է, I -ն՝ լույսի ինտենսիվությունն անհամասեռ միջավայրի l հաստության շերտն անցնելուց հետո, իսկ χ' -ը ցրման

գործակիցը: Ցրման և կլանման համատեղ ազդեցությունը բերում է լույսի ինտենսիվության փոփոխման հետևյալ օրենքին՝

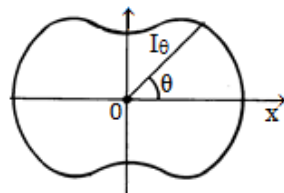
$$I = I_0 e^{-\mu l}, \quad (4.4.22)$$

որտեղ $\mu = \chi + \chi'$:

• **Պոտոր միջավայրում ցրված լույսի ինտենսիվության կախումը դիտման ուղղությունից.**

$$I_\theta = I_{\pi/2}(1 + \cos^2 \theta), \quad (4.4.23)$$

որտեղ θ -ն լույսի առաջնային զուգահեռ փնջի (OX ուղղությունը Նկ.4.49-ում) և դիտման ուղղություններով կազմած անկյունն է, $I_{\pi/2}$ -ը՝ առաջնային փնջի նկատմամբ ուղիղ անկյան տակ ցրված լույսի ինտենսիվությունը: Պոտոր միջավայրում լույսը ցրող մասնիկներն ունեն $0,1\lambda \div 0,2\lambda$ չափեր:



Նկ.4.49

• **Համասեռ և պոտոր միջավայրերում ցրված լույսի ինտենսիվության կախումն ալիքի երկարությունից (Ռելեի օրենքը).**

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4}: \quad (4.4.24)$$

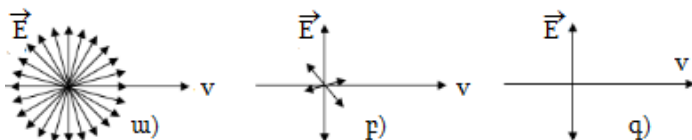
Եթե միջավայրի ցրող մասնիկների չափերը մեծ են լույսի ալիքի երկարությունից, ապա $I \sim \frac{1}{\lambda^2}$:

§5. ԼՈՒՑՄԻ ԲԵՎԵՌԱՑՈՒՄԸ: ՌԵԼՅԱՏԻՎԻՍՏԱԿԱՆ ԵՐԵՎՈՒՑԹՆԵՐ ՕՊՏԻԿԱՅՈՒՄ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Լույսի բևեռացումը

Լույսի սովորական, այդ թվում բնական աղբյուրներից առաքած ճառագայթի տարածմանն ուղղահայաց ուղղությամբ $\vec{E}$ լուսային վեկտորը տատանվում է բոլոր հնարավոր ուղղություններով (Նկ.4.50ա), այդպիսի լույսին անվանում են բնական լույս:



Նկ.4.50

Այն լույսը, որում $\vec{E}$ լուսային վեկտորի տատանումների ուղղությունները որևէ ձևով կարգավորված են, կոչվում է բևեռացված: Նկ.4.50բ-ում բերված լույսն անվանում են մասնակի բևեռացած լույս: Նկ.4.50գ-ում $\vec{E}$ լուսային վեկտորը տատանվում է նույն հարթության մեջ և կոչվում է հարթ կամ գծային բևեռացված լույս:

• **Լույսի բևեռացման աստիճանը.**

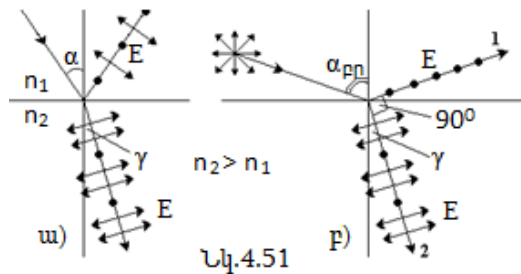
$$P = \frac{I_{\text{սwp}} - I_{\text{սհն}}}{I_{\text{սwp}} + I_{\text{սհն}}}, \quad (4.5.1)$$

որտեղ $I_{\text{սwp}}$ -ը և $I_{\text{սհն}}$ -ը բևեռիչով անցած լույսի ինտենսիվության մաքսիմալ և մինիմալ արժեքներն են: Հարթ-բևեռացված լույսի համար $I_{\text{min}} = 0$ և $P=1$, բնական լույսի համար $I_{\text{max}} = I_{\text{min}}$ և $P=0$, իսկ մասնակի բևեռացած լույսի համար $0 < P < 1$:

• **Լույսի անդրադարձումը և բեկումը երկու դիելեկտրիկների բաժանման սահմանում.**

Երբ երկու դիելեկտրիկների բաժանման սահմանին ընկնում է բնական լույս, ապա անդրադարձած և բեկված ճառագայթները հանդիսանում են մասամբ բևեռացած լույս (Նկ.4.51ա): Եթե բնական լույսի անկման անկյունը բավարարում է $\alpha = \arctg \frac{n_2}{n_1}$ պայմանին, ապա անդրադարձած լույսը դառնում է հարթ բևեռացած, նրանում լուսային վեկտորը տատանվում է անկման հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ: Այդ անկման անկյանն անվանում են Բրյուստերի անկյուն՝ $\tg \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_h$:

Բեկված ճառագայթը մնում է մասամբ բևեռացած, իսկ դրանում E լուսային վեկտորի գերակշռող մասի տատնումները տեղի է ունենում անկման հարթությունում (Նկ.4.51 բ):



• **Ֆրենելի բանաձևերը.**

Եթե բնական լույսի ինտենսիվությունն I_0 է, ապա անդրադարձած լույսում անկման հարթությանն ուղղահայաց և այդ հարթությունում $\vec{E}$ լուսային վեկտորի տատանումներ ունեցող լույսերի ինտենսիվությունները կորոշվեն հետևյալ բանաձևերով՝

$$I_{\perp} = 0,5I_0 \frac{\sin^2(\alpha-\gamma)}{\sin^2(\alpha+\gamma)}; \quad I_{\uparrow\uparrow} = 0,5I_0 \frac{\operatorname{tg}^2(\alpha-\gamma)}{\operatorname{tg}^2(\alpha+\gamma)}; \quad (4.5.2)$$

որտեղ α -ն անկման անկյունն է, իսկ γ -ն՝ բեկման անկյունը: (4.5.2) բանաձևերին անվանում էն Ֆրենելի բանաձևեր: Այդ բանաձևերից հետևում է, որ $\alpha + \gamma = \pi/2$ պայմանի դեպքում անդրադարձած ճառագայթում $I_{\perp} = 0,5I_0 \cos^2 2\alpha$, $I_{\uparrow\uparrow} = 0$: Այդ դեպքում $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1}$, որը Բրյուստերի պայմանն է:

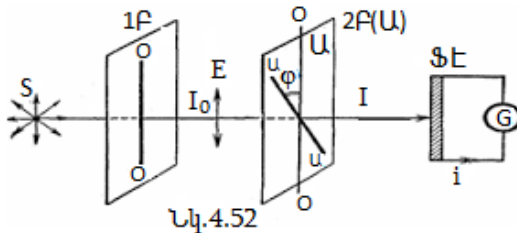
• **Անդրադարձման գործակիցը.**

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2: \quad (4.5.3)$$

• **Մալյուսի օրենքը.**

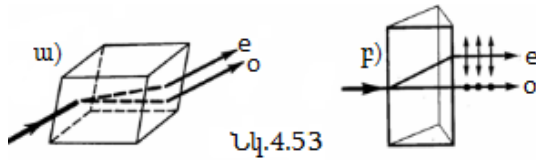
$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (4.5.4)$$

որտեղ I_0 -ն լույսի ինտենսիվությունն է առաջին բևեռիչով անցնելուց հետո, I -ն՝ լույսի ինտենսիվությունն է երկրորդ բևեռիչով (անալիզատորով) անցնելուց հետո, իսկ φ -ն՝ երկու բևեռիչների գլխավոր հարթությունների կազմած անկյունը (Նկ.4.52):



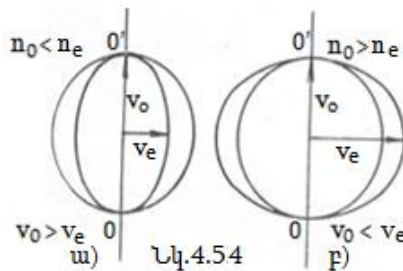
2. Լույսի բևեռացումը երկբեկման ժամանակ

Երբ լույսի ճառագայթն ընկնում է անիզոտրոպ բյուրեղի վրա, ապա այն բաժանվում է երկու ճառագայթների, որոնք ունեն փոխուղղահայաց ուղղությամբ հարթ բևեռացում (Նկ.4.53): Այն ճառագայթը, որի լուսային վեկտորը տատանվում է բյուրեղի գլխավոր հար-

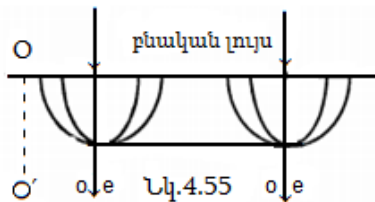


թությունում, կոչվում է անսովոր ճառագայթ (e -ճառագայթ): Այն ճառագայթը, որի լուսային վեկտորը տատանվում է բյուրեղի գլխավոր հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ, կոչվում է սովորական ճառագայթ (o ճառագայթ): Այս ճառագայթների համար բյուրեղի բեկման ցուցիչն ունի տարբեր արժեք:

Դրական միառանգք բյուրեղի համար $n_e > n_o$ (Նկ.4.54ա), բացասական բյուրեղի համար $n_e < n_o$ (Նկ.4.54բ):



OO' օպտիկական առանցքի ուղղությամբ $n_e = n_o$ և դրան ուղղահայաց հարթությամբ կտրվածք ունեցող բյուրեղի վրա, բնական լուսն ընկնելով այդ հարթության նորմալով, չի վերածվում երկու ճառագայթի (Նկ.4.55):



Երկբեկման երևույթն օգտագործվում է բևեռացուցիչներում:

- **Կերրի էլեկտրաօպտիկական երևույթը.**

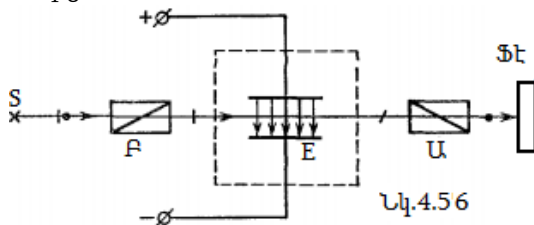
Էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցության տակ շատ հեղուկներ,

իզոտրոպ բյուրեղներ, ամորֆ պինդ մարմիններ ձեռք են բերում երկբեկող հատկություն: Այս երևույթը կոչվում է Կերրի երևույթ:

$$n_e - n_o = kE^2, \quad (4.5.5)$$

որտեղ E -ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է (Նկ.4.56):

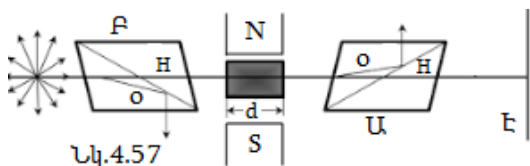
$k = \lambda_0 B$, որտեղ λ_0 - ն լույսի ալիքի երկարությունն է վակուումում, իսկ B -ն Կերրի հաստատունը, որն իր հերթին կախված է λ_0 -ից և ջերմաստիճանից:



• **Կոտոն-Մուտոնի մագնիսաօպտիկական երևույթը.**

Մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ շատ հեղուկներ, իզոտրոպ բյուրեղներ, ամորֆ պինդ մարմիններ ձեռք են բերում երկբեկող հատկություն: Այս երևույթը կոչվում է Կոտոն-Մուտոնի երևույթ.

$$n_e - n_o = C \lambda_0 B^2, \quad (4.5.6)$$

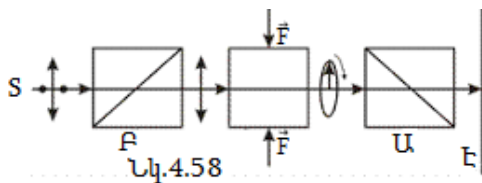


որտեղ B -ն մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է (Նկ.4.57), C հաստատունը կոչվում է Կոտոն-Մուտոնի հաստատուն, որը կախված է λ_0 -ից ($C \sim 1/\lambda_0$) և ջերմաստիճանից:

• **Ֆոտոառաձգական երևույթ.**

Շատ իզոտրոպ բյուրեղներ սեղմման կամ ձգման մեխանիկական լարման ազդեցության հետևանքով ձեռք են բերում երկբեկող հատկություն (Նկ.4.58).

$$n_e - n_o = k\sigma, \quad (4.5.7)$$



Նկ.4.58

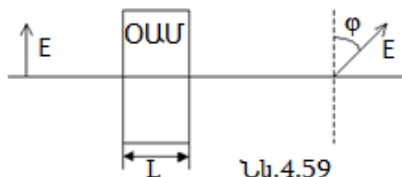
որտեղ σ -ն մեխանիկական լարումն է, k -ն՝ բյուրեղի հատկություններին կախված հաստատուն:

• **Բևեռացման հարթության պտտումը (Ֆարադեյի էֆեկտ).**

Օպտիկապես ակտիվ միջավայրով հարթ բևեռացված լույսի անցման դեպքում տեղի է ունենում բևեռացման հարթության պտտում (Նկ.4.59):

$$\varphi = aL, \quad (4.5.8)$$

որտեղ a -պտտման հաստատունը կախված է նյութի տեսակից և լույսի ալիքի երկարությունից, L -ը՝ նյութի ներսում լույսի անցած ճանապարհն է: Լուծույթների դեպքում $\varphi = a'LC$, որտեղ C -ն ակտիվ նյութի կոնցենտրացիան է, a' -ը՝ պտտման տեսակարար հաստատունը:



Նկ.4.59

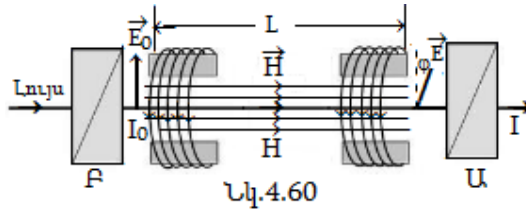
• **Բևեռացման հարթության մագնիսական պտտումը.**

Օպտիկապես ոչ ակտիվ միջավայրը լույսի բևեռացման հարթությունը պտտելու հատկություն է ձեռք բերում մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ (Նկ.4.60).

$$\varphi = VLH, \quad (4.5.9)$$

որտեղ V -ն կոչվում է Վերդեի հաստատուն, իսկ H -ը՝ արտաքին, տվյալ դեպքում սղեկնդի, մագնիսական դաշտի լարվածությունը: Քանի որ վերջավոր երկարության սղեկնդի ներսում դաշտ անհամասեռ է, ուստի LH -ը պետք է փոխարինել $\int_0^L H dl$ -ով, որը տվյալ դեպքում հավասար է $LH(\sqrt{1 + R^2/L^2} - R/L)$, որտեղ R -ը սղեկնդի շառավիղն է: Որպեսզի բևեռացման հարթությունը պտտվի, պետք է

լույսը տարածվի մագնիսական դաշտի ուղղությամբ:



Նկ.4.60-ում I_0 -ն լույսի ինտենսիվությունն է բևեռացուցից հետո, իսկ I -ն՝ ինտենսիվությունն է անալիզատորից հետո, ընդ որում

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

որտեղ φ -ն բևեռացման հարթության պտտման անկյունն է:

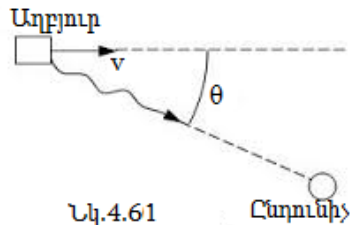
3. Շարժվող աղբյուրների օպտիկան

• Դոպլերի երևույթը.

Եթե $\vec{v} = \text{const}$ արագությամբ շարժվող լույսի աղբյուրն իր հետ կապված հաշվարկման համակարգում ճառագայթում է ν_0 հաճախության լույս, ապա անշարժ ընդունող սարքի գրանցած ν հաճախությունը կորոշվի հետևյալ արտահայտությամբ

$$\nu = \nu_0 \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (4.5.10)$$

որտեղ θ -ն դիտման ուղղության և $\vec{v}$ արագության կազմած անկյունն է (Նկ.4.61):



• Դոպլերի երկայնական երևույթ ($\theta = 0^\circ$).

$$\nu = \nu_0 \frac{1 - \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}: \quad (4.5.11)$$

Եթե ընդունիչն աղբյուրից հեռանում է՝ $v > 0$, ապա $\nu < \nu_0$: Եթե ընդունիչն աղբյուրին մոտենում է՝ $v < 0$, ապա $\nu > \nu_0$:

v/c մեծության առաջին կարգի մոտավորությամբ

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right): \quad (4.5.12)$$

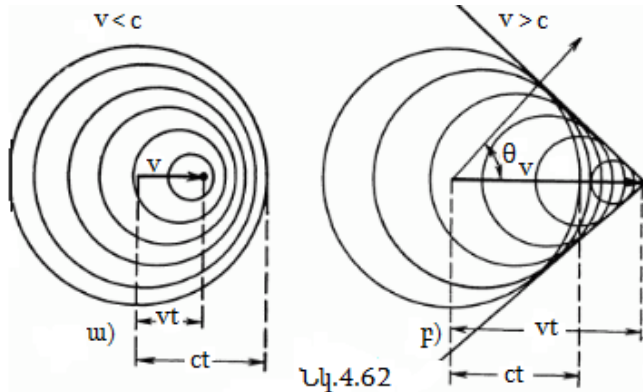
• Դոպլերի լայնական երևույթ($\theta=90^\circ$).

$$\nu = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (4.5.13)$$

v/c մեծության առաջին կարգի մոտավորությամբ $\nu = \nu_0$: Այսինքն, այդ մոտավորությամբ Դոպլերի լայնական երևույթը բացակայում է:

4. Վավիլով-Չերենկովի ճառագայթում

Երբ լիցքավորված մասնիկը համասեռ միջավայրում կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում այնպիսի արագությամբ, որը գերազանցում է այդ միջավայրում լույսի փուլային արագությանը $v \geq c/n$, ապա խիստ որոշակի ուղղությամբ ճառագայթում է լույս (Նկ.4.62):



Այս ճառագայթումը կոչվում է Վավիլով-Չերենկովի ճառագայթում, իսկ ճառագայթման ուղղությունը որոշվում է հետևյալ պայմանից՝

$$\cos \theta = \frac{c}{vn}, \quad (4.5.14)$$

որտեղ θ - ն ճառագայթման ուղղության և մասնիկի արագության վեկտորի կազմած անկյունն է, իսկ n -ը՝ միջավայրի բեկման ցուցիչը: Նկ.4.62-ում բերված են կետային աղբյուրի ալիքի ձևակառուցումը, երբ նրանց արագությունը մի դեպքում փոքր է լույսի փուլային արագությանը, մյուս դեպքում՝ մեծ:

§6. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՈՒՄ: ԼՈՒՑՄԻ ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ԲՆՈՒՑԹԸ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ջերմային ճառագայթում

Այն էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը, որը պայմանավորված է մարմնի ներքին էներգիայի նվազման հաշվին, կոչվում է ջերմային կամ ջերմաստիճանային ճառագայթում:

• Էներգետիկ լուսատվություն.

Ճառագայթող մարմնի միավոր մակերևույթից բոլոր ուղղություններով (2π մարմնային անկյան սահմաններում) արձակվող էներգիայի հոսքը կոչվում է S_E էներգետիկ լուսատվություն՝

$$S_E = \frac{\Phi_E}{s} : \quad (4.6.1)$$

Էներգետիկ լուսատվությունը կախված է ջերմաստիճանից և չափվում է $1\text{Ջ}/(\text{մ}^2\cdot\text{վ})$ միավորներով:

• Արեգակնային հաստատուն.

Արեգակի ստեղծած լուսավորվածությունը Երկրի մթնոլորտի վրա, կոչվում է արեգակնային հաստատուն՝

$$C = E = \frac{4\pi R_U^2}{4\pi r^2} S_E = 1,4 \text{ կՎտ}/\text{մ}^2, \quad (4.6.2)$$

որտեղ $R_U = 6,9 \cdot 10^8 \text{մ}$ Արեգակի շառավիղն է, $r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{մ}$ Արեգակից Երկիրն եղած միջին հեռավորությունն է, իսկ S_E -ն՝ Արեգակի էներգետիկ լուսատվությունը:

• Մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը.

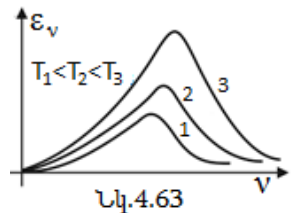
Մարմնի միավոր մակերևույթից հաճախությունների $d\omega$ միջակայքում ճառագայթած dS_ω էներգիայի հոսքի հարաբերությունը $d\omega$ -ին, կոչվում է մարմնի ճառագայթման ընդունակություն՝

$$\varepsilon_\omega = \frac{dS_\omega}{d\omega} : \quad (4.6.3)$$

Մարմնի ճառագայթման ընդունակությունը սահմանում են նաև լույսի ալիքի երկարության $d\lambda$ միջակայքով՝

$$\varepsilon_\lambda = \frac{dS_\lambda}{d\lambda} : \quad (4.6.4)$$

Ընդ որում $dS_\omega = dS_\lambda$: Ջերմային ճառագայթման ընդունակությունը կախված է հաճախությունից (ալիքի երկարությունից) և ջեր-



մաստիճանից (Նկ.4.63):

- ε_ω և ε_λ ճառագայթման ընդունակությունների կապը.

$$\varepsilon_\omega = \frac{\lambda}{\omega} \varepsilon_\lambda = \frac{2\pi c}{\omega^2} \varepsilon_\lambda = \frac{\lambda^2}{2\pi c} \varepsilon_\lambda, \quad (4.6.5)$$

կամ

$$\varepsilon_\nu = \frac{\lambda^2}{c} \varepsilon_\lambda: \quad (4.6.6)$$

- Էներգետիկ լուսատվության և ճառագայթման ընդունակության կապը.

$$S_\varepsilon(T) = \int_0^\infty \varepsilon_\omega d\omega = \int_0^\infty \varepsilon_\lambda d\lambda: \quad (4.6.7)$$

- Ճառագայթման սպեկտրալ խտությունը.

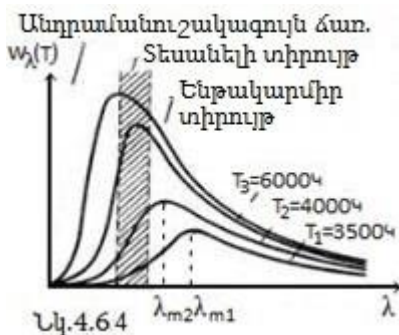
Եթե հաճախությունների $d\omega$ միջակայքում էներգիայի ծավալային խտությունը հավասար է $d\omega$ -ի, ապա $\frac{dw}{d\omega}$ հարաբերությունը կոչվում է ճառագայթման սպեկտրալ խտություն՝

$$w_\omega = \frac{dw}{d\omega}: \quad (4.6.8)$$

Ճառագայթման սպեկտրալ խտությունը սահմանում են նաև ալիքի երկարության $d\lambda$ միջակայքով՝

$$w_\lambda = \frac{dw}{d\lambda}: \quad (4.6.9)$$

Ջերմային ճառագայթման սպեկտրալ խտությունը կախված է հաճախությունից (ալիքի երկարությունից) և ջերմաստիճանից (Նկ.4.64): Այս նկարում $T_3 = 6000^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանով գրաֆիկը հանդիսանում է Արեգակի ճառագայթման սպեկտրալ խտությունը, որի մաքսիմումն ընկած է կանաչ գույնի լույսի ալիքի երկարության վրա:



- Կապը w_ω -ի և w_λ -ի միջև.

$$w_\omega = \frac{\lambda^2}{2\pi c} w_\lambda, \quad \text{կամ} \quad w_\nu = \frac{\lambda^2}{c} w_\lambda: \quad (4.6.10)$$

- Էներգիայի ծավալային և սպեկտրալ խտությունների կապը.

$$w = \int_0^\infty w_\omega d\omega = \int_0^\infty w_\lambda d\lambda: \quad (4.6.11)$$

- Մարմնի ճառագայթման ընդունակության և ճառագայթման սպեկտրալ խտության կապը.

$$\varepsilon_\omega = \frac{c}{4} w_\omega, \quad \text{կամ} \quad \varepsilon_\lambda = \frac{c}{4} w_\lambda: \quad (4.6.12)$$

- Ջերմային ճառագայթման էներգետիկ լուսատվության և w էներգիայի ծավալային խտության կապը.

$$S_E = \frac{c}{4} w, \quad (4.6.13)$$

որտեղ c -ն լույսի արագությունն է:

- Մարմնի կլանման ընդունակությունը.

Եթե հաճախությունների $d\omega$ միջակայքում մարմնի մակերևույթի տարրական մակերեսի վրա ընկնող $d\Phi_\omega$ ճառագայթման էներգիայի հոսքի $d\Phi'_\omega$ մասը կլանվել է, ապա $d\Phi'_\omega/d\Phi_\omega$ հարաբերությունը կոչվում է մարմնի կլանման ընդունակություն՝

$$\alpha_\omega = \frac{d\Phi'_\omega}{d\Phi_\omega}: \quad (4.6.14)$$

Մարմնի α_ω կլանման ընդունակությունը կախված է հաճախությունից (ալիքի երկարությունից) և ջերմաստիճանից:

- Այն մարմինը, որն իր վրա ընկնող բոլոր հաճախությունների ճառագայթումներն ամբողջությամբ կլանում է, կոչվում է բացարձակ սև մարմին: Բացարձակ սև մարմնի համար $\alpha_\omega = 1$: Այն մարմինը, որի կլանման ընդունակությունը կախված չէ հաճախությունից, կոչվում է գորշ մարմին: Գորշ մարմնի համար $\alpha_\omega = \text{const} < 1$:

- Կիրխոֆի օրենքը.

Մարմնի ճառագայթման և կլանման ընդունակությունների հարաբերությունը կախված չէ մարմնի բնույթից, այն բոլոր մարմինների համար հաճախության (ալիքի երկարության) և ջերմաստիճանի նույն ֆունկցիան է՝

$$\frac{\varepsilon_\omega}{\alpha_\omega} = f(\omega, T): \quad (4.6.15)$$

Քանի որ բացարձակ սև մարմնի կլանման ընդունակությունը հավասար է մեկի՝ $\alpha_\omega = 1$, հետևաբար Կիրխոֆի $f(\omega, T)$ համընդհանուր

ֆունկցիան հանդիսանում է բացարձակ սև մարմնի ε_ω ճառագայթման ընդունակությունը:

• **Վիինի բանաձևը.**

$$w_\omega = \omega^3 F\left(\frac{\omega}{T}\right), \quad (4.6.16)$$

որտեղ $F\left(\frac{\omega}{T}\right) = Ae^{-a\omega/T}$, $a = \frac{h}{k} = 7,64 \cdot 10^{-12} \text{վ} \cdot \text{Կ}$,

$A = \frac{h}{\pi^2 c^3} = 3,96 \cdot 10^{-61} \text{Ջ} \cdot \text{վ}^4/\text{մ}^3$, իսկ $h = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{Ջ} \cdot \text{վ}$ -ը Պլանկի հաստատունն է: (4.6.16) բանաձևը ճիշտ է $\nu \gg kT/h$ հաճախությունների համար (տեսանելի տիրույթից ձախ գտնվող տիրույթը Նկ.4.64-ում):

• **Ռեյլեյ-Ջինսի բանաձևը.**

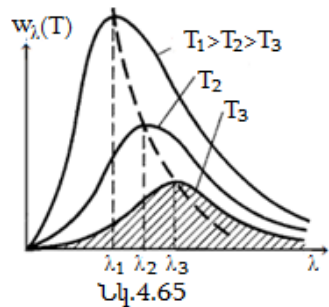
$$w_\omega = \frac{\omega^2 kT}{\pi^2 c^3}: \quad (4.6.17)$$

(4.6.17) բանաձևը ճիշտ է $\nu \ll kT/h$ հաճախությունների համար (տեսանելի տիրույթից աջ գտնվող տիրույթը Նկ.4.64-ում):

• **Վիինի շեղման օրենքը.**

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \quad (4.6.18)$$

որտեղ λ_{max} -ն ալիքի երկարությունն է, որի դեպքում w_λ ֆունկցիան ունի մաքսիմում (Նկ.4.65), որտեղ գրաֆիկների զագաթներն ընկած են $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ հիպերբոլի ճյուղի վրա, իսկ $b = \frac{ch}{4,965} = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{մ} \cdot \text{Կ}$:



• **Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը.**

$$S_\sigma = \sigma T^4, \quad (4.6.19)$$

որտեղ $\sigma = \frac{\pi^2 k^4}{60 h^3 c^2} = 5,6687 \cdot 10^{-8} \text{Վտ}/(\text{մ}^2 \cdot \text{Կ}^4)$ Ստեֆան-Բոլցմանի հաստատունն է: (4.6.19) բանաձևը ճիշտ է բացարձակ սև մարմնի համար:

• **Պլանկի բանաձևը.**

$$w_\omega = \frac{h\omega^3}{\pi^2 c^3} \frac{1}{e^{h\omega/kT} - 1}: \quad (4.6.2)$$

• **Սև մարմնի ճառագայթման ճնշումը.**

$$p = \frac{4\sigma}{3c} T^4. \quad (4.6.21)$$

- Սն մարնի ճառագայթման ճնշման և ծավալի կապը.

$$pV = \frac{1}{3} W, \quad (4.6.22)$$

որտեղ $W = \frac{4}{c} S_F V$ - ն սն ճառագայթման էներգիան է V ծավալում:

- Սն մարմնի ճառագայթման ազատ էներգիան.

$$F = -\frac{4\sigma}{3c} T^4 V: \quad (4.6.23)$$

- Սն մարմնի ճառագայթման լրիվ էներգիան.

$$W = \frac{4\sigma}{c} T^4 V: \quad (4.6.24)$$

- Սն մարմնի ճառագայթման էնտրոպիան.

$$S = \frac{16\sigma}{3c} T^3 V: \quad (4.6.25)$$

2. Ճառագայթման այլ եղանակներ

- Ֆոտոլյումինեսցենցիա.

Ճառագայթման այն պրոցեսները, որոնք առաջանում են մարմինների անընդհատ կամ նախապես կատարվող լուսավորման միջոցով, կոչվում են ֆոտոլյումինեսցենցիա:

- Էլեկտրոլյումինեսցենցիա.

Գազերի ճառագայթումը, որն առաջանում է դրանցով էլեկտրական հոսանք անցնելիս, կոչվում է էլեկտրոլյումինեսցենցիա.

- Կատոդալյումինեսցենցիա.

Պինդ մարմինների՝ էլեկտրոնների ուժեղացումով առաջացած լուսարձակումը կոչվում է կատոդալյումինեսցենցիա:

3. Լույսի քվանտային բնույթը

- Ֆոտոնի էներգիան, զանգվածը և իմպուլսը.

$$E = h\nu; \quad m = \frac{E}{c^2}; \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}: \quad (4.6.26)$$

- Լույսի հոսքի մակերևութային խտությունը.

$$I = Nh\nu, \quad (4.6.27)$$

որտեղ N - ը միավոր ժամանակում, միավոր մակերեսի վրա ընկնող ֆոտոնների թիվն է: Փաստորեն, լույսի հոսքի մակերևութային խտությունը հանդիսանում է մակերևութի լուսավորվածությունը:

• **Նորմալով ընկնող լույսի ճնշումը.**

$$p = \frac{I}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho), \quad (4.6.28)$$

որտեղ I -ն լույսի հոսքի մակերևութային խտությունն է, ρ - ն՝ անդրադարձման գործակիցը, իսկ w -ն՝ լույսի էներգիայի ծավալային խտությունը:

4. Լուսաէֆեկտի օրենքները

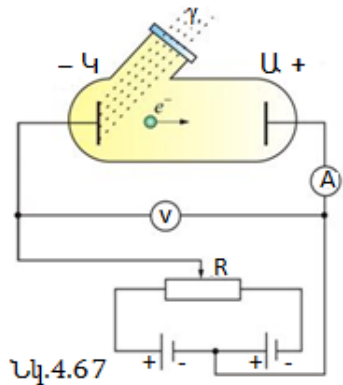
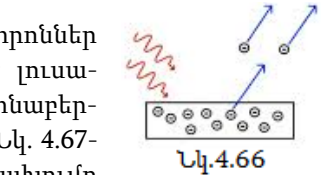
Լույսի ազդեցությամբ նյութից էլեկտրոններ պոկելու երևույթը (Նկ.4.66) կոչվում է լուսաէֆեկտ: Լուսաէֆեկտի օրենքների հայտնաբերման սարքավորման սխեման բերված է Նկ. 4.67-ում: Այդ շղթայում հոսանքի ուժի կախումը լարումից ունի Նկ.4.68-ում բերված տեսքը, որտեղ հոսանքի ուժի հազեցման արժեքը որոշվում է

$$I_h = eN_e, \quad (4.6.34)$$

քանաձևով, որտեղ e -ն տարրական լիցքն է, իսկ N_e -ն՝ 1վրկ-ում կատոդից պոկված էլեկտրոնների քանակը:

ա) Լուսաէֆեկտի առաջին օրենքը.

1վ-ում նյութից պոկված ֆոտոէլեկտրոնների քանակն ուղիղ համեմատական է ընկնող լույսի հոսքին՝ $N_e \sim \Phi$: Սա համարժեք է նրան, որ փորձում $I_h \sim \Phi$ (Նկ.4.68):



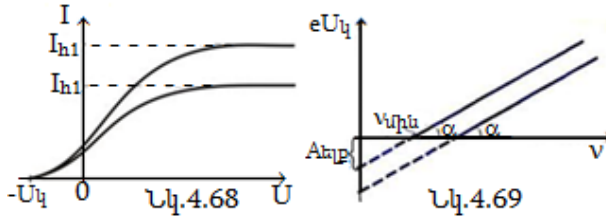
բ) Լուսաէֆեկտի երկրորդ օրենքը.

Լուսաէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան կախված չէ ընկնող լույսի հոսքից, իսկ հաճախության մեծացման հետ այն աճում է գծային օրենքով: Սա համարժեք է նրան, որ փորձում eU_g -ը գծային օրենքով է կախված հաճախությունից (Նկ.4.68):

գ) Լուսաէֆեկտի երրորդ օրենքը.

Յուրաքանչյուր նյութի համար գոյություն ունի հաճախության

որոշակի ν_{min} արժեք, որից փոքր հաճախությունների դեպքում լուսաէֆեկտ չի դիտվում (Նկ.4.69): $\nu_{մին}$ հաճախությունը կոչվում է լուսաէֆեկտի կարմիր սահման:



- Այնչտայնի հավասարումը լուսաէֆեկտի համար.

$$h\nu = A + \frac{mv_{մաք}^2}{2}, \quad (4.6.31)$$

որտեղ A -ն էլեկտրոնի էլքի աշխատանքն է:

- Լուսաէֆեկտի կարմիր սահմանը:

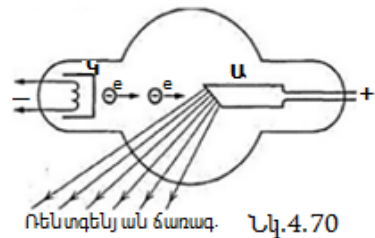
$$\nu_{մին} = A/h \quad \text{կամ} \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A}: \quad (4.6.32)$$

- Լուսաէլեկտրոնների արգելակող (կասեցնող) լարումը.

$$eU_կ = \frac{mv_{մաք}^2}{2}: \quad (4.6.33)$$

5. Ռենտգենյան ճառագայթներ:

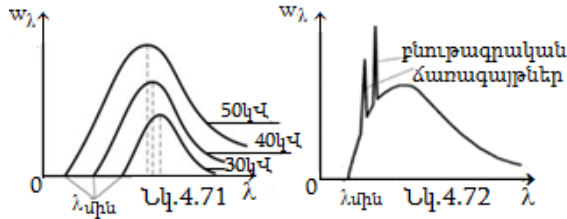
Շատ մեծ արագացումով օժտված էլեկտրոնները ճառագայթում են այնպիսի էլեկտրամագնիսական ալիք, որի ալիքի երկարությունն ընկած է անդրմանուշակագույն և գամմա ճառագայթների միջև՝ $\lambda \sim 10^{-12} \div 10^{-7}$ մ (Նկ. 4.70): Դրանց անվանում են ռենտգենյան ճառագայթներ:



- Էլեկտրոնների արգելակումով պայմանավորված ռենտգենյան ճառագայթման սպեկտրն անընդհատ է (Նկ.4.71): Այն սկիզբ է առնում λ_{min} արժեքից (կարճ ալիքի սահման), որը որոշվում է հետևյալ պայմանից՝

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{միս}}} = eU, \quad (4.6.35)$$

որտեղ U - ն ռենտգենյան խողովակի նկատմամբ կիրառված լարումն է (Նկ.4.70): Ավելի բարձր լարումների դեպքում սպեկտրում հանդես են գալիս բնութագրական գծեր (Նկ.4.72), որոնք առաջանում են, երբ ատոմի ներսում էլեկտրոնները մի ներքին էլեկտրոնային ուղեծրից անցնում են մյուսին:

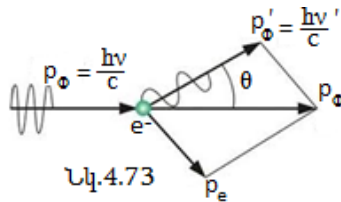


6.Քոմփթոնի երևույթը:

Ռենտգենյան ճառագայթների ալիքի երկարության փոփոխությունը քոմփթոնյան ցրման ժամանակ (Նկ.4.73)՝

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{գ}}(1 - \cos\theta), \quad (4.6.36)$$

որտեղ $\lambda_{\text{գ}} = \frac{h}{m_e c} = 2,43 \cdot 10^{-12}\text{մ}$, կոչվում է էլեկտրոնի քոմփթոնյան ալիքի երկարություն, θ -ն՝ ցրման անկյունն է, իսկ m_e -ն՝ էլեկտրոնի զանգվածը:



§7. Լազերային ճառագայթում: Լազերների գործողության սկզբունքը

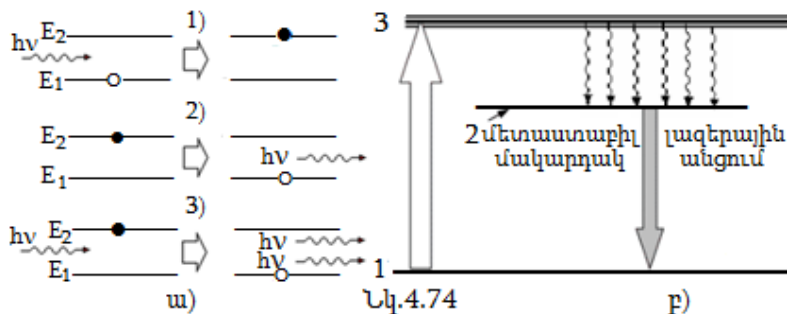
Լազեր բառը անգլերեն հապավում է <<light amplification by stimulated emission of radiation>>, որը նշանակում է ստիպողական ճառագայթման միջոցով լույսի ուժեղացում:

Լազերը մեներանգ կոհերենտ լույսի աղբյուր է, որի լուսային ճառագայթն օժտված է բարձր ուղղորդվածությամբ: Լազերների անվանում են նաև օպտիկական քվանտային գեներատորներ: Մանտիմետրական տիրույթի քվանտային գեներատորներին անվանում

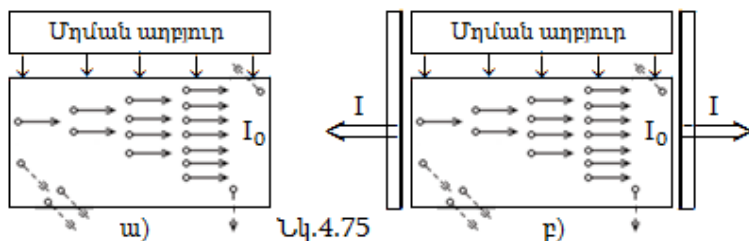
են մազեր:

Լազերի գործողության հիմքում ընկած է ատոմների ստիպողական ճառագայթումը:

Նկ.4.74ա-ում պատկերված է երկմակարդականի ատոմի կողմից $h\nu = E_2 - E_1$ էներգիայով ֆոտոն կլանելու պրոցեսը, որի արդյունքում



ատոմը E_1 էներգիայով հիմնական վիճակից անցնում է E_2 էներգիայով գրգռված վիճակի, իսկ նույն նկարի 2)-ում գրգռված վիճակում գտնվող ատոմն ինքնակամ կերպով անցնում է հիմնական վիճակին ճառագայթելով $h\nu$ էներգիայով ֆոտոն, իսկ 3)-ում՝ գրգռված վիճակում գտնվող ատոմը $h\nu = E_2 - E_1$ էներգիայով ֆոտոնի ազդեցության տակ ստիպողական անցում կատարելով ճառագայթում է նույնպիսի ֆոտոն: Դրա արդյունքում ստացվում է նույն հաճախության երկու ֆոտոն, որոնք ունեն նույն փուլը, բևեռացումը և տարածման ուղղությունը: Եթե մասնիկների n կոնցենտրացիա ունեցող միջավայրում E_2 գրգռված մակարդակի n_2 մասնիկների կոնցենտրացիան (բնակեցվածությունը) մեծ է E_1 հիմնական վիճակի n_1 կոնցենտրացիայից՝ $n_2 > n_1$ ($n_2 + n_1 = n$), ապա այդ միջավայրն անընդհատ կմեծացնի նմանատիպ ֆոտոնների քանակը (Նկ.4.75ա): Նման միջավայրին



անվանում են ակտիվ միջավայր:

Գործնականում մասնիկների երկմակարդականի համակարգը հնարավոր չէ ակտիվացնել, ուստի վերցնում են երեք և ավելի մակարդականի համակարգ, որտեղ մակարդակներից մեկը մետաստաբիլ է (2 մակարդակը Նկ.4.74բ-ում): Միջավայրի մասնիկներին գրգռելով մի մասին մղում են 3 մակարդակը, որտեղ այդ մասնիկների կյանքի տևողությունը կարճ է, այդ վիճակից ռելաքսացիոն անցումով դրանք անցնում են 2 մակարդակին և իրականացվում է $n_2 > n_1$ պայմանը: Ճառագայթման հզորության հետագա ուժեղացումը կատարվում է օպտիկական ռեզոնատորի օգնությամբ: Պարզագույն օպտիկական ռեզոնատորն իրենից ներկայացնում է իրար գուգահեռ տեղադրված r անդրադարձման և t թողանցման գործակցով երկու հարթ հայելիների համակարգը (Նկ.4.75բ):

Այսպիսով, լազերը կազմված է երեք հիմնական մասերից՝ օպտիկական ռեզոնատորից, որի ներսում գտնվում են ակտիվ միջավայրը և մղման աղբյուրը: Եթե ռեզոնատորի երկարությունը L է, ապա աշխատանքի ստացիոնար ռեժիմում ճառագայթման ալիքային թիվը, ալիքի երկարությունը և հաճախությունը կլինեն՝

$$k_q = \frac{\pi}{L} q, \quad \lambda_q = \frac{2\pi}{k_q} = \frac{2L}{q}, \quad \omega_q = k_q \frac{c}{n} = \frac{\pi c}{Ln} q, \quad q = 1, 2, 3, \dots \quad (4.6.37)$$

• **Լազերային ճառագայթման ինտենսիվությունը.**

$$I = I_0 \frac{\{1 + \exp[\alpha(\omega)L]\}t}{\{1 - \exp[\alpha(\omega)L]\}^2 + 4 \exp[\alpha(\omega)L] \sin^2(\omega Ln/c)},$$

որտեղ I_0 -ն ճառագայթման ինտենսիվությունն է ռեզոնատորի բացակայության դեպքում, $\alpha(\omega)$ -ն ակտիվ միջավայրի ուժեղացման գործակիցը: (4.6.37) պայմանի դեպքում $\sin^2(\omega Ln/c) = 0$ և ճառագայթման ինտենսիվությունն ընդունում է առավելագույն արժեք՝

$$I_{\text{max}} = I_0 \frac{\{1 + \exp[\alpha(\omega)L]\}t}{\{1 - \exp[\alpha(\omega)L]\}^2}. \quad (4.6.38)$$

Եթե ուժեղացումն ակտիվ միջավայրում կոմպենսանում է հայելիներից անդրադարձումներով, ապա $1 - \exp[\alpha(\omega)L] = 0$ և $I_{\text{max}} = \infty$: Այս արդյունքը պայմանավորված է նրանով, որ բերված բանաձևերում հաշվի չի առնված ակտիվ միջավայրում տեղի ունեցող կորրուստները, որոնք սահմանափակում են I_{max} -ի սահմանային արժեքը:

ԳԼՈՒԽ 5. ԱՏՈՄԻ ՖԻԶԻԿԱ

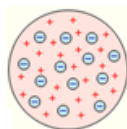
§1. ԱՏՈՄԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԸ: ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԱԼԻՔԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ատոմի մոդելները

• Ատոմի Թոմսոնի մոդելը (Նկ.5.1).

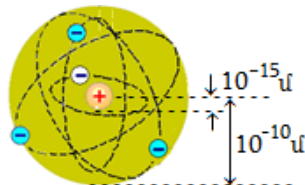
1897թ. անգլիացի ֆիզիկոս Ջ. Թոմսոնը էլեկտրոնը հայտնաբերելուց հետո, 1898թ. տվեց ատոմի առաջին մոդելը, որը շատ քիչ փոփոխություններով ուժի մեջ մնաց մինչև 1911թ: Ըստ այդ մոդելի, ատոմը հանդիսանում է Ze դրական լիցքով հավասարապես լիցքավորված, $\sim 10^{-10}$ մ շառավղով գնդիկ, որի ներսում կա հավասարակշռության վիճակում գտնվող Z հատ էլեկտրոն (Նկ.5.1):



Նկ.5.1

• Ատոմի Ռեզերֆորդի մոդելը (Նկ.5.2)

Է. Ռեզերֆորդը ուսումնասիրելով α - մասնիկների ցրումը ոսկու ատոմների վրա 1911թ. առաջարկեց ատոմի նոր մոդել, որն առ այսօր համարվում է ճիշտ մոդել: Ըստ այս մոդելի, ատոմը կազմված է Ze դրական լիցք ունեցող միջուկից, որն ունի $\sim 10^{-15}$ մ չափեր, իսկ դրա շուրջը $\sim 10^{-10}$ մ շառավիղ ունեցող փակ ուղեծրերով պտտվում են Z հատ էլեկտրոն:



Նկ.5.2

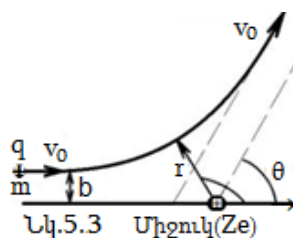
2. Լիցքավորված մասնիկների ցրումը ծանր ատոմների վրա

• Մասնիկների ցրման անկյունն անշարժ միջուկների կուլոնյան դաշտում (Նկ.5.3-ում θ անկյունը).

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = k \frac{q_1 q_2}{b T}, \quad (5.1.1)$$

որտեղ q_1 և q_2 -ը մասնիկի և միջուկի լիցքերն են, b -ն՝ նշանակետային հեռավորությունը (պարամետրը), T -ն՝ թռչող մասնիկի կինետիկ էներգիան, իսկ (5.1.1)-ում և բերված մյուս բանաձևերում

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ (միավորների ՄՀ-ում): $k = 1$ (գաուսյան համակարգում):



Նկ.5.3 Միջուկ(Ze)

- α -մասնիկների ցրման անկյունը.

$$tg \frac{\theta}{2} = k \frac{Ze^2}{bT\alpha}, \quad (5.1.2)$$

որտեղ $Ze = q_2$ -ը միջուկի լիցքն է, իսկ $2e = q_1$ -ը՝ α -մասնիկինը:

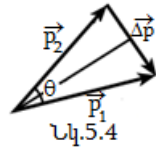
- α - մասնիկի մինիմալ հեռավորությունը միջուկի կենտրոնից.

$$r_{min} = 2btg(\theta/2): \quad (5.1.3)$$

- Թռչող մասնիկի իմպուլսի փոփոխության մոդուլը.

$$\Delta p = 2psin(\theta/2), \quad (5.1.4)$$

որտեղ p -ն թռչող մասնիկի իմպուլսն է: Քանի որ $|\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| = p$ (Նկ. 5.4), ուստի իպուլսի փոփոխությունը պայմանավորված է մասնիկի շարժման ուղղության փոփոխությամբ:



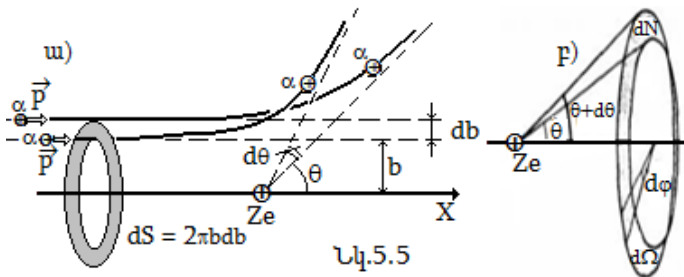
- Ցրման դիֆերենցիալ էֆեկտիվ կտրվածք.

$$d\sigma = \frac{dN}{I}, \quad (5.1.5)$$

որտեղ dN -ը միավոր ժամանակամիջոցում $d\Omega = sin\theta d\theta d\phi$ կամ $d\Omega = 2\pi sin\theta d\theta$ մարմնային անկյան ներսում տարածվող ցրված α -մասնիկների թիվն է (Նկ. 5.5բ), իսկ I -ն՝ α -մասնիկների հարթ զուգահեռ փնջի ինտենսիվությունը՝ մասնիկների փնջին ուղղահայաց միավոր մակերեսով, միավոր ժամանակում անցնող α մասնիկների թիվը՝ $I = \frac{dn}{ds \cdot t}$ (Նկ. 5.5ա): Էֆեկտիվ կտրվածքի արտահամակարգային միավորը 1բարն է՝ $1բ = 10^{-24}$ սմ²:

- Ռեզերֆորդի բանաձևը.

$$a) \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(k \frac{q_1 q_2}{4T} \right)^2 \frac{1}{sin^4(\theta/2)}, \quad (5.1.6)$$



կամ

$$p) \frac{dN}{N} = n_0 \left(k \frac{q_1 q_2}{4T} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4(\theta/2)}, \quad (5.1.7)$$

որտեղ $\frac{dN}{N}$ -ը $d\Omega$ մարմնային անկյան ներսում տարածվող մասնիկների հարաբերական թիվն է, իսկ n_0 -ն՝ ցրող հարթ թիթեղի միավոր մակերեսում միջուկների թիվը:

• **Էլեկտրոնների ցրումը կետային անշարժ միջուկների վրա (Մոտտի բանաձևը).**

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(k \frac{ze^2}{2T_e} \right)^2 \frac{\cos^2(\theta/2)}{\sin^4(\theta/2)}, \quad (5.1.8)$$

որտեղ $\cos^2(\theta/2)$ արտադրիչը պայմանավորված է էլեկտրոնների սպինով: Սակայն փորձնական արդյունքները տարբերվում են (5.1.8)-ից $|F|^2$ գործակիցով՝

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{փորձ}} = \left(k \frac{ze^2}{2T_e} \right)^2 \frac{\cos^2(\theta/2)}{\sin^4(\theta/2)} |F|^2:$$

F -ին անվանում են միջուկի ֆորմֆակտոր:

3. Բորի կանխադրույթները: Ատոմների սպեկտրների օրինաչափությունները

Ռեզերֆորդի առաջարկած մոդելը, ըստ դասական ֆիզիկայի օրենքների, չէր բացատրում ատոմի կայունությունը և նրանց կողմից ճառագայթած զծային սպեկտրների առկայությունը: Ն. Բորը առաջ քաշելով երկու կանխադրույթ, տվեց դրանց բացատրությունը:

• **Առաջին կանխադրույթը՝ կանխադրույթ ստացիոնար վիճակների մասին.**

Ատոմը կարող է գտնվել միայն հատուկ, ստացիոնար կամ քվանտային վիճակներում, որոնց համապատասխանում է որոշակի $E_1, E_2, E_3, \dots$ դիսկրետ արժեքներով էներգիա: Ստացիոնար վիճակում ատոմը չի ճառագայթում և չի կլանում:

• **Երկրորդ կանխադրույթը՝ կանխադրույթ հաճախությունների մասին.**

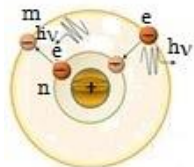
Ատոմը մի ստացիոնար վիճակից մյուսը թռիչքաձև անցնելիս կլանում կամ ճառագայթում է էներգիայի մեկ քվանտ, որը հավասար է

է այդ ստացիոնար վիճակների էներգիաների տարբերությանը:

Եթե ատոմը E_m էներգիայով վիճակից անցնում է ավելի փոքր E_n էներգիայով վիճակ (էլեկտրոնը մի ուղեծրից անցնում է ուրիշ ուղեծիր, Նկ.5.6), ապա այն ճառագայթում է մեկ ֆոտոն, որի էներգիան որոշվում է այդ վիճակների էներգիաների տարբերությամբ՝

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n: \quad (5.1.9)$$

Նման առնչություն տեղի ունի նաև կլանման դեպքում, երբ ատոմի վրա ընկնող ֆոտոնը ցածր էներգիայով վիճակից նրան տեղափոխում է բարձր էներգիայով վիճակ, իսկ ինքը վերանում է:



Նկ.5.6

• **Բորի քվանտացման կանոնը.**

Էլեկտրոնը միջուկի շուրջը պտտվում է այնպիսի ուղեծրերով, որոնցում նրա իմպուլսի մոմենտը բազմապատիկ է Պլանկի $\hbar$ հաստատունին.

$$L = m_e v_n r_n = n\hbar, \quad (5.1.10)$$

որտեղ $n = 1, 2, 3, \dots$ կոչվում է գլխավոր քվանտային թիվ, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$:

• **Էլեկտրոնային ուղեծրերի շառավիղը.**

$$r_n = \frac{\hbar^2}{k m_e Z e^2} n^2, \quad (5.1.11)$$

որտեղ $n = 1, 2, 3, \dots$:

• **Ատոմի էներգիաների թույլատրելի արժեքները.**

$$E_n = -\frac{k^2 m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}, \quad (5.1.12)$$

որտեղ $n = 1, 2, 3, \dots$:

• **Ջրածնանման ատոմների ճառագայթած էներգիայի քվանտը, երբ այն m վիճակից անցնում է n վիճակի.**

$$\hbar\omega = -k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right): \quad (5.1.13)$$

• **Բալմերի ընդհանրացված բանաձևը.**

$$\omega = k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^3} Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right): \quad (5.1.14)$$

• **Ռիդբերգի հաստատունը.**

$$R = k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^3} = 2,07 \cdot 10^{16} \text{վ}^{-1}: \quad (5.1.15)$$

• **Լայմանի սերիան** ($Z = 1, n = 1$, սպեկտրի անդրամանուշակագույն տիրույթ, Նկ.5.7).

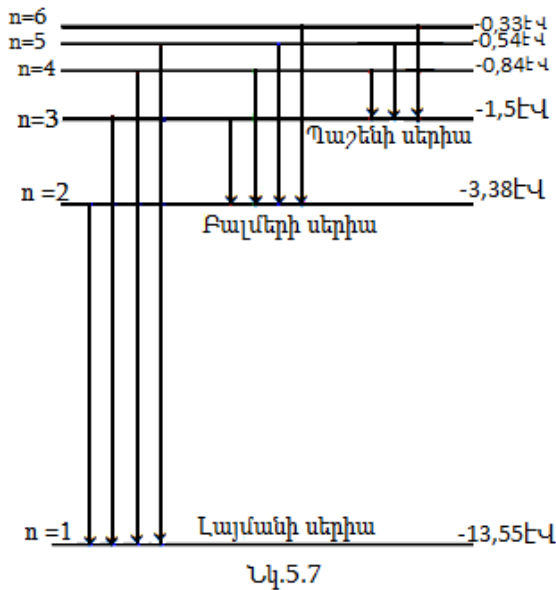
$$\omega = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (5.1.16)$$

որտեղ $m = 2, 3, 4, \dots$:

• **Բալմերի սերիան** ($Z = 1, n = 2$, սպեկտրի տեսանելի տիրույթ, Նկ.5.7).

$$\omega = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (5.1.17)$$

որտեղ $m = 3, 4, 5, \dots$:



• **Պաշենի սերիան** ($Z = 1, n = 3$, սպեկտրի ենթակարմիր տիրույթ, Նկ.5.7).

$$\omega = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (5.1.18)$$

որտեղ $m = 4, 5, 6, \dots$:

• **Բրեկետի սերիան** ($Z = 1, n = 4$, սպեկտրի ենթակարմիր տիրույթ).

$$\omega = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (5.1.19)$$

որտեղ $m = 5, 6, 7, \dots$:

- Պֆունդի սերիան ($Z=1$, $n=5$, սպեկտրի ենթակարմիր տիրույթ).

$$\omega = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (5.1.20)$$

որտեղ $m = 6, 7, 8, \dots$:

4. Մասնիկների ալիքային հատկությունները

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս Լ. դե Բրոյլը 1924թ. յուրաքանչյուր մասնիկի վերագրեց ալիքային հատկություն: Այս հիպոթեզն առաջին անգամ (1927թ.) իրենց փորձերով հիմնավորեցին Դեվիսոնն ու Ջերմերը:

- p -իմպուլսով մասնիկի դեբրոյյան ալիքի երկարությունը.

$$\lambda_{\eta p} = 2\pi\hbar/p: \quad (5.1.21)$$

- Ատոմի բոռովյան n -րդ ուղեծիրն ընդգրկում է n հատ դե Բրոյլի ալիքի երկարություն (Նկ.5.8):

- Վուլֆ-Բրեզի բանաձևը դե Բրոյլի ալիքների համար

$$2d\sqrt{n_F^2 - \cos^2\theta} = \pm k\lambda_{\eta p}, \quad (5.1.22)$$

որտեղ n_F բեկման ցուցիչն է դե Բրոյլի ալիքի համար, θ -ն՝ սահքի անկյունը (Նկ.4.39), $\lambda_{\eta p}$ -ն՝ դե Բրոյլի ալիքի երկարությունը բյուրեղից դուրս տիրություն, d -ն՝ բյուրեղի երկու հարևան հարթությունների հեռավորությունը:

- Հայգենբերգի անորոշությունների առնչությունները.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar; \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar, \quad (5.1.23)$$

որտեղ Δx -ը կոորդինատի անորոշությունն է, Δp_x -ը՝ x առանցքի վրա մասնիկի իմպուլսի պրոյեկցիայի անորոշությունը, ΔE -ն՝ տվյալ քվանտային վիճակի էներգիայի անորոշությունը, Δt -ն՝ այդ վիճակում մասնիկի գտնվելու ժամանակը:

- Շրյոդինգերի ժամանակային հավասարումը.

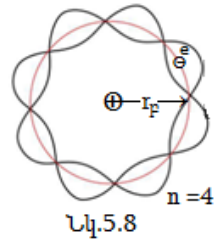
$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U\Psi, \quad (5.1.24)$$

որտեղ Ψ - մասնիկի լրիվ ալիքային ֆունկցիան է, ∇^2 - ն՝ Լապլասի օպերատորը, U - ն՝ մասնիկի պոտենցիալ էներգիան:

- Շրյոդինգերի ստացիոնար հավասարումը.

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0, \quad (5.1.25)$$

որտեղ ψ -ն մասնիկի Ψ լրիվ ալիքային ֆունկցիայի կոորդինատային մասն է, իսկ E - ն՝ մասնիկի լրիվ ներգիան:



$$\Psi = e^{-\frac{iEt}{\hbar}} \psi(x, y, z):$$

• Ազատ մասնիկի միաչափ շարժումը նկարագրող ալիքային ֆունկցիան.

$$\Psi(x, t) = Ae^{-\frac{i}{\hbar}(Et - p_x x)}, \quad (5.1.26)$$

որտեղ A -ն մասնիկի դե Բրոյլի ալիքի լայնություն է, p_x -ը՝ մասնիկի իմպուլսը, $E = \frac{p_x^2}{2m}$ -ն՝ մասնիկի կինետիկ էներգիան:

• Դե Բրոյլի ալիքի փուլային արագությունը.

Դե Բրոյլի ալիքի $Et - p_x x$ փուլի հաստատուն լինելու պայմանից կունենանք այդ ալիքի փուլային արագությունը՝ $Et - p_x x = const$, որտեղից $v_{\text{փ}} = \frac{dx}{dt} = \frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v} > c$: Այսինքն, դե Բրոյլի ալիքի փուլային արագությունը մեծ է վակուումում լույսի արագությունից:

• Դե Բրոյլի ալիքի խմբային արագությունը.

$$u = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d\hbar\omega}{d\hbar k} = \frac{dE}{dp} = v, \quad (5.1.27)$$

որտեղ v -ն մասնիկի արագությունն է: (5.1.27) արդյունքը ճիշտ է ինչպես ոչ ռելյատիվիստական ($E = \frac{p^2}{2m}$), այնպես էլ ռելյատիվիստական ($E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$) մասնիկի համար: Դա նշանակում է, որ դե Բրոյլի ալիքները տեղափոխվում են մասնիկի հետ:

• Կոորդինատից կախված q ֆիզիկական մեծության միջին արժեքը.

$$\langle q \rangle = \int q |\psi|^2 dV, \quad (5.1.28)$$

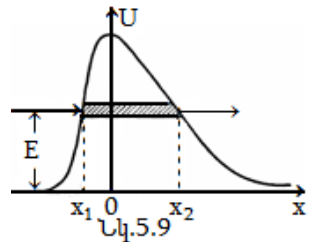
որտեղ ψ -ն նորմավորված ալիքային ֆունկցիան է՝ $\int |\psi|^2 dV = 1$, dV -ն՝ ծավալի տարրը:

• Պոտենցիալային արգելքի թափանցման գործակիցը.

$$D \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m(U - E)} dx \right], \quad (5.1.28)$$

որտեղ x_1 -ը և x_2 -ը մասնիկի կոորդինատներն են, որոնց միջև $U > E$ (Նկ. 5.9):

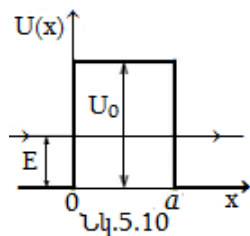
• Ուղղանկյուն պոտենցիալային արգելքի (փոսի) թափանցման գործակիցը:



$$D \approx \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)} \cdot a \right], \quad (5.1.29)$$

որտեղ U_0 -ն արգելքի բարձրությունն է, իսկ a -ն՝ արգելքի լայնությունը (Նկ.5.10):

5. Էլեկտրոնի վիճակը ջրածնաման ատոմում



• **Շրջողինգերի ստացիոնար հավասարումը.**

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(E + k \frac{Ze^2}{r} \right) \psi = 0: \quad (5.1.30)$$

(5.1.30) հավասարման սեփական ֆունկցիաները պարունակում են ամբողջ արժեքներ ընդունող երեք պարամետր՝ n -գլխավոր քվանտային թիվը ($n = 1, 2, 3, \dots$, որոշում է վիճակի էներգիան), l -ազիմուտային (ուղեծրային) քվանտային թիվը ($l = 0, 1, 2, \dots, n-1$, որոշում է էլեկտրոնի իմպուլսի մոմենտը ատոմում), $m_l = -l, -l+1, -l+2, \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, l-1$, l և որոշում է էլեկտրոնի իմպուլսի մոմենտի պրոյեկցիան տրված ուղղության վրա: m_l -ը կոչվում է մագնիսական քվանտային թիվ:

• **Ջրածնի ատոմում հիմնական վիճակում գտնվող էլեկտրոնի նորմավորված ալիքային ֆունկցիան.**

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a}, \quad (5.1.31)$$

որտեղ $a = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2} = r_1$ մեծությունը առաջին բորովյան շառավիղն է:

• **Էներգիաների թույլատրելի արժեքները.**

$$E_n = -k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}: \quad (5.1.32)$$

որտեղ n -ը գլխավոր քվանտային թիվն է: Ատոմի յուրաքանչյուր էներգետիկ վիճակ ունի այլասեռման n^2 աստիճան (եթե հաշվի չի առնվում էլեկտրոնի սպինը) և $2n^2$ աստիճան, եթե այն հաշվի է առնվում:

• **Էլեկտրոնի ուղեծրային իմպուլսի մոմենտը.**

$$M = \hbar \sqrt{l(l+1)}: \quad (5.1.33)$$

• **Իմպուլսի մոմենտի պրոյեկցիան տվյալ ուղղության վրա.**

$$M_z = m_l \hbar: \quad (5.1.34)$$

• **Էլեկտրոնի սպինը.**

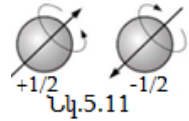
$$M_s = \hbar \sqrt{s(s+1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar, \quad (5.1.35)$$

որտեղ s -ը սպինային քվանտային թիվն է: Էլեկտրոնի, պրոտոնի, նեյտրոնի համար $s = \frac{1}{2}$:

• **Սպինի պրոյեկցիան տրված ուղղության վրա (Նկ.5.11).**

$$M_{sz} = m_s \hbar, \quad (5.1.36)$$

որտեղ $m_s = \pm s = \pm \frac{1}{2}$, հետևաբար $M_{sz} = \pm \frac{\hbar}{2}$: Շատ օրենքներ և բանաձևեր պարունակում են ոչ թե իմպուլսի մոմենտը, այլ մոմենտի պրոյեկցիան տվյալ ուղղության վրա և այդ պատճառով էլեկտրոնի, պրոտոնի, նեյտրոնի սպինը համարում են հավասար $\hbar/2$ -ի, կամ բաց թողնելով Պլանկի հաստատունը՝ $1/2$:



• **Էլեկտրոնի լրիվ մոմենտը.**

$$M_j = \hbar \sqrt{j(j+1)}, \quad (5.1.37)$$

որտեղ $j = l + s, l - s$:

6. Ատոմի և էլեկտրոնի մագնիսական հատկությունները

• **Էլեկտրոնի ուղեծրային մագնիսական մոմենտը.**

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m_e} \vec{l}, \quad (5.1.38)$$

$$\mu_l = -\frac{e}{2m_e} \hbar \sqrt{l(l+1)} = -\mu_B \sqrt{l(l+1)}, \quad (5.1.39)$$

կամ որտեղ $\mu_B = \frac{e}{2m_e} \hbar = 0,9274 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Տլ և կոչվում է Բորի մագնետոն:

Միավորների գաուսյան համակարգում

$$\mu_B = \frac{e}{2m_e c} \hbar = 0,9274 \cdot 10^{-20} \text{ էրգ/Գս:}$$

• **Էլեկտրոնի սեփական մագնիսական մոմենտը.**

$$\mu_s = -\frac{e}{m_e} \hbar \sqrt{s(s+1)} = -2\mu_B \sqrt{s(s+1)} = -2\mu_B \sqrt{3}: \quad (5.1.40)$$

• **Էլեկտրոնի սեփական մագնիսական մոմենտի պրոյեկցիան.**

$$\mu_{sz} = -\frac{e}{m_e} M_{sz} = -\frac{e \hbar m_s}{m_e} = \mp \mu_B: \quad (5.1.41)$$

Քանի որ շատ օրենքներում և բանաձևերում պարունակվում են

մագնիսական մոմենտի պրոյեկցիաները, ուստի ընդունված է համարել, որ էլեկտրոնի սեփական մագնիսական մոմենտը հավասար է Բորի մեկ մագնետոնի:

- **Ուղեծրային մագնիսահոլակային հաստատուն.**

$$g_l = \frac{\mu_l}{M_l} \quad (5.1.42)$$

Էլեկտրոնի համար $g_l = -1$, պրոտոնի համար $g_l = +1$, էլեկտրականապես չեզոք մասնիկների համար $g_l = 0$:

- **Սպինային մագնիսահոլակային հաստատուն.**

$$g_s = \frac{\mu_{sz}}{M_{sz}} \quad (5.1.43)$$

Էլեկտրոնի համար $g_s = -2$, պրոտոնի համար $g_s = +2$, պրոտոնի համար $g_s^p = 5,586$, նեյտրոնի համար $g_s^n = -3,826$:

§2. ԱՏՈՄՆԵՐԻ ԵՎ ՍՈԼԵՎՈՒԼՆԵՐԻ ՄՊԵԿՏՐԱԴԻՏԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

1. Ատոմների սպեկտրադիտական հատկությունները

- **Ատոմների սպեկտրալ թերմերը (ըստ ω հաճախության).**

Ատոմի սպեկտրալ գծերի ամբողջ բազմազանությունը կարելի է ստանալ ավելի քիչ թվով մեծությունների գույգերի կոմբինացիայով, այդ մեծությանն անվանում են թերմ՝ $T(n)$.

$$T(n) = -\frac{E_n}{h}, \quad (5.2.1)$$

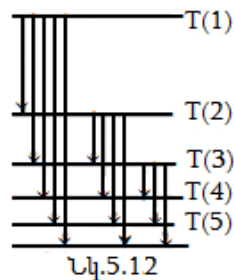
որտեղ E_n -ն ատոմի էներգիաների թույլատրելի արժեքներն են: Այս դեպքում յուրաքանչյուր սպեկտրալ գծի հաճախությունը կորոշվի երկու թերմերի տարբերությամբ (Նկ.5.12)՝ $\omega = T(n_1) - T(n_2)$:

- **Ջրածնի ատոմի թերմերը.**

$$T(n) = \frac{R}{n^2}, \quad (5.2.2)$$

որտեղ R -ը Ռիդբերգի հաստատունն է, իսկ n -ը՝ գլխավոր քվանտային թիվը: Ատոմների մեծամասնության թերմերի անալիտիկ տեսքերն անհայտ են: Սակայն ալկալիական ատոմներն (որոշ ուղղումներով) ունեն թերմեր:

- **Ալկալիական ատոմների էներգիաների**



Նկ.5.12

մակարդակները.

$$E_n = -k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{Z_\alpha^2}{(n+\alpha)^2}, \quad (5.2.3)$$

որտեղ $Z_\alpha e$ -ն ատոմի հենքի էֆեկտիվ լիցքն է: Լիցքաչեզոք ատոմի համար՝ $Z_\alpha = Z - 1$, իոնացված ($q_i = e$) ատոմի համար՝ $Z_\alpha = Z - 2$, կրկնակի իոնացվածի ($q_i = 2e$) համար՝ $Z_\alpha = Z - 3$, և այլն: α -ն ռիդ-բերգյան ուղղումն է, որը կախված է ուղեծրային l քվանտային թվից:

• **Ջոկման կանոններ լույսի կլանման և առաքման համար.**

$$\Delta l = \pm 1: \quad (5.2.4)$$

• **Ալկալիական ատոմների թերմերը.**

$$T(n) = \frac{R}{(n+\alpha)^2}, \quad (5.2.5)$$

Ալկալիական ատոմների սպեկտրալ թերմերը բնութագրվում են n գլխավոր և l ուղեծրային քվանտային թվերով:

• **Ալկալիական ատոմների թերմերի նշանակումները.**

$$\begin{aligned} S\text{-թերմ. } nS &= \frac{R}{(n+\alpha_s)^2}; & P\text{-թերմ. } nP &= \frac{R}{(n+\alpha_p)^2}; \\ D\text{-թերմ. } nD &= \frac{R}{(n+\alpha_d)^2}; & F\text{-թերմ. } nF &= \frac{R}{(n+\alpha_f)^2}; \end{aligned} \quad (5.2.6)$$

և այլն: n գլխավոր քվանտային թվից հետո գրված է l -ի արժեքին համապատասխանող նշանակումը՝ $l = \begin{matrix} 0, & 1, & 2 \\ S & P & D \end{matrix}$:

• **Ալկալիական ատոմների սպեկտրալ սերիաները (Նկ.5.13).**

ա) Գլխավոր սերիա՝

$$\omega = 3S - nP = \frac{R}{(3+\alpha_s)^2} - \frac{R}{(n+\alpha_p)^2}, \quad (5.2.7)$$

որտեղ $n = 3, 4, 5, \dots$, ջոկման կանոնն է $\Delta l = +1$;

բ) Դիֆուզ սերիա՝

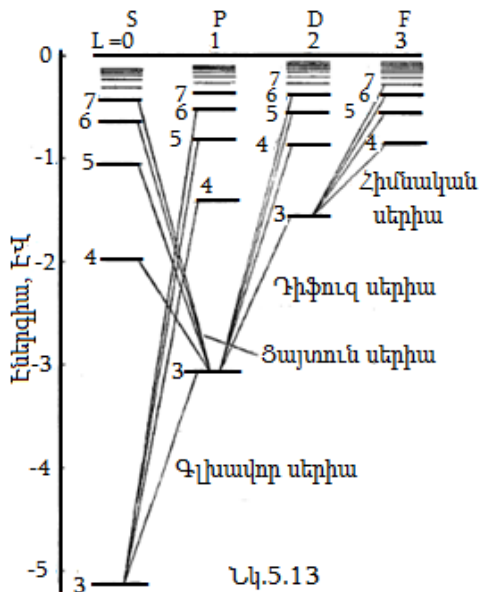
$$\omega = 3P - nD = \frac{R}{(3+\alpha_p)^2} - \frac{R}{(n+\alpha_d)^2}, \quad (5.2.8)$$

որտեղ $n = 3, 4, 5, \dots$, ջոկման կանոնն է $\Delta l = -1$;

գ) Ցայտուռ սերիա՝

$$\omega = 3P - nS = \frac{R}{(3+\alpha_p)^2} - \frac{R}{(n+\alpha_s)^2}, \quad (5.2.9)$$

որտեղ $n = 4, 5, 6, \dots$, ջոկման կանոնն է $\Delta l = +1$;



դ) Բերգմանի կամ հիմնական սերիա՝

$$\omega = 3D - nF = \frac{R}{(3+\alpha_d)^2} - \frac{R}{(n+\alpha_f)^2}, \quad (5.2.10)$$

որտեղ $n = 4, 5, 6, \dots$, ջոկման կանոնն է $\Delta l = -1$:

2. Ատոմի էլեկտրոնների կապի տեսակները:

ա) Նորմալ կամ Ռասել-Մաունդերսի կապ:

- Ատոմի գումարային ուղեծրային մոմենտը.

$$\vec{L} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \dots, \quad (5.2.11)$$

որտեղ $\vec{l}_i$ -ն էլեկտրոնի ուղեծրային մոմենտն է:

- Ատոմի գումարային սպինային մոմենտը.

$$\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \vec{s}_3 + \dots, \quad (5.2.12)$$

որտեղ $\vec{s}_i$ - ն էլեկտրոնի սպինային մոմենտն է:

- Ատոմի լրիվ իմպուլսի մոմենտը.

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}: \quad (5.2.13)$$

$\vec{L}$, $\vec{S}$ և $\vec{J}$ մոմենտներին համապատասխանում են L , S և J քվանտային թվերը՝ $\vec{L}^2 = \hbar^2 L(L+1)$, $\vec{S}^2 = \hbar^2 S(S+1)$, $\vec{J}^2 = \hbar^2 J(J+1)$: S -ը և J -ն հանդիսանում են ամբողջ թվեր, եթե ատոմը պարունակում է զույգ թվով էլեկտրոն, իսկ կենտ թվով էլեկտրոն պարունակելու դեպքում՝ դրանք ընդունում են կիսամբողջ արժեքներ: L քվանտային թիվը միշտ ընդունում է ամբողջ արժեքներ: Նորմալ կապը հիմնականում իրականանում է թեթև և միջին զանգված ունեցող ատոմների համար: Այս կապին անվանում են նաև $\ll L - S \gg$ կապ:

բ) $\ll j - j \gg$ կապ:

Այս կապի դեպքում ատոմի իմպուլսի լրիվ մոմենտը հավասար է բոլոր էլեկտրոնների լրիվ մոմենտների գումարին.

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^Z \vec{j}_i, \quad \vec{j}_i = \vec{l}_i + \vec{s}_i: \quad (5.2.16)$$

Այս կապը իրականանում է ծանր ատոմներում, այն էլ ոչ մաքուր տեսքով:

• **Ատոմի մագնիսական մոմենտը.**

$$\mu_U = g \sqrt{J(J+1)} \mu_B, \quad (5.2.14)$$

$$\text{որտեղ} \quad g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (5.2.15)$$

և կոչվում է Լանդեյի արտադրիչ:

• **Ատոմների վիճակի սպեկտրոսկոպական նշանակումները.**

$$L = \begin{matrix} 0, 1, 2, 3, 4, 5 \\ S, P, D, F, G, H \end{matrix}$$

Ատոմի թերմի պայմանական նշանակումը՝ $^{2S+1}L_J$: Աջից ներքևում գրվում է J քվանտային թիվը, իսկ ձախից վերևում $2S+1$ ենթավիճակների թիվը: Թերմի ենթամակարդակների թիվը հավասար է $2S+1$, եթե $S < L$ և $2L+1$, եթե $S > L$:

• **Լույսի առաքման և կլանման ջոկման կանոնը.**

$$\Delta J = 0, \pm 1: \quad (5.2.17)$$

• **Ատոմի էլեկտրոնային թաղանթը.**

Տրված n գլխավոր քվանտային թվով օժտված ատոմի էլեկտրոնների համախումբը կազմում է ատոմի էլեկտրոնային թաղանթը: Ատոմի էլեկտրոնային թաղանթի սպեկտրադիտական նշանակումը.

$$n = \begin{matrix} 1, & 2, & 3, & 4, & 5 \\ K, & L, & M, & N, & O \end{matrix}$$

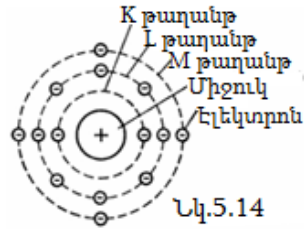
Թաղանթ K, L, M, N, O:

Էլեկտրոնների առավելագույն թիվը

Էլեկտրոնային թաղանթում.

$$2n^2 \quad 2, 8, 18, 32, 50$$

(Նկ.5.14-ը սիլիցիումի ատոմն է):



• Ատոմի էլեկտրոնային շերտը.

Նույն n գլխավոր և m_l ($m_l = -l, -l + 1, \dots, -1, 0, +1, \dots, l - 1, l$) մագնիսական քվանտային թվերով օժտված ատոմի էլեկտրոնների համախումբը կազմում է ատոմի էլեկտրոնային շերտը: Ատոմների էլեկտրոնային շերտերի սպեկտրադիտական նշանակումները.

$$l = \begin{matrix} 0, 1, 2, 3, 4, \dots \\ s, p, d, f, g, \dots \end{matrix}$$

Շերտը

$$s, \quad p, \quad d, \quad f, \quad g, \dots:$$

Էլեկտրոնների առավելագույն թիվը Էլեկտրոնային շերտում.

$$2(2l + 1) \quad 2, \quad 6, \quad 10, \quad 14, \quad 18$$

Էլեկտրոնային թաղանթում Էլեկտրոնային ենթաթաղանթների թիվը հավասար է թաղանթի n գլխավոր քվանտային թվին:

Էլեկտրոնի վիճակը գրվում է հետևյալ կերպ՝ $n^{2s+1}l_j$, օրինակ՝ $3^2d_{3/2}$ վիճակը նշանակում է $n = 3, l = 2, s = 1/2, j = l - \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$:

Էլեկտրոնային թաղանթում Էլեկտրոնների փոխդասավորվածությունը ձևավորվում է Հունդի եմպիրիկ կանոնների հիման վրա: Համաձայն այդ կանոնների, ամենափոքր էներգիայով օժտված է այն վիճակը, որում S-ը կարող է ընդունել առավելագույն արժեք, իսկ այդ S-ի արժեքին համապատասխան L-ը ևս ընդունում է իր առավելագույն արժեքը: $J = |L - S|$, եթե ենթաթաղանթը լրացված է կեսից ոչ ավել, իսկ մնացած դեպքերում $J = L + S$:

Էլեկտրոնային շերտի էլեկտրոնային կոնֆիգուրացիան ձևավորվելիս պետք է պահպանվի նաև Պաուլի սկզբունքը.

Ցանկացած քվանտային վիճակում կարող է գտնվել միայն մեկ էլեկտրոն:

Չգրգռված ատոմի յուրաքանչյուր հաջորդ էլեկտրոն պետք է զբաղեցնի ամենաներքին ազատ մակարդակը:

Էլեկտրոնները, ինչպես նաև կիսաամբողջ սպինով օժտված բոլոր մասնիկները (պրոտոն, նեյտրոն և այլն), նկարագրվում են հակահամաչափ ալիքային ֆունկցիայով: Հակահամաչափ ալիքային ֆունկցիաներով նկարագրվող մասնիկները չեն կարող գտնվել միևնույն քվանտային վիճակում:

3. Ռենտգենյան սպեկտրներ

Ռենտգենյան ճառագայթման սպեկտրն անընդհատ է, որը պարունակում է նաև բնութագրական գծեր (տես Նկ.4.72): Բնութագրական գծերն առաջանում են, երբ ատոմի էլեկտրոնները մեկ ներքին էլեկտրոնային թաղանթից անցնում են մյուսին (Նկ.5.15):

• Ռենտգենյան մակարդակների էներգիան.

$$E_n = \hbar R(Z - \sigma)^2 \frac{1}{n^2}, \quad (5.2.18)$$

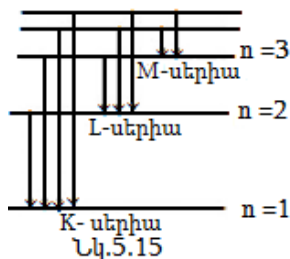
որտեղ R -ն Ռիդբերգի հաստատունն է, σ -ն՝ էկրանավորման գործակիցը, թեթև ատոմների համար $\sigma = 1$:

• Ռենտգենյան քվանտների էներգիան.

$$\hbar\omega = \hbar R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right): \quad (5.2.19)$$

(5.2.19) բանաձևում K և L - թերմների համար

(Նկ.5.15) էկրանավորման գործակիցը վերցվում է նույնը:



• Սոզլիի օրենքը.

Ռենտգենյան ճառագայթման հաճախության քառակուսի արմատը գծայնորեն է կախված ատոմի Z կարգաթվից.

$$\sqrt{\omega} = a(Z - \sigma), \quad (5.2.20)$$

որտեղ a -ն հաստատուն է:

• Սոզլիի օրենքը K_α գծի համար ($n_1 = 1, n_2 = 2$).

$$\omega = \frac{3}{4} R(Z - \sigma)^2: \quad (5.2.21)$$

K_α գծի համար $\sigma \approx 1$:

• Սոզլիի օրենքը L_α գծի համար ($n_1 = 2, n_2 = 3$).

$$\omega = \frac{5R}{16}(Z - \sigma)^2: \quad (5.2.22)$$

L_α գծի համար $\sigma \approx 5,5$:

4. Սպեկտրալ գծերի ճեղքումը

• Սպեկտրների նուրբ կառուցվածքը.

Ջրածնանման ատոմի էներգիան, որում հաշվի է առնված էլեկտրոնի սպինը և նրա զանգվածի կախումը արագությունից (նուրբ կառուցվածք).

$$E = -\frac{(Ze^2)^2 m_e}{2\hbar^2 n^2} \left[1 + \frac{\alpha^2 Z^2}{n} \left(\frac{1}{j+\frac{1}{2}} - \frac{3}{4n} \right) \right], \quad (5.2.23)$$

որտեղ $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$ - նուրբ կառուցվածքի հաստատունն է: (5.2.23) բանաձևը գրված է միավորների գաուսյան համակարգում և բաց են թողնված ըստ α -ի բարձր կարգի անդամները:

5. Ջեեմանի երևույթը.

Եթե լույս ճառագայթող ատոմը տեղադրվի մագնիսական դաշտում, ապա առաքված սպեկտրալ գծերը տրոհվում են մի քանի բաղադրիչների:

• Մագնիսական դաշտում գտնվող ջրածնի ատոմի ստացած լրացուցիչ էներգիան.

$$\Delta E = \mu_B B m_l, \quad (5.2.24)$$

որտեղ B -ն մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է, m_l -ը՝ մագնիսական քվանտային թիվը:

• Մագնիսական դաշտում գտնվող կամայական ատոմի ստացած լրացուցիչ էներգիան.

$$\Delta E = \mu_B g B m_j, \quad (5.2.25)$$

որտեղ g -ն Լանդեյի արտադրիչն է, m_j -ն՝ գումարային մագնիսական քվանտային թիվը:

• Լույս առաքելու և կլանելու ջոկման կանոնը.

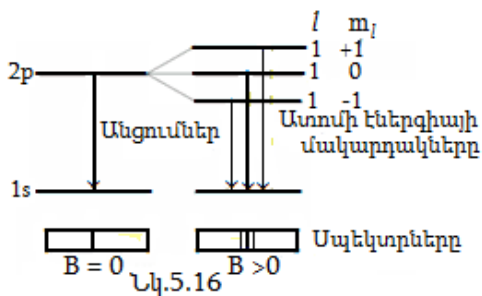
$$\Delta m_j = 0; \pm 1: \quad (5.2.26)$$

• Ջեեմանի նորմալ (սլարգ) երևույթը (Նկ.5.16).

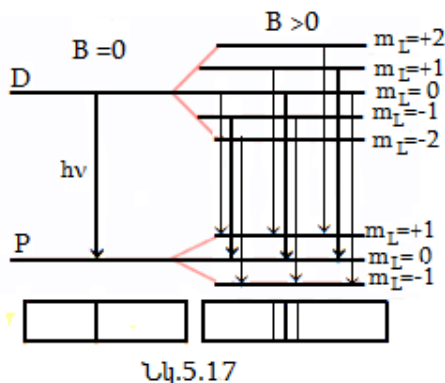
Ջրածնի ատոմի սպեկտրալ գծերը, որոնք չունեն նուրբ կառուցվածք, մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ, դաշտի ուղղությամբ դիտելիս, ճեղքվում են երեք գծի, իսկ դաշտին ուղղահայաց

ուղղությամբ դիտելիս՝ երկու գծի: Դրանց հաճախությունների շեղումը՝

$$\Delta\omega_0 = \frac{\mu_B B}{\hbar} = \frac{eB}{2m_e}: \quad (5.2.27)$$



Ջեեմանի նորմալ երևույթ նկատվում է նաև D և P թերմերի միջև անցումների դեպքում (Նկ.5.17):



• Ջեեմանի անոմալ (բարդ) երևույթը.

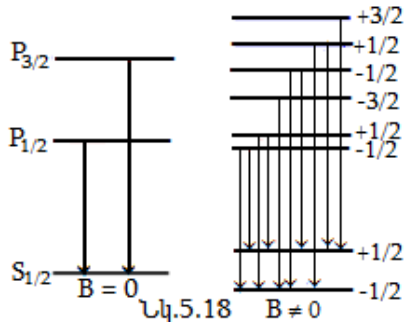
Ատոմի սպեկտրալ գծերը, որոնք ունեն նուրբ կառուցվածք, մագնիսական դաշտի ազդեցության հետևանքով ձեռքբերում են երեքից ավել բաղադրիչների (Նկ. 5.18), որոնց հաճախությունների շեղումը՝

$$\Delta\omega = \frac{\mu_B B}{\hbar} (m_1 g_1 - m_2 g_2): \quad (5.2.28)$$

$$m_1 g_1 - m_2 g_2 = \frac{p}{q} - \text{ն}$$

հանդիսանում է ռացիոնալ կոտորակ, որտեղ p -ն և q -ն ոչ մեծ ամբողջ թվեր են և

$$\Delta\omega = \frac{p}{q} \Delta\omega_0:$$



• **Պաշեն – Բակի երևույթը.**

Ուժեղ մագնիսական դաշտերի դեպքում Ջեեմանի անոմալ (բարդ) երևույթը անցնում է նորմալ (պարզ) երևույթի: Մոտ 10Տլ և մեծ մագնիսական դաշտի դեպքում էլեկտրոնի սպինային և ուղեծրային մագնիսական մոմենտների փոխազդեցությունն այդ դաշտի հետ դառնում է ավելի մեծ, քան իր սպինային ու ուղեծրային մագնիսական մոմենտների փոխազդեցությունը և շատ թվով ճեղքված գծերը ծածկելով իրար, արդյունքում տալիս են երեք գիծ, որը Ջեեմանի պարզ երևույթն է: Փաստորեն, գործնականում առավել հաճախ հանդիպում է Ջեեմանի անոմալ երևույթը, իսկ պարզ երևույթը եզակի դեպք է:

• **Շտարկի երևույթը.**

Ատոմի ճառագայթման և կլանման սպեկտրալ գծերը ճեղքվում են նաև էլեկտրական դաշտի ազդեցության շնորհիվ: Այս երևույթը հայտնաբերել է Շտարկը և կոչվում է իր անունով: Եթե ատոմները բևեռային են, ապա ճեղքման չափը կլինի համեմատական pE -ին, որտեղ p -ն ատոմի սեփական դիպոլային մոմենտն է, իսկ E -ն՝ դաշտի լարվածությունը (Շտարկի գծային երևույթ): Եթե ատոմները ոչբևեռային են, ապա էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ ձեռք են բերում $p = \alpha E$ դիպոլային մոմենտ և լրացուցիչ $\frac{1}{2}\alpha E^2$ էներգիա, որով էլ կայանալով սպեկտրալ գծերի ճեղքումը (Շտարկի քառակուսային երևույթ):

6. Մոլեկուլների հատկությունները

• **Մոլեկուլների տատանողական էներգիաները (գծային օսցիլյատոր).**

$$E_m = \left(k + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_m, \quad (5.2.29)$$

որտեղ $k=0,1,2,\dots$ -տատանողական քվանտային թիվն է: Ջոկման կանոնն է՝ $\Delta k = \pm 1$: Այլասեռման աստիճանը $g_m = 1$:

• **Մոլեկուլների պտտական էներգիաները.**

$$E_{ym} = \frac{\hbar^2}{2I} J_{ym}(J_{ym} + 1), \quad (5.2.30)$$

որտեղ $J_{պտ} = 0, 1, 2, \dots$ - պտտական քվանտային թիվն է, I -ն՝ մոլեկուլի իներցիայի մոմենտը: Ջոկման կանոնն է՝ $\Delta J_{պտ} = \pm 1$: Այլասեռման աստիճանը՝ $g_{պտ} = 2J_{պտ} + 1$:

• **Մոլեկուլի լրիվ էներգիան.**

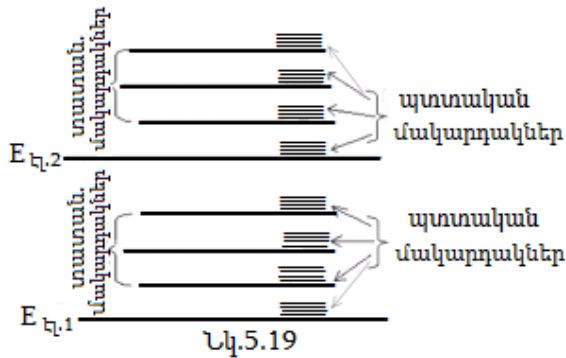
$$E = E_k + \left(k + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega_{տ} + \frac{\hbar^2}{2I} J_{պտ}(J_{պտ} + 1), \quad (5.2.31)$$

որտեղ E_k -ն մոլեկուլի էներգիայի այն մասն է, որը պայմանավորված է էլեկտրոնային կոնֆիգուրացիայով (էլեկտրոնային էներգիան):

• **Ատոմում էներգիական մակարդակների միջև եղած հեռավորությունների հարաբերակցությունը (Նկ.5.19).**

$$\Delta E_k \gg \Delta E_{տ} \gg E_{պտ}: \quad (5.2.32)$$

$$\Delta E_B \sim 10^{-4} \text{ էՎ: } \Delta E_k \sim 1 \text{ էՎ, } \Delta E_{տ} \sim 10^{-2} \text{ էՎ, } \Delta E_{պտ} \sim 10^{-4} \text{ էՎ :}$$



• **Քվանտային հարմոնիկ օսցիլյատորի միջին էներգիան.**

$$\langle E \rangle = \frac{\hbar \omega}{2} + \frac{\hbar \omega}{e^{\hbar \omega / kT} - 1} : \quad (5.2.33)$$

ԳԼՈՒԽ 6. ՄԻՋՈՒԿԻ ՖԻԶԻԿԱ

§ 1. ՄԻՋՈՒԿԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆ ՈՒ ՉԱՓԵՐՆ

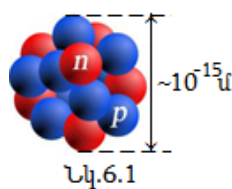
Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Պրոտոնի և նեյտրոնի հայտնագործումը.

Է. Ռեզերֆորդը 1919թ. ուսումնասիրելով α մասնիկների ցրումը ազոտի միջուկների վրա նկատեց, որ ազոտի միջուկները փոխակերպվում են թթվածնի միջուկի և առաջանում է նաև ջրածնի միջուկ, որին անվանեց պրոտոն՝ $\alpha + {}^{14}_7N \rightarrow {}^1_1p + {}^{17}_8O$: 1932թ. Դ. Չեդվիկը (Ռեզերֆորդի աշակերտը) ուսումնասիրելով α մասնիկների ցրումը բերիլիումի միջուկների վրա նկատեց, որ բերիլիումի միջուկը փոխակերպվում է ածխածնի միջուկի և առաջանում է լիցքաչեզոք մի մասնիկ, որի զանգվածը մոտավորապես հավասար է պրոտոնի զանգվածին: Այդ մասնիկին անվանեց նեյտրոն՝ $\alpha + {}^9_4Be \rightarrow {}^1_0n + {}^{12}_6C$: Նեյտրոնի հայտնագործումից անմիջապես հետո Դ. Իվանենկոն և Վ. Հայզենբերգը, իրարից անկախ, առաջարկեցին միջուկի պրոտոն-նեյտրոնային մոդելը, որն առ այսօր համարվում է ճիշտ մոդել:

• Ատոմի միջուկը կազմված է պրոտոններից և նեյտրոններից, որոնց անվանում են նուկլոններ (Նկ.6.1):

Պրոտոնների թիվը հավասար է Z կարգաթվին, նեյտրոնների N թիվը տարբեր իզոտոպների համար տարբեր է: $Z + N = A$ միջուկի նուկլոնների թիվն է, որին անվանում են զանգվածային թիվ: Տվյալ միջուկի կարգաթիվը որպես ինդեքս նշանակում են այդ տարրի ներքևում, իսկ զանգվածային թիվը վերևում՝



$$p = {}^1_1H; \quad \alpha = {}^4_2He; \quad {}^9_4Be; \quad {}^{12}_6C; \quad {}^{14}_7N; \quad {}^{17}_8O \text{ և այլն:}$$

• A զանգվածային թիվով միջուկի շառավիղը.

$$R = r_0 \cdot A^{1/3}, \quad (6.1.1)$$

որտեղ $r_0 = 1,2 \cdot 10^{-13}$ սմ:

Միջուկային ֆիզիկայում լայնորեն օգտագործվում է երկարության

արտահամակարգային միավոր 1ֆերմին՝ $1\text{ֆմ} = 10^{-13}\text{սմ}$:
Ուրեմն $r_0 = 1,2\text{ֆմ}$:

- Միջուկում նուկլոնների միջին հեռավորությունը.

$$\langle r_{i,j} \rangle = \sqrt[3]{V/A} = \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3} r_0^3} \approx 2 \cdot 10^{-13} = 2\text{ֆմ}: \quad (6.1.2)$$

- Միջուկի նուկլոնների կոնցենտրացիան և զանգվածի խտությունը.

$$n = \frac{A}{V} \approx 0,87 \cdot 10^{38} \text{նուկլոն/սմ}^3; \rho = nm_{\text{ն}} \approx 1,45 \cdot 10^{14} \text{գ/սմ}^3: \quad (6.1.3)$$

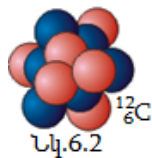
2. Միջուկի զանգվածի պակասորդը

- Զանգվածի ատոմական միավորը՝ 1գ.ա.մ.

Ածխածնի $^{12}_6\text{C}$ իզոտոպի զանգվածի $1/12$ մասին (Նկ.6.2) անվանում են զանգվածի մեկ ատոմական միավոր (1գ.ա.մ.):

$$1\text{գ.ա.մ.} = \frac{1}{12} \frac{m_{\text{C}}}{N_{\text{Ա}}} = \frac{1}{12} \frac{12}{N_{\text{Ա}}} = \frac{1}{N_{\text{Ա}}} = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{գ.}$$

Քանի որ մասնիկի զանգվածն էներգիայի հետ կապված է $E = mc^2$ առնչությամբ, ուստի եթե էներգիան արտահայտենք էՎ-ով, կամ դրա ածանցյալ միավորներով, ապա զանգվածը կարտահայտվի այդ միավորի և c^2 -ու հարաբերությամբ՝ էՎ/ c^2 : Միջուկային ֆիզիկայում ընդունված է c -ն չգրել և զանգվածի արտահամակարգային միավոր համարել 1էՎ-ը , կամ 1ՄէՎ-ը , 1ԳէՎ-ը : Օրինակ, էլեկտրոնի զանգվածի համար գրում են $m_e = 0,511\text{ՄէՎ}$, պրոտոնի զանգվածը՝ $m_p = 938,272\text{ՄէՎ}$, նեյտրոնի զանգվածը՝ $m_n = 939,565\text{ՄէՎ}$: **$1\text{գ.ա.մ.} = 931\text{ՄէՎ}$:**



- Միջուկը կազմող բոլոր նուկլոնների զանգվածների գումարի և միջուկի զանգվածի տարբերությունը կոչվում է զանգվածի պակասորդ.

$$\Delta M(A, Z) = Zm_p + Nm_n - M(A, Z): \quad (6.1.4)$$

- Միջուկի զանգվածի պակասորդ անվանում են նաև միջուկի զանգվածի (արտահայտված գ.ա.մ-ով) և A զանգվածային թվի տարբերությամբ.

$$\Delta M(A, Z) = M(A, Z) - A: \quad (6.1.5)$$

- Պրոտոնի զանգվածի պակասորդը.

$$\Delta_p = m_p - 1 = 0,007276 \text{գ.ա.մ.}: \quad (6.1.6)$$

- Նեյտրոնի զանգվածի պակասորդը.

$$\Delta_n = m_n - 1 = 0,008665 \text{ գ.ա.մ:} \quad (6.1.7)$$

3. Միջուկի կապի էներգիան

- Միջուկի կապի էներգիան.

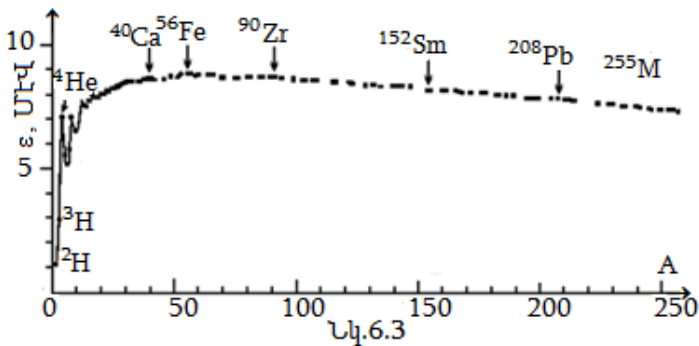
$$E(A, Z) = (Zm_p + Nm_n)c^2 - M(A, Z)c^2: \quad (6.1.8)$$

(6.1.8)-ը այն նվազագույն էներգիան է, որն անհրաժեշտ է միջուկն առանձին նուկլոնների բաժանելու համար: Այդ նույն էներգիան կլինի՝

$$E(A, Z) = [Z\Delta_p + N\Delta_n - \Delta M(A, Z)]c^2:$$

Կապի էներգիայի այս բանաձևերը ճիշտ են թեթև միջուկների համար:

Մեկ նուկլոնին բաժին ընկնող կապի էներգիային անվանում են տեսակարար կապի էներգիա՝ $\varepsilon = \frac{E(A, Z)}{A}$: Տեսակարար կապի էներգիայի առավելագույն արժեքը կազմում է $\sim 8,6 \text{ ՄէՎ}$: Այսպիսի տեսակարար կապի էներգիայով օժտված են այն միջուկները, որոնց զանգվածային թիվն ընկած է 50-60 միջակայքում: Նկ.6.3-ում բերված է միջուկի տեսակարար կապի էներգիայի կախվածությունը զանգվածային թվից (փորձնական գրաֆիկ):



- Միջուկից մեկ նեյտրոն անջատելու համար անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան.

$$B_n = E(A, Z) - E(A - 1, Z): \quad (6.1.9)$$

որտեղ $E(A, Z)$ -ը մայր միջուկի կապի էներգիան է, իսկ $E(A - 1, Z)$ -ը՝ դուստր միջուկինը:

Կամ
$$B_n = [m_n + M(A - 1, Z) - M(A, Z)]c^2: \quad (6.1.10)$$

• **Միջուկից մեկ պրոտոն անջատելու համար անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան.**

$$B_p = E(A, Z) - E(A - 1, Z - 1), \quad (6.1.11)$$

կամ $B_p = [m_p + M(A - 1, Z - 1) - M(A, Z)]c^2:$

• **Միջուկից $X(a, z)$ բարդ մասնիկ անջատելու համար անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան.**

$$B_X = E(A, Z) - E(A - a, Z - z) - E(a, z), \quad (6.1.12)$$

որտեղ $E(a, z)$ -ը $X(a, z)$ բարդ մասնիկի կապի էներգիան է:

Կամ $B_X = [M(A - a, Z - z) + M(a, z) - M(A, Z)]c^2:$

4. Միջուկի կապի էներգիայի կիսափորձնական բանաձևը (Վեյցգեյների բանաձևը)

$$E(A, Z) = a_\delta A - a_\ell A^{2/3} - a_\ell \frac{Z(Z - 1)}{A^{1/3}} - a_h \frac{(N - Z)^2}{A} + \delta \cdot A^{-3/4},$$

որտեղ $a_\delta = 15,6$ ՄէՎ, $a_\ell = 17,2$ ՄէՎ, $a_\ell = 0,72$ ՄէՎ, $a_h = 23,6$ ՄէՎ, իսկ δ -ն զույգ-զույգ (զույգ թվով պրոտոն, զույգ թվով նեյտրոն) միջուկների համար $\delta = 34$ ՄէՎ-ի, կենտ միջուկների համար (զանգվածային թիվը կենտ է) $\delta = 0$ և կենտ-կենտ (կենտ թվով պրոտոն, կենտ թվով նեյտրոն) միջուկների համար $\delta = -34$ ՄէՎ-ի: Հաստատունների բերված արժեքները ստացված են փորձնական ճանապարհով:

• **Ծավալային էներգիա.**

$$E_\delta = a_\delta A: \quad (6.1.13)$$

Քանի որ միջուկի ծավալը ևս համեմատական է A -ին, ուստի այս էներգիային անվանում են ծավալային էներգիա: Այս անդամը բացատրվում է միջուկի կաթիլային մոդելով:

• **Մակերևութային էներգիա.**

$$E_\ell = a_\ell A^{2/3}: \quad (6.1.14)$$

Միջուկի մակերևութի առկայության հետևանքով կապի էներգիան փոքրանում է E_ℓ մեծությամբ, որն ուղիղ համեմատական է միջուկի մակերևութի մակերեսին: Այս անդամը բացատրվում է միջուկի կաթիլային մոդելով:

• **Կուլոնյան էներգիա.**

$$E_l = a_l \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \approx a_l \frac{Z^2}{A^{1/3}}: \quad (6.1.15)$$

Պրոտոնների միջև գործող կուլոնյան վանողական ուժը կապի էներգիան փոքրացնում է E_l մեծությանը: Այս անդամը բացատրվում է միջուկի կաթիլային մոդելով:

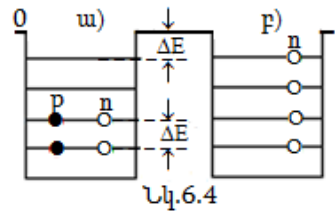
• **Համաչափության էներգիա.**

$$E_h = a_h \frac{(N-Z)^2}{A} = a_h \frac{(A-2Z)^2}{A}: \quad (6.1.16)$$

Պրոտոնների և նեյտրոնների քանակների տարբերությունը ($N \neq Z$) միջուկների կապի էներգիան փոքրացնում է E_h մեծությամբ:

Միջուկների կապի էներգիայի այս անդամը բացատրվում է Պաուլի սկզբունքով: Նկ.6.4ա-ում պատկերված է երկու պրոտոնից և երկու նեյտրոնից կազմված միջուկ: Պաուլի սկզբունքը թույլ է տալիս մեկ քվանտային թվով բնութագրվող վիճակում մեկ պրոտոնի և մեկ նեյտրոնի առկայության: Հեշտ է նկատել, որ այդ միջուկային փոսից դրանց հանելու համար պետք է ծախսել $14\Delta E$ էներգիա, այսինքն այդ միջուկի կապի էներգիան $14\Delta E$:

Նկ.6.4բ-ում պատկերված է չորս նեյտրոնից կազմված միջուկը, արդեն Պաուլի սկզբունքը թույլ է տալիս յուր-րաքանչյուր վիճակում մեկ նեյտրոնի առկայության: Նույն միջուկային փոսից դրանց հանելու համար պետք է ծախսել $10\Delta E$ էներգիա, ուրեմն դրա կապի էներգիան կլինի $10\Delta E$: Եթե այս միջուկում նեյտրոններից մեկը փոխարինենք պրոտոնով, ապա այն կընկնի փոսի ամենա-ներքևի մակարդակ, վերևի մակարդակը կմնա դատարկ: Արդեն այդ միջուկի կապի էներգիան կդառնա $13\Delta E$:

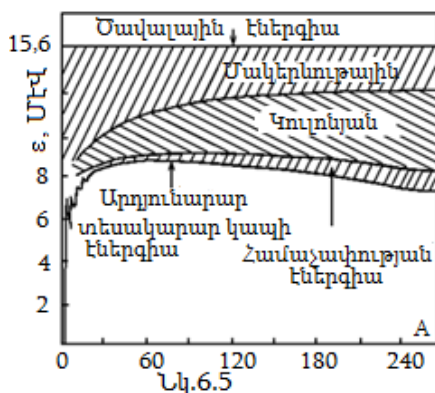


Նկ.6.5-ում պատկերված է, թե ինչպես է ձևավորվում միջուկի կապի տեսակարար էներգիան վերևում նշված չորս ուժերի գումարման արդյունքում:

• **Զույգավորման էներգիա.**

$$E_q = \delta \cdot A^{-3/4}: \quad (6.1.17)$$

Միջուկների կապի էներգիայի այս անդամը պայմանավորված է միջուկային ուժերի սպին-ուղեծրային մասով:



5. **Կայուն միջուկների կարգավի կախվածությունը զանգվածային թվից**

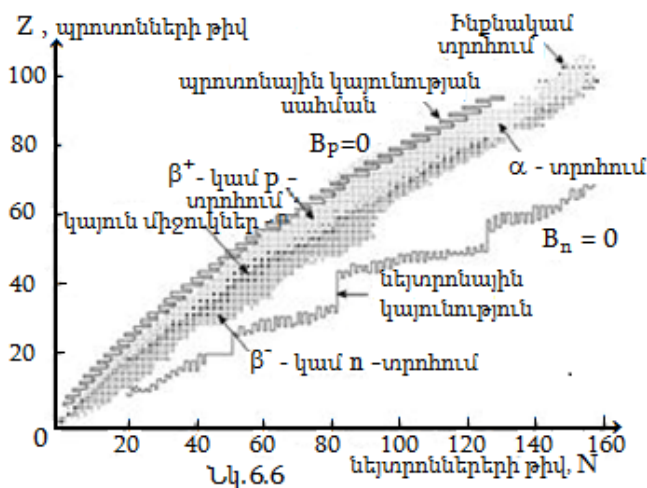
• Երբ պրոտոնի զանգվածը վերցվում է հավասար նեյտրոնի զանգվածին.

$$Z = \frac{A}{2+0,015A^{2/3}}: \quad (6.1.18)$$

• Երբ հաշվի է առնվում պրոտոնի և նեյտրոնի զանգվածների տարբերությունը.

$$Z = \frac{A}{1,97+0,015A^{2/3}}: \quad (6.1.19)$$

Միջուկներն ըստ կայունության N, Z հարթության վրա ունեն Նկ.6.6-ում բերած մոտավոր դասավորությունը:



6. Միջուկային փոխազդեցության բնութագրերը

• Միջուկային փոխազդեցության կտրվածքը (հավանականությունը) և փոխազդեցության ժամանակը.

Դիցուք մասնիկների զուգահեռ փնջին ուղղահայաց տեղադրված S մակերեսի վրա ընկնում է N_0 մասնիկ, իսկ այդ մակերեսի վրա կա N միջուկ: $N/S = n$ կլինի միավոր մակերեսին բաժին ընկնող միջուկների թիվը: Այս դեպքում փնջի մասնիկների փոխազդեցության թիվը միջուկների հետ կլինի $\sigma N_0 \frac{N}{S}$, որտեղ σ համեմատականության գործակցին անվանում են միջուկի էֆեկտիվ մակերես, կամ փոխազդեցության հավանականությունը: Միջուկային փոխազդեցության դեպքում $\sigma = 10^{-21} \div 10^{-24} \text{ սմ}^2$:

Որպես միջուկային փոխազդեցության ժամանակ ընդունված է համարել այն ժամանակամիջոցին, որի ընթացքում լույսն անցնում է միջուկի ներսով՝ $\tau = \frac{R}{c} \approx \frac{10^{-15}}{3 \cdot 10^8} \approx 10^{-23}$ վ:

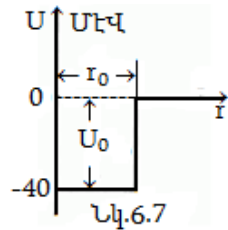
• Միջուկային ուժերի գործողության շառավիղը և պոտենցիալային փոսի խորությունը (Նկ.6.7).

$$r_0 \approx 10^{-13} \text{ սմ}; \quad U_0 \approx 40 \text{ ՄէՎ}:$$

• Հիմնարար փոխազդեցության ուժի գործողության a շառավիղը.

$$a = \frac{\hbar}{mc}, \quad (6.1.20)$$

որտեղ $\hbar$ -ը Պլանկի հաստատունն է, c -ն՝ էլեկտրադինամիկական հաստատունը, իսկ m -ը՝ փոխազդեցությունը կրող մասնիկի զանգվածը:



7. Միջուկի մեխանիկական և մագնիսական մոմենտը

Միջուկի ներսում նուկլոնների շարժումով պայմանավորված է միջուկի $\vec{I}$ ուղեծրային մեխանիկական մոմենտը, իսկ պրոտոնների շարժումով՝ միջուկի $\vec{\mu}_{nu}$ ուղեծրային մագնիսական մոմենտը:

• Միջուկի ուղեծրային մեխանիկական մոմենտը.

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^A \vec{l}_i, \quad (6.1.21)$$

որտեղ $\vec{l}_i$ -ն նուկլոնի ուղեծրային մեխանիկական մոմենտն է:

• Միջուկի սպինային մեխանիկական մոմենտը.

$$\vec{S} = \sum_{i=1}^A \vec{s}_i, \quad (6.1.22)$$

որտեղ $\vec{S}_i$ -ն նուկլոնի սպինային մեխանիկական մոմենտն է:

• **Միջուկի լրիվ մեխանիկական մոմենտը.**

ա) $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, $\langle L-S \rangle$ կապի դեպքում:

բ) $\vec{J} = \sum_{i=1}^A \vec{J}_i$, որտեղ $\vec{J}_i = \vec{l}_i + \vec{s}_i$, $\langle j-j \rangle$ կապի դեպքում:

Զույգ զանգվածային թվով միջուկների համար լրիվ մոմենտի J քվանտային թիվը ընդունում է ամբողջ արժեքներ՝ $J = 0, 1, 2, 3, \dots$, իսկ կենտ զանգվածային թվով միջուկների համար՝ $J = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$: Փորձնականորեն հաստատված է, որ հիմնական վիճակում գտնվող բոլոր զույգ-զույգ միջուկների համար $J = 0$: Հիմնական վիճակում գտնվող մյուս միջուկների համար $J \ll \sum_{i=1}^A |\vec{J}_i|$, ինչը նշանակում է, որ հիմնական վիճակում նուկլոնների մեխանիկական մոմենտներն իրար կոմպենսացնում են:

• **Պրոտոնի ուղեծրային մագնիսական մոմենտը.**

$$\vec{\mu}_{n\eta} = \frac{\mu_{\mathcal{U}}}{h} \vec{l}, \quad (6.1.23)$$

որտեղ $\mu_{\mathcal{U}} = 5,051 \cdot 10^{-27} \text{Ջ/Տլ}$ – ն միջուկային մագնետոնն է:

Նեյտրոնի ուղեծրային մագնիսական մոմենտը հավասար է զրոյի:

• **Նուկլոնների սպինային մագնիսական մոմենտները.**

$$\text{ա) } \mu_{up} = g_{up} \mu_{\mathcal{U}}, \quad g_{up} = 2,7928; \quad (6.1.24)$$

$$\text{բ) } \mu_{un} = g_{un} \mu_{\mathcal{U}}, \quad g_{un} = -1,913: \quad (6.1.25)$$

• **Միջուկի մագնիսական մոմենտը.**

$$\mu_U = \frac{\mu_{\mathcal{U}}}{h} \sum_{i=1}^A (g_{ni,i} \vec{l}_i + g_{ui,i} \vec{s}_i): \quad (6.1.26)$$

Կամ

$$\vec{\mu}_U = g_U \mu_{\mathcal{U}} \vec{J}, \quad (6.1.27)$$

որտեղ g_U – միջուկի մագնիսահոլակային հաստատունն է:

• **Միջուկի ներսում գտնվող նուկլոնի մագնիսական մոմենտի միջին արժեքը.**

$$\vec{\mu}_{n,p} = g_j \mu_{\mathcal{U}} \vec{J}, \quad (6.1.28)$$

$$\text{որտեղ } g_j = \frac{1}{2} (g_{n\eta} + g_u) + \frac{1}{2} (g_{n\eta} - g_u) \frac{l(l+1) - s(s+1)}{j(j+1)}: \quad (6.1.29)$$

Պրոտոնի համար $g_{n\eta} = 1$, $g_u = 5,5856$: Նեյտրոնի համար $g_{n\eta} = 0$, $g_u = -3,826$:

8. Միջուկի էլեկտրական մոմենտները

- Միջուկի դիպոլային էլեկտրական մոմենտը.

$$\vec{p} = \int_V \vec{r} \rho_t dV: \quad (6.1.30)$$

Բոլոր միջուկների դիպոլային էլեկտրական մոմենտը միջուկի կենտրոնի նկատմամբ հավասար է զրոյի:

- Միջուկի էլեկտրական քվադրուպոլային մոմենտի թենզորը.

$$Q_{ij} = \int (3x_i x_j - r^2 \delta_{ij}) \rho_t dV: \quad (6.1.31)$$

- Միջուկի էլեկտրական քվադրուպոլային մոմենտը.

$$Q = \frac{1}{e} Q_{zz} = \frac{1}{e} \int (3z^2 - r^2) \rho(\vec{r}) dV, \quad (6.1.32)$$

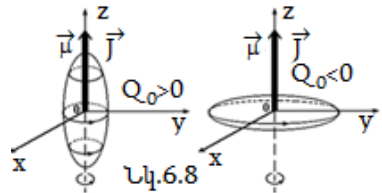
որտեղ e -ն տարրական լիցքի մոդուլն է: Քվադրուպոլային մոմենտի չափման միավորը մեկ Բարն է: Եթե միջուկն օժտված է համաչափության առանցքով, ապա Q -ն մոդուլով ընդունում է առավելագույն արժեք, հաշվարկման այն համակարգի նկատմամբ, որի առանցքը համընկնում է այդ համաչափության առանցքի հետ և պտտվում է միջուկի հետ մեկտեղ: Քվադրուպոլ մոմենտի այդ Q_0 արժեքը կոչվում է միջուկի սեփական կամ ներքին քվադրուպոլային մոմենտ:

• Փորձով դիտվող քվադրուպոլային Q մոմենտը և միջուկի հիմնական վիճակի Q_0 մոմենտը կապված են հետևյալ առնչությամբ.

$$Q = \frac{J(2J-1)}{(J+1)(2J+3)} Q_0, \quad (6.1.33)$$

Միջուկի գնդաձևությունից շեղվածության չափը բնութագրող β պարամետրը ($\beta = \frac{\delta R}{R}$) միջուկի սեփական քվադրուպոլային մոմենտի

հետ կապված է $Q_0 = \frac{4}{5} Z \bar{R}^2 \beta$ առնչությամբ: Ոչ սֆերիկ միջուկների մեծամասնությունն ունեն առանցքային համաչափությամբ օժտված a և b կիսաառանցքներով էլիպսոիդի տեսք: Եթե միջուկի սեփական (ներքին) քվադրուպոլային մոմենտը՝ $Q_0 > 0$, ապա միջուկը ձգված է z առանցքով, իսկ $Q_0 < 0$ դեպքում՝ միջուկը սեղմված է z առանցքով (Նկ.6.8): Այս դեպքում



$\bar{R} = 0,5(a + b)$ համարվում է միջուկի միջին շառավիղը: Սովորաբար միջուկների $\beta < 0,6$:

Հիմնական վիճակում գտվող միջուկի սպինը և մագնիսական մոմենտը միշտ ուղղված են միջուկի համաչափության առանցքով:

9. Մասնիկների և միջուկների տարածական զույգությունը

• Տարածական ինվերսիայի օպերատորը.

$$\hat{P} \Psi(\vec{r}, t) = \Psi(-\vec{r}, t), \quad (6.1.34)$$

որտեղ $\Psi(\vec{r}, t)$ -ն համակարգի վիճակը նկարագրող ալիքային ֆունկցիան է: $\hat{P}$ տարածական ինվերսիայի (շրջման) օպերատորի սեփական արժեքներն են՝ $P = \pm 1$: Եթե $P = +1$, ապա համակարգն ունի դրական տարածական զույգություն՝ $\Psi(\vec{r}, t) = \Psi(-\vec{r}, t)$, $P = -1$ դեպքում՝ բացասական տարածական զույգություն և $\Psi(\vec{r}, t) = -\Psi(-\vec{r}, t)$:

• Մասնիկների ներքին զույգությունը.

Եթե $\varphi(\vec{r}, t)$ ալիքային ֆունկցիան նկարագրում է համակարգի ներքին վիճակը և ներքին կոորդինատների շրջման դեպքում $\varphi(\vec{r}, t) = \varphi(-\vec{r}, t)$, ապա մասնիկն օժտված է ներքին դրական զույգությամբ՝ $p = +1$, իսկ $\varphi(\vec{r}, t) = -\varphi(-\vec{r}, t)$ դեպքում՝ ներքին բացասական զույգությամբ՝ $p = -1$:

Պրոտոնի, նեյտրոնի և էլեկտրոնի համար՝ $p = +1$, γ -մասնիկի համար՝ $p = -1$:

Կիսամբողջ սպինով մասնիկների (ֆերմիոնների) և հակամասնիկների ներքին զույգություններն ունեն հակադիր նշաններ, իսկ ամբողջ սպինով մասնիկների (բոզոնների) և հակամասնիկների ներքին զույգությունները՝ նույն նշաններ:

• Իրար հետ չփոխազդող մասնիկների համակարգի տարածական զույգությունը, երբ դրանք շարժվում են կենտրոնական դաշտում.

$$P = p_1 p_2 \dots p_A (-1)^L, \quad (6.1.35)$$

որտեղ $p_1, p_2, \dots, p_A$ -ն առանձին մասնիկների ներքին զույգություններն են, իսկ $L = \sum_i l_i$ -ը համակարգի ուղեծրային մոմենտն է զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ:

Եթե միջուկն ընդունենք որպես իրար հետ չփոխազդող նուկլոնների համախումբ, որոնք շարժվում են ընդհանուր միջուկային պո-

տենցիալում, ապա այս մոտավորությամբ միջուկի զույգությունը կլինի՝ $P = (-1)^L$:

• **Տարածական զույգության պահպանման օրենքը.**

Համակարգի տարածական զույգությունը պահպանվում է ուժեղ և էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունների դեպքում և խախտվում թույլ փոխազդեցությունում:

10. Միջուկի թաղանթային մոդելը (միամասնիկային մոդել)

Այս մոդելում նուկլոնների միջև գործող իրական ուժերը փոխարինում են բոլոր նուկլոնների համար ընդհանուր ուժային կենտրոնով և համարվում է, որ նուկլոններն իրարից անկախ շարժվում են այդ ինքնահամաձայնեցված միջուկային դաշտում:

Այս դեպքում միջուկի էներգիական մակարդակը բնութագրվում է n -գլխավոր քվանտային թվով ($n = 1, 2, 3, \dots$), l -ուղեծրային (ազիմուտային) քվանտային թվով ($l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$, այն որոշում է նուկլոնի իմպուլսի մոմենտի մեծությունը միջուկի ներսում), լրիվ մոմենտի $j = l \pm 1/2$ քվանտային թվով և m_j քվանտային թվով ($m_j = -j, -j + 1, \dots, -1, 0, +1, \dots, j - 1, j$, այն որոշում է լրիվ մոմենտի պրոյեկցիայի մեծությունը տվյալ ուղղությամբ): Յուրաքանչյուր էներգետիկ մակարդակում մեկից ավել նույն տեսակի նուկլոն չի կարող գտնվել:

Միջուկի ինքնահամաձայնեցված դաշտում նուկլոնների ստացիոնար վիճակներն ունեն նույն նշանակումները, ինչ-որ էլեկտրոններն ունեն միջուկի կուլոնյան դաշտում.

$$\left(l = \begin{matrix} 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 \\ s, p, d, f, j, h, t \end{matrix} \right): \quad (6.1.36)$$

Ատոմի էլեկտրոնային շերտի համանմանը միջուկի համար հանդիսանում է միջուկի թաղանթը: Թաղանթների միջև էներգիական միջակայքը զգալիորեն գերազանցում է թաղանթի ներսի էներգիական մակարդակների միջև եղած միջակայքից:

Այն միջուկները, որոնք ունեն պրոտոններով կամ նեյտրոններով լրացված թաղանթներ, կոչվում են մոզական միջուկներ: Մոզական թվեր են հանդիսանում՝ 2, 8, 20, 50, 82, 126 (միայն նեյտրոնների

համար): Այս թվերը տեսականորեն ստացվում են նուկլոնների սպին-ուղեծրային փոխազդեցությունն ընդգրկող, որոշակիորեն ընտրված միջուկի ինքնահամաձայնեցված դաշտի համար: Մոգական միջուկները մյուսների նկատմամբ ունեն մեծ ամրություն, հատկապես կրկնակի մոգականները: Եթե պրոտոնների թիվը մոգական է, ապա այդ միջուկներում էլեկտրական լիցքն ունի գնդային բաշխում և դրա քվադրուպոլային մոմենտը զրո է: Այս իմաստով մոգական միջուկները հիշեցնում են իներտ գազերի ատոմներին, որոնք օժտված են գնդային համաչափությամբ և մեծ իոնացման էներգիայով:

• **Նուկլոնի վիճակի նշանակումը.**

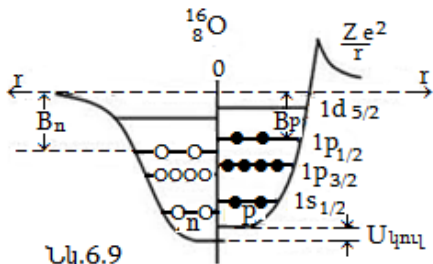
$$n l_j, \quad (6.1.37)$$

որտեղ n -ը գլխավոր քվանտային թիվն է, l -ը՝ ուղեծրային քվանտային թիվը, j -ն՝ նուկլոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտը: Օրինակ. $2d_{3/2}$ սիմվոլը նշանակում է, որ նուկլոնի համար $n=2$, $l=2$, $j=3/2$:

• **Նույն տեսակի նուկլոնների թիվը ենթաթաղանթում.**

$$N_{n,p} = 2j + 1, \quad (6.1.38)$$

որտեղ j -ն նուկլոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտն է: Ընդ որում, պրոտոնների և նեյտրոնների միամասնիկանի էներգիական մակարդակները (ենթաթաղանթները) լրացվում են իրարից անկախ կերպով (Նկ.6.9):



• **Միջուկի վիճակի նշանակումը.**

$$J^P, \quad (6.1.39)$$

որտեղ J -ն միջուկի սպինն է, իսկ P -ն՝ զույգությունը:

Միամասնիկային թաղանթային մոդելը միարժեքորեն տալիս է հիմնական վիճակում գտնվող միջուկի սպինն և զույգությունը հետևյալ երեք դեպքերի համար.

ա) Միջուկի ենթաթաղանթները լրացված են: Այս դեպքում $J = 0$, $P > 0$ և միջուկի վիճակը կլինի $J^P = 0^+$:

բ) Լրացված ենթաթաղանթներից բացի կա մեկ նեյտրոն, որի վիճակն է՝ n_{lj} : Այս դեպքում միջուկի սպինը հավասար է այդ նուկլոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտին՝ $J = j$, միջուկի զույգությունը՝ $P = (-1)^L$: Միջուկի վիճակը $J^P = j^{(-1)^L}$:

գ) Ենթաթաղանթը լրացվելու համար պակասում է n_{lj} վիճակի մեկ նուկլոն: Այս դեպքում նորից $J = j$, $P = (-1)^L$: Միջուկի վիճակը $J^P = j^{(-1)^L}$:

• **Միջուկի սպինի և զույգության կանոնները.**

ա) զույգ-զույգ միջուկների համար $J = 0$, $P = +1$;

բ) կենտ զանգվածային թվով միջուկների համար $J = j$, $P = (-1)^L$;

գ) կենտ-կենտ միջուկների համար՝

$$|j_p - j_n| \leq J \leq |j_p + j_n|, \quad P = (-1)^{l_p + l_n}, \quad (6.1.40)$$

որտեղ j -ն կենտ նուկլոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտն է, l -ը՝ դրա ուղեծրային մոմենտը:

11. Մասնիկների և միջուկների իզոսպինը

Ուժեղ փոխազդեցության մեջ մտնող, զանգվածներով իրար մոտ մասնիկների էլեկտրական լիցքային վիճակը նկարագրելու համար մասնիկներին վերագրում են իզոսպին քվանտային թիվ (I), որը եռաչափ Էվկլիդյան լիցքային տարածությունում ունի տարբեր պրոյեկցիաներ:

• **Նուկլոնի իզոսպինը.**

$$\vec{I} = \vec{1}/2: \quad (6.1.41)$$

Այդ վեկտորի երկարությունն է՝ $\sqrt{I(I+1)} = \sqrt{3}/2$: Սովորաբար վերցնում են $I_z = I_3$:

Պրոտոնի համար $I_3 = +1/2$, իսկ նեյտրոնի համար՝ $I_3 = -1/2$:

• **Պիոնների իզոսպինը.**

$$\vec{I} = \vec{1}: \quad (6.1.42)$$

Այդ վեկտորի երկարությունն է՝ $\sqrt{I(I+1)} = \sqrt{2}$:

π^+ - մեզոնի համար $I_3 = +1$, π^0 - մեզոնի համար $I_3 = 0$, π^- - մեզոնի համար $I_3 = -1$: Իզոմուլտիպլետ կազմող մասնիկներն ուժեղ փոխազդեցությունում իրենց միանման են դրսևորում: Իզոմուլտիպլետում մասնիկների թիվը և իզոսպինը կապված են $2I + 1 = n$ առնչությամբ: Նուկլոնների համար $n = 2$, իսկ պիոնների համար $n = 3$:

• Նուկլոնի էլեկտրական լիցքի կապը իզոսպինի $I_z = I_3$ պրոյեկցիայի հետ.

$$q_N = e(0,5 + I_3): \quad (6.1.43)$$

• Միջուկի էլեկտրական լիցքի կապը իզոսպինի $I_z = I_3$ պրոյեկցիայի հետ.

$$Ze = \sum_{i=1}^A (q_N)_i = e \left(\frac{A}{2} + I_3 \right), \quad (6.1.44)$$

$$\text{որտեղ } I_3 = \sum_{i=1}^A I_{3i} = \frac{Z-N}{2}:$$

• Միջուկի իզոսպինի արժեքը.

$$\frac{1}{2}(A - 2Z) \leq I \leq \frac{A}{2}: \quad (6.1.45)$$

• Հիմնական վիճակում գտնվող միջուկի իզոսպին.

$$I = \left| \frac{Z-N}{2} \right| = \frac{1}{2}: \quad (6.1.46)$$

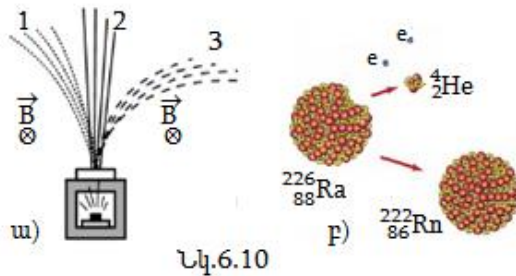
§2. ՄԻԶՈՒԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԿԵՐՊՈՒՄՆԵՐԸ: ՄԻԶՈՒԿԱՑԻՆ ՈՒԺԵՐ ԵՎ ՌԵԱԿՑԻԱՆԵՐ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Ճառագայթաակտիվություն

Ճառագայթաակտիվությունը միջուկի կազմի ինքնակամ փոփոխությունն է, որը տեղի է ունենում միջուկային $\tau \approx 10^{-23}$ վ բնութագրական ժամանակներից էապես մեծ ժամանակամիջոցի ընթացքում: Ճառագայթաակտիվությունը հայտնագործել է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Ա. Բեքերելը: Պայմանականորեն ընդունված է, որ միջուկը համարվում է Ճառագայթաակտիվ, եթե նրա կազմի փոփոխությունը տեղի է ունենում իր ծնվելուց $t > 10^{-12}$ վ անց, իսկ $t < 10^{-12}$ վ դեպքում տրոհումը չի համարվում Ճառագայթաակտիվ: Ճառագայթաակտիվ նմուշի Ճառագայթումը մագնիսական դաշտում բա-

Ժանվում է երեք ճառագայթի (Նկ.6.10ա): 1 ճառագայթը դրական մասնիկների հոսք է, որոնց տարածման արագությունը հասնում է 20000կմ/ժ-ի, դրանց անվանեցին α -մասնիկներ: Ուսումնասիրությունները ցույց տվեց, որ դրանք հանդիսանում են հելիումի միջուկներ: 2 ճառագայթը մեծ էներգիայով ֆոտոններ ու γ -մասնիկներ են: 3 ճառագայթը բացասական մասնիկների հոսք է, որոնց տարածման արագությունը հասնում է 270000կմ/ժ-ի, դրանց անվանեցին β -մասնիկներ: Ուսումնասիրությունները ցույց տվեց, որ դրանք էլեկտրոններ են: Նկ.6.10բ-ում բերված է ռադիումի միջուկի տրոհման սխեման, որի արդյունքում առաջանում է ռադոնի միջուկ, հելիումի միջուկ (α -մասնիկ) և երկու էլեկտրոն (β -մասնիկ): Այդտեղ նշված չեն ֆոտոններն ու γ -մասնիկները, որոնք առաջանում են բոլոր երեք միջուկների կողմից:



• **Ճառագայթաակտիվ տրոհման պայմանը.**

$$M_0 > M + \sum_i m_i, \quad (6.2.1)$$

որտեղ M_0 -ն և M -ը մայր և դուստր միջուկների զանգվածներն են, իսկ $\sum_i m_i$ -ն՝ տրոհման մյուս արդյունքների ընդհանուր զանգվածը:

• **Ճառագայթաակտիվ տրոհման հիմնական օրենքը.**

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (6.2.2)$$

որտեղ N_0 -ն անկայուն միջուկների թիվն է $t = 0$ պահին, իսկ N -ը՝ չտրոհված միջուկների թիվը, λ - ն՝ տրոհման հաստատունը (միավոր ժամանակում միջուկի տրոհման հավանականությունը):

• **Ակտիվություն.**

$\lambda N = a$ մեծությանն անվանում են ճառագայթաակտիվ նյութի ակտիվություն.

$$a = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N: \quad (6.2.3)$$

Միավոր զանգվածի ակտիվությունը կոչվում է տեսակարար ակտիվություն:

• **Ճառագայթաակտիվության միավորները.**

Միավորների ՄՀ-ում ճառագայթաակտիվության միավորը Բեկերելն է (Բկ): 1Բկ ճառագայթաակտիվության դեպքում 1վ-ում տեղի է ունենում մեկ տրոհում: Ճառագայթաակտիվության արտահամակարգային միավոր են Կյուրին (1Կի) և Ռեզեֆորդը (1Ռդ):

$$1\text{Կի} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Բկ}; \quad 1\text{Ռդ} = 10^6 \text{ Բկ}:$$

• **$T_{1/2}$ կիսատրոհման ժամանակը (տրոհման պարբերությունը).**

Այն $T_{1/2}$ ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում $t = 0$ պահին եղած միջուկների կեսը տրոհվում են ($N = N_0/2$), կոչվում է կիսատրոհման ժամանակ կամ տրոհման պարբերության:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,6931}{\lambda}: \quad (6.2.4)$$

• **Ռադիոակտիվ միջուկի կյանքի միջին տևողությունը.**

$$\tau = 1/\lambda: \quad (6.2.5)$$

• **Արհեստական ճառագայթաակտիվություն.**

Որոշ ոչ ճառագայթաակտիվ նյութեր արտաքին ազդեցության հետևանքով (օրինակ, α - մասնիկներով ռմբակոծելիս) դառնում են ճառագայթաակտիվ նյութ:

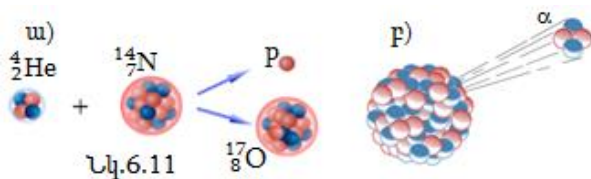
Օրինակ՝ 1) ${}^4_2\text{He} + {}^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$, որտեղ ${}^{30}_{15}\text{P}$ - ֆոսֆորի իզոտոպը ճառագայթաակտիվ է:

2) ${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{18}_8\text{O} + {}^1_1\text{p}$ ռեակցիայում ֆտորի իզոտոպը ռադիոակտիվ է, որը տրոհվում է թթվածնի իզոտոպի և պրոտոնի (Նկ.6.11ա, որտեղ մի-ջանկյալ ${}^{18}_8\text{O}$ իզոտոպը նշված չէ):

2. Ալֆա տրոհում

α - տրոհում կոչվում է միջուկների կողմից ինքնակամ կերպով α -մասնիկներ (հելիումի միջուկներ) արձակելու պրոցեսը (Նկ. 6.11բ), որի հետևանքով միջուկի A զանգվածային թիվը փոքրանում է չորսով, իսկ Z կարգաթիվը երկուսով՝





α - տրոհումը մասնիկների ուժեղ փոխազդեցության արդյունք է:

- α - տրոհման դեպքում անջատված կինետիկ էներգիան.

$$T_\alpha = E(A - 4, Z - 2) + E(\alpha) - E(A, Z): \quad (6.2.7)$$

α -տրոհման դեպքում անջատված կինետիկ էներգիայի հիմնական մասը վերցնում են α - մասնիկները: Էներգիայի սպեկտրը դիսկրետ է և ընկած է 2-ից 9ՄԷՎ միջակայքում:

- Տրոհման $T_{1/2}$ պարբերության կախումը ծնված α -մասնիկների կինետիկ էներգիայից.

$$\lg T_{1/2} = C + \frac{D}{\sqrt{T_\alpha}}, \quad (6.2.8)$$

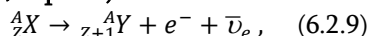
որտեղ C և D -ն հաստատուններ են (դրանք A -ից կախված չեն, իսկ Z -ից ունեն թույլ կախվածություն):

3. Բետա տրոհում

β - տրոհումն ինքնակամ պրոցես է, որի դեպքում ${}^A_ZX$ անկայուն միջուկը փոխակերպվում է ${}^A_{Z+1}Y$ կամ ${}^A_{Z-1}Y$ իզոբար միջուկների:

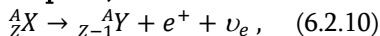
β -տրոհումը մասնիկների թույլ փոխազդեցության արդյունք է:

- Էլեկտրոնային β -տրոհում (β^- - տրոհում, միջուկը արձակում է էլեկտրոն, Նկ.6.12).



կամ $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$:

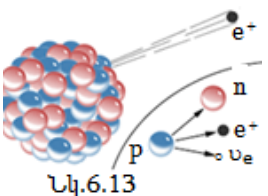
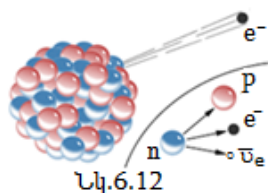
- Պոզիտրոնային β -տրոհում (β^+ -տրոհում, միջուկը արձակում է պոզիտրոն, Նկ.6.13).



կամ $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$:

- Էլեկտրոնային զավթում (e^- - զավթում).

Միջուկը աստմի որևէ էլեկտրոնային



թաղանթից (սովորաբար միջուկին մոտ գտնվող թաղանթից) կլանում է էլեկտրոն, որի հետևանքով միջուկի կարգաթիվը փոքրանում է մեկով.

$${}^A_ZX + e^- = {}^A_{Z-1}Y + \nu_e, \quad (6.2.11)$$

կամ

$$p + e^- = n + \nu_e:$$

Պարզ պատճառով այս պրոցեսն ուղեկցում է նաև ռենտգենյան բնութագրական ճառագայթումով:

• β -տրոհման դեպքում անջատված կինետիկ էներգիան.

ա) $\beta^\pm$ - տրոհում.

$$T_{\beta^\pm} = [M(A, Z) - M(A, Z \mp 1) - m_e]c^2: \quad (6.2.12)$$

$\beta^\pm$ -տրոհման պրոցեսում անջատված կինետիկ էներգիան կամայական կերպով է բաշխվում տրոհման արդյունքների միջև և այդ էներգիայի սպեկտրն անընդհատ է:

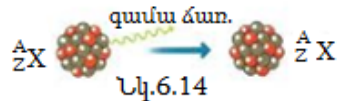
բ) e^- - զավթում.

$$T_e = [M(A, Z) - M(A, Z - 1) + m_e]c^2: \quad (6.2.13)$$

e^- -զավթման կինետիկ էներգիայի սպեկտրը դիսկրետ է:

4. Միջուկների գամա -ճառագայթում

γ -ճառագայթումը էլեկտրամագնիսական ճառագայթում է, որն առաջանում է, երբ միջուկը գրգռված վիճակից անցնում է ավելի ցածր էներգիայով վիճակի: γ -ճառագայթումն ինքնակամ պրոցես է, որի դեպքում պրոտոնների և նեյտրոնների թիվը միջուկում չի փոխվում, սակայն արձակվում է γ -քվանտներ (Նկ.6.14): Այդ γ -քվանտների էներգիաների սպեկտրը դիսկրետ է, և ընկած է 10 կէՎ-ից 5 ՄէՎ միջակայքում ($10^{-8} \geq \lambda \geq 2 \times 10^{-11}$ սմ):



γ -ճառագայթումը մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությամբ պայմանավորված պրոցես է:

5. Մյուսբաուերի էֆեկտը

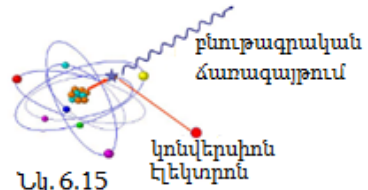
Երբ ազատ միջուկը արձակում կամ կլանում է γ -մասնիկ, ապա հետհարվածի իմպուլսի հետևանքով γ -մասնիկի էներգիան հավասար չէ միջուկի ներքին էներգիայի փոփոխությանը:

Մյուսբաուերի երևույթի էությունը կայանում է նրանում, որ բյուրեղային պինդ մարմինների միջուկների կողմից γ -մասնիկների ար-

ձակումը և կլանումը տեղի ունի միջուկի ետհարվածի իմպուլսի բացակայությամբ:

6. Էլեկտրոնների ներքին կոնվերսիա (փոխարկում)

Գրգռված միջուկը կարող է անցնել հիմնական վիճակի ոչ միայն γ -քվանտ արձակելու հետևանքով, այլ գրգռման էներգիան ատոմի K, L, M - և այլն թաղանթի որևէ էլեկտրոնին փոխանցելով: Դրա արդյունքում էլեկտրոնը պոկվում է համապատասխան էներգիական մակարդակից և ատոմը արձակում է էլեկտրոն (Նկ.6.15): Այս երևույթը կոչվում է էլեկտրոնների ներքին կոնվերսիա (փոխարկում):



Նկ.6.15

Պարզ պատճառով, այս պրոցեսն ուղեկցում է ռենտգենյան բնութագրական ճառագայթումով:

- Կոնվերսիոն էլեկտրոնի էներգիան.

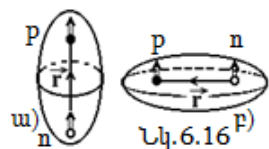
$$T_e = E - \varepsilon_{կապ}, \quad (6.2.14)$$

որտեղ E -ն միջուկի գրգռման էներգիան է, իսկ $\varepsilon_{կապ}$ - ն՝ ատոմի էլեկտրոնային թաղանթում էլեկտրոնի կապի էներգիան: Եթե միջուկի E գրգռման էներգիան գերազանցում է էլեկտրոնի հանգստի էներգիայի կրկնապատիկը՝ $E > 2mc^2 = 1,02\text{ՄէՎ}$, ապա կարող է արձակվել էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգ:

7. Միջուկային (նուկլոն-նուկլոնային) ուժերի հիմնական հատկությունները

- Միջուկային ուժերը ձգողական ուժեր են:
- Միջուկային ուժերը կարճ ազդեցության ուժեր են (նուկլոն-նուկլոնային ուժերի գործողության շառավիղը՝ $r_{NN} \approx 10^{-13}\text{մ} = 1\text{Ֆմ}$):
- Միջուկային ուժերն օժտված են հագեցման հատկությամբ:
- Միջուկային ուժերը կախված են նուկլոնների սպինից:
- Միջուկային ուժերը ոչ կենտրոնական ուժեր են:
- Միջուկային ուժերը լիցքային անկախ ուժեր են:
- Միջուկային ուժերն ունեն սպին-ուղեծրային փոխազդեցության անդամ:

Օրինակ, երբ նեյտրոնի և պրոտոնի սպիններն ունեն Նկ.6.16ա դասավորու-

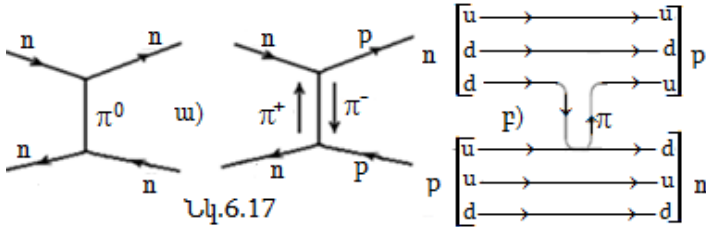


Նկ.6.16

թյունը, ապա դրանք իրար ձգում են և ստեղծում դեյտրոնի՝ ${}^2H$ միջուկը, իսկ Նկ. 6.16բ-ի դեպքում այդ մասնիկներն իրար վանում են:

• **Միջուկային ուժերն ունեն փոխանակային բնույթ:**

Միջուկային ուժերի կրողներն են՝ π^+ , π^- և π^0 մեզոնները (Նկ. 6.17ա): Նկ.6.17բ-ում բերված է նաև որ փոխազդեցությունը քվարկ-ների մակարդակով:

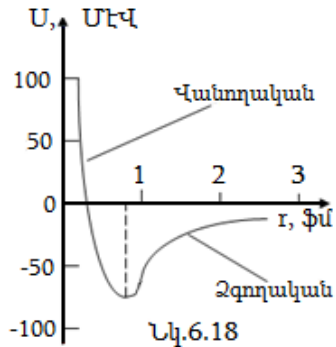


• **Նուկլոնի դաշտի պոտենցիալը (Յուկավայի պոտենցիալը):**

$$U(r) = -q_N \frac{e^{-r/a}}{r}, \quad (6.2.15)$$

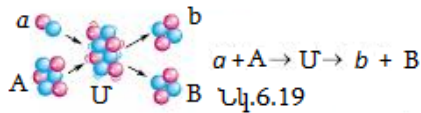
որտեղ $\frac{q_N^2}{hc} = \alpha_U \approx 1$, միջուկային փոխազդեցության հաստատունն է, a -ն՝ այդ ուժերի գործողության շառավիղը: Զգալիորեն փոքր հեռավորությունների դեպքում միջուկային ուժերը դառնում են վանողական, և փոխվում են փոխազդեցության կրողները:

$r_{NN} \approx 0,36$ ֆմ դեպքում փոխազդեցության կրողները դառնում են η -մեզոնները, իսկ $r_{NN} \approx 0,25$ ֆմ դեպքում՝ ρ և ω -մեզոնները: Երկու նուկլոնի փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիայի կախումը նրանց միջև եղած հեռավորությունից ունի Նկ.6.18-ի մոտավոր տեսքը:



8. Միջուկային ռեակցիաներ

Տարրական մասնիկների կամայական բախում միջուկի հետ, կամ երկու միջուկների բախմանն անվանում են միջուկային ռեակցիա (Նկ.6.19):



• Միջուկային ռեակցիաների զրառման առավելապես օգտագործվող ձևերը.

$$a + A \rightarrow b + B \quad \text{կամ} \quad A(a, b)B, \quad (6.2.16)$$

որտեղ ռեակցիայի աջ մասում ստացված մասնիկներին անվանում են ռեակցիայի արդյունքներ: Օրինակ.

$$p + {}^{17}_8\text{O} \rightarrow n + {}^{17}_9\text{F} \quad \text{կամ} \quad {}^{17}_8\text{O}(p, n){}^{17}_9\text{F} :$$

• $A + B \rightarrow C + D + \dots$ միջուկային ռեակցիայի էներգիան.

$$Q = (m_A + m_B)c^2 - (m_C + m_D + \dots)c^2: \quad (6.2.17)$$

Եթե ռեակցիային մասնակցող մասնիկները տարրական չեն, ապա $|Q|$ –ն ներկայացնում է ռեակցիայից առաջ և ռեակցիայից հետո մասնիկների կապի էներգիաների տարբերությունը:

• **Էներգիայի սլահայանման օրենքը** $A + B \rightarrow C + D + \dots$

միջուկային ռեակցիայում.

$$(T_A + T_B) + (m_A + m_B)c^2 = (T_C + T_D + \dots) + (m_C + m_D + \dots)c^2,$$

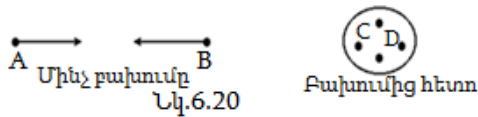
$$\text{կամ} \quad T_A + T_B = (T_C + T_D + \dots) - Q: \quad (6.2.18)$$

Երբ $Q > 0$ (էներգիայի անջատում, էքզոթերմիկական ռեակցիա), ապա ռեակցիան ընթանում է $T_A + T_B \geq 0$ կամայական արժեքի համար: Երբ $Q < 0$ (էներգիայի կլանում, էնդոթերմիկական ռեակցիա), ապա ռեակցիան կարող է ընթանալ, եթե $T_A + T_B \geq -Q = |Q|$, այսինքն, երբ $T_A + T_B$ կգերազանցնի վերջնական և սկզբնական մասնիկների հանգստի էներգիաների տարբերությանը: Այս դեպքում միջուկային ռեակցիան օժտված է շեմքով, որի դեպքում տվյալ ռեակցիան սկսում է ընթանալ:

• $A + B \rightarrow C + D + \dots$ **միջուկային ռեակցիայի շեմային էներգիան զանգվածների կենտրոնի հետ ամրացված համակարգում (ԶԿԶ).**

$$E_{\min} = (T_A + T_B)_{\min} = \geq -Q = |Q|: \quad (6.2.19)$$

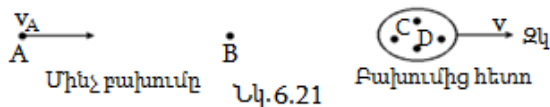
Զանգվածների կենտրոնի հետ ամրացված համակարգում $\vec{p}_C + \vec{p}_D + \dots = 0$, $T_C + T_D + \dots = 0$, և այս համակարգում շեմային էներգիան ամենափոքրն է: Այս համակարգում մասնիկների զանգվածների կենտրոնը դադարի վիճակում է, և այս դեպքում դադարի վիճակում կարող են գտնվել ռեակցիայից ստացված բոլոր մասնիկները (Նկ.6.20):



- $A + B \rightarrow C + D + \dots$ միջուկային ռեակցիայի շեմային էներգիան հաշվարկման լաբորատոր համակարգում (Հ Լ, Հ).

$$E_{min} = (T_A + T_B)_{min} = |Q| \left(1 + \frac{m_A}{m_B} + \frac{|Q|}{2m_B c^2} \right); \quad (6.2.20)$$

Հաշվարկման լաբորատոր համակարգում թիրախը (B մասնիկը) անշարժ է, իսկ ռեակցիայի արդյունքների զանգվածների կենտրոնը շարժվում է (Նկ.6.21) և արդեն $T_C + T_D + \dots \neq 0$, այսինքն, սկզբնական կինետիկ էներգիայի մի մասն անօգտակար կերպով ծախսվում է զանգվածների կենտրոնի շարժման վրա, և դրա հետևանքով շեմային էներգիան աճում է: Այս դեպքում ռեակցիայի շեմային էներգիան հավասար է A մասնիկի T_A կինետիկ էներգիայի այն արժեքին, որի դեպքում ռեակցիայից ստացված մասնիկները միմյանց նկատմամբ անշարժ են: (6.2.20)-ում երկրորդ և երրորդ անդամները հանդիսանում են ռեակցիայի արդյունքների զանգվածների կենտրոնի կինետիկ էներգիան, ընդ որում երրորդ անդամը պայմանավորված է ռելյատիվիստական երևույթով և փոքր արագությունների դեպքում այն անտեսվում է:



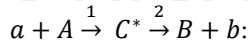
- $A + B \rightarrow C + D + \dots$ միջուկային ռեակցիայի շեմային էներգիան հաշվարկման լաբորատոր համակարգում, երբ ռեակցիային մասնակից բոլոր մասնիկները հանդիսանում են ոչ ռելյատիվիստական ($|Q| \ll 2m_B c^2$).

$$(T_A)_{min} = |Q| \left(1 + \frac{m_A}{m_B} \right); \quad (6.2.21)$$

- Միջուկային ռեակցիաները, ըստ նրանց ընթանալու տևողության, բաժանվում են երկու խմբի.

ա) Եթե ռեակցիայի t ժամանակը միջուկային ժամանակի կարգի մեծություն է՝ $t \approx 10^{-22}$ վ, ապա դա ուղիղ ռեակցիա է (ռեակցիայի ժամանակը նվազագույն է):

բ) Եթե ռեակցիայի t ժամանակը շատ մեծ է միջուկային ժամանակից՝ $t \gg 10^{-22}$ վ, ապա ռեակցիան ընթանում է երկու փուլով՝ C^* միջանկյալ (կամ բաղադրյալ) միջուկի շնորհիվ՝



• C^* միջանկյալ միջուկի գրգռման E^* էներգիան.

$$E^* = B_a + T_a \frac{m_A}{m_a + m_A}, \quad (6.2.23)$$

որտեղ m_a -ն և T_a -ն a մասնիկի (արկի) զանգվածը և կինետիկ էներգիան են, իսկ m_A -ն՝ թիրախի զանգվածը: B_a -ն՝ C^* միջանկյալ միջուկից a մասնիկի անջատման էներգիան է:

• Նեյտրոնի միջոցով միջանկյալ միջուկի կազմավորման կտրվածքը $n + A \xrightarrow{1} C^* \xrightarrow{2} B + b$ ռեակցիայում.

ա) միջանկյալ միջուկի էներգիայի սպեկտրը անընդհատ է.

$$\sigma_{nc} \approx \pi(R + \lambda_{\gamma_F})^2, \quad (6.2.24)$$

որտեղ λ_{γ_F} -ն նեյտրոնի դեբրոյլյան ալիքի երկարությունն է, R -ը՝ միջուկի շառավիղը:

Մեծ էներգիայով նեյտրոնների դեպքում $\sigma_{nc} \approx \pi R^2$:

Փոքր էներգիայով նեյտրոնների դեպքում $\sigma_{nc} \sim 1/v$:

բ) միջանկյալ միջուկի էներգիայի սպեկտրը դիսկրետ է (E_i): Այս դեպքում E_i -ի մոտակայքում ռեակցիայի կտրվածքն ունի բրեյտ-վիգներյան տեսք.

$$\sigma_{nc} = \pi \lambda_{\gamma_F}^2 \frac{\Gamma_n \Gamma_b}{(E^* - E_i) + \Gamma^2/4}, \quad (6.2.25)$$

որտեղ $\Gamma/\hbar$ -ը միջանկյալ միջուկի միավոր ժամանակում բոլոր հնարավոր կանալներով տրոհման հավանականությունն է, $\Gamma_b/\hbar$ -ը միջանկյալ միջուկի կողմից b մասնիկ արձակելու հավանականությունն է միավոր ժամանակում, $\Gamma_n/\hbar$ -ը նեյտրոնի առաձգական ցրման հավանականությունն է միավոր ժամանակում: Երբ միջանկյալ միջուկի E^* գրգռման էներգիան փոքր է նրա E_1 առաջին էներգետիկ մակարդակից, ապա նեյտրոնների փոքր v արագությունների դեպքում $\sigma_{nc} \sim 1/v$:

9. Ծանր միջուկների բաժանումը

Միջուկների բաժանում կոչվում է դրանց տրոհումն երկու իրար մոտ զանգվածներով բեկորների: Բաժանումը կարող է լինել ինքնա-

կամ (սպոնտան) կամ ստիպողական (երբ բաժանումը իրականանում է այլ մասնիկի հետ միջուկի փոխազդեցությամբ):

• **Բաժանման պարամետրը.**

$$\eta = Z^2/A: \quad (6.2.26)$$

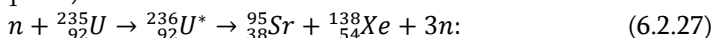
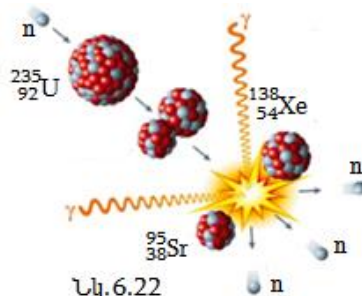
Էներգետիկ տեսակետից բաժանումը ձեռնտու է այն միջուկների համար, որոնց մոտ $\frac{Z^2}{A} > 17$:

• **Միջուկների ինքնակամ բաժանումը.**

Այն միջուկները, որոնց մոտ $Z^2/A \approx 50$ ինքնակամ կերպով տրոհվում են:

• **Միջուկների ստիպողական բաժանումը.**

Ծանր միջուկների ստիպողական բաժանումը հեշտ իրականանում է դրանց նեյտրոնով հարվածելով: Օրինակ. ${}^{235}_{92}\text{U}$ միջուկը կլանելով մեկ նեյտրոն, դառնում է անկայուն միջանկյալ միջուկ, որը միջուկային ուժերի շնորհիվ տրոհվում է երկու բեկորի (Նկ.6.22).



• ${}^{235}_{92}\text{U}$ **միջուկի բաժանման արդյունքների էներգիաները.**

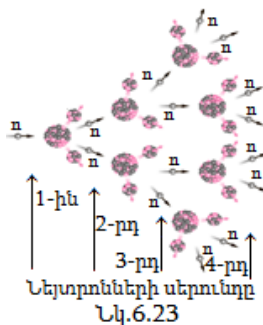
Բեկորների էներգիան՝ $\sim 165\text{ՄէՎ}$, արագ նեյտրոնների էներգիան՝ $\sim 4,9\text{ՄէՎ}$, ակնթարթային γ -մասնիկների էներգիան՝ $\sim 7,8\text{ՄէՎ}$, β -մասնիկների էներգիան՝ $\sim 7,2\text{ՄէՎ}$ և մոտ 11ՄէՎ էներգիա էլ տանում է հսկանեյտրինոն, որն առաջանում է β^- -տրոհման ժամանակ:

10. Շղթայական ռեակցիա

• Շղթայական ռեակցիայում նեյտրոնների բազմացման աստիճանը բնութագրում են բազմացման գործակցով, դա հավասար է տվյալ սերնդում առկա նեյտրոնների թվի հարաբերությունը նախորդ սերնդի նեյտրոնների թվին՝

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}: \quad (6.2.28)$$

• Եթե շղթայական ռեակցիայի առաջին

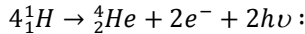


սերնդում նեյտրոնների թիվը եղել է N_1 , ապա n -րդ սերնդում նեյտրոնների թիվը կլինի՝ $N_n = N_1 k^{n-1}$:

• Եթե շղթայական ռեակցիայում նեյտրոնների բազմացման գործակիցը հավասար է մեկի՝ $k = 1$, ապա միջուկային ռեակցիան ընթանում է ստացիոնար ռեժիմում: Երբ $k > 1$, ապա ռեակցիայի ինտենսիվությունն աճում է (ռումբի պայթյուն), $k < 1$ դեպքում՝ ռեակցիան մարում է (Նկ. 6.23-ում $k = 2$):

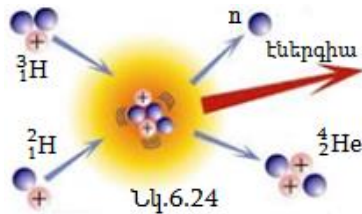
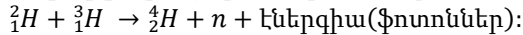
• **Միներգման ռեակցիա.**

Միներգման ռեակցիայի դեպքում թեթև միջուկները միանալով ստեղծում են ծանր միջուկներ, և անջատվում է էներգիա: Օրինակ՝ Արեգակում ջրածնի միջուկները միանալով ստեղծում են հելիումի միջուկներ.



Անջատված էներգիան 28ՄԷՎ է, իսկ անջատված ֆոտոններով պայմանավորված է Արեգակի լուսարձակումը:

Նկ.6.24-ում ջրածնի ծանր և գերծանր իզոտոպների միացումից առաջանում է հելիումի միջուկ, նեյտրոն և ֆոտոններ



ԳԼՈՒԽ 7. ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

§1. ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Հիմնական հասկացություններ և բանաձևեր

1. Տարրական մասնիկների դասակարգումը և հատկությունները

Այն մասնիկները, որոնք չունեն կառուցվածք կամ որոնց հնարավոր չէ բաժանել իր կազմության մեջ մտնող բաղկացուցիչ մասերի, կոչվում են տարրական մասնիկներ: Ներկայումս հայտնի տարրական մասնիկների թիվը (իրենց հակամասնիկների հետ միասին) կազմում է մոտ 500:

• Բոզոններ.

Զրոյական կամ ամբողջ թվով սպինով (արտահայտված է միավորներով) օժտված մասնիկներին անվանում են բոզոններ: γ - մասնիկը, գլուոնը՝ g , հակագլուոնը՝ $\bar{g}$, W^- - բոզոնը, որի հակամասնիկն է W^+ -բոզոնը, Z -բոզոնը (որն համընկնում է իր հակամասնիկի հետ) հանդիսանում են հիմնարար բոզոններ: Այս մասնիկների սպինը հավասար է մեկի: Բոզոն է հանդիսանում նաև հիպոթեզային (ենթադրական) գրավիտոնը (սպինը՝ 2) մեզոնները, մեզոնային ռեզոնանսներն ու դրանց հակամասնիկները:

Հիգսի H^0 - բոզոնը (Հիգսոն): Այս բոզոնը հայտնաբերվել է 2012թ: Այս մասնիկը չունի սպին, չունի էլեկտրական լիցք, չունի գունային լիցք: Զանգվածը՝ 125-126ԳէՎ, կյանքի տևողությունն ըստ Ստանդարտ մոդելի՝ $1,56 \cdot 10^{-22}$ վ, իսկ փորձով գնահատածը $\geq 10^{-24}$ վ:

Ըստ Ստանդարտ մոդելի, այս մասնիկի գոյությամբ է պայմանավորված տարրական մասնիկների իներտության զանգվածը:

Տարրական մասնիկների ֆիզիկայի Ստանդարտ մոդելը տեսություն է տարրական մասնիկների հատկություններն ու փոխազդեցությունները նկարագրելու համար: Ստանդարտ մոդելով կանխատեսված բոլոր մասնիկները, բացառությամբ հիպոթեզային մասնիկների, փորձնականորեն հայտնաբերված են: Այս մոդելը նկարագրում է թվով 61 մասնիկ:

• Ֆերմիոններ.

Կիսամամբողջ սպինով օժտված մասնիկներին և քվադրմասնիկներին անվանում են ֆերմիոններ: Ֆերմիոններ են հանդիսանում՝

լեպտոնները (սպինը՝ $1/2$), բոլոր բարիոններն ու բարիոնային ռեզոնանսները, քվարկները և բերված բոլոր մասնիկների հակամասնիկները:

• **Կետային (կառուցվածք չունեցող) Ֆերմիոններ (Աղյուսակ 1 և 2).**

ա) Վեց լեպտոն՝ էլեկտրոն (e), մյուոն (μ), տաուոն (τ), էլեկտրոնային նեյտրինո (ν_e), մյուոնային նեյտրինո (ν_μ), տաուոնային նեյտրինո (ν_τ): Լեպտոններին վերագրվում է լեպտոնային լիցք՝ $L = +1$ (լեպտոնային քվանտային թիվ): Դրանց հակամասնիկների համար՝ $L = -1$: Կա երեք տեսակի լեպտոնային լիցք՝ էլեկտրոնային L_e (e և ν_e համար), մյուոնային L_μ (μ և ν_μ համար), տաուոնային L_τ (τ և ν_τ համար):

բ) Վեց քվարկ՝ d (down), u (up), s (strangeness), c (charm), b (bottom, beauty), t (top, truth): Բոլոր քվարկների ներքին զույգությունը $+1$ է, հետևաբար քվարկի վիճակը կլինի $(1/2)^+$, իսկ բարիոնային լիցքը՝ $B = 1/3$: Կառուցվածք չունեցող մասնիկների չափսերը համարվում է 10^{-17} սմ- ից փոքր:

		Աղյուսակ 1			
Մերումը		1-ին	2-րդ	3-րդ	Լիցքը Q
քվարկներ	վերին	u	c	t	$+2/3e$
	ներքին	d	s	b	$-1/3e$
լեպտոններ	նեյտրինո	ν_e	ν_μ	ν_τ	0
	լիցքավորված	e	μ	τ	-1

• **Կայուն տարրական մասնիկներ.**

Կայուն համարվում են այն մասնիկները, որոնց կյանքի տևողությունը մեծ է 10^{23} տարուց: Կայուն մասնիկ են հանդիսանում պրոտոնը, էլեկտրոնը, γ -մասնիկը, նեյտրինոն և դրանց հակամասնիկները:

• **Քվադրկայուն մասնիկներ.**

Այն մասնիկները, որոնց կյանքի տևողությունը գերազանցում է 10^{-20} վ-ը, կոչվում են քվադրկայուն մասնիկներ: Այս մասնիկների

տրոհումը տեղի ունի էլեկտրամագնիսական կամ թույլ փոխազդեցության ուժերի շնորհիվ:

Քվարկների բնութագրերը

Աղյուսակ 2

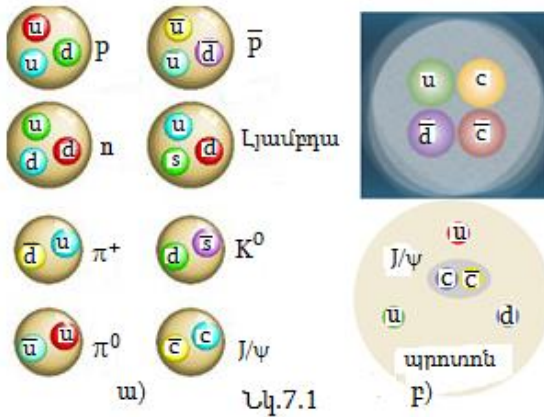
Բնութագրեր		Քվարկների տեսակը					
		d	u	s	c	b	t
Էլեկտրական լիցք	Q	-e/3	+2e/3	-e/3	+2e/3	-e/3	+2e/3
Իզոսպին	I	1/2	1/2	0	0	0	0
Իզոսպինի պր.	I ₃	-1/2	+1/2	0	0	0	0
Տարօրինակություն	S	0	0	-1	0	0	0
Charm	C	0	0	0	+1	0	0
Bottom	B	0	0	0	0	-1	0
Top	T	0	0	0	0	0	+1
Չանգվածը(mc ²)		3-9	1,5-5	60-170	1,1-1,4	4,1-4,4	175±5
		ՄԷՎ	ՄԷՎ	ՄԷՎ	ԳԷՎ	ԳԷՎ	ԳԷՎ

• Հաղորդներ.

Այն տարրական մասնիկները, որոնք կազմված են 2 կամ 3 քվարկից, կոչվում են հաղորդներ (Նկ.7.1ա):

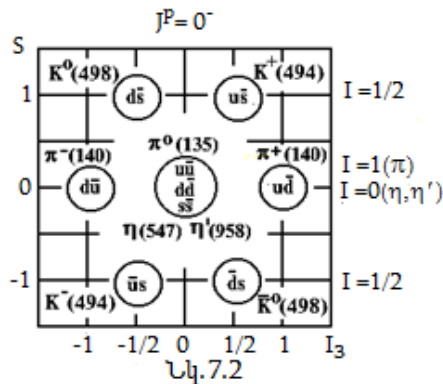
Հայտնի տարրական մասնիկների գերակշիռ մասը հաղորդներ են (դրանց թիվը մոտ 450 է): Հաղորդների չափսերը $\approx 10^{-13}$ սմ է: 2014թ. հայտնաբերվել է երկու քվարկից և երկու հակաքվարկից մասնիկ՝ $Z(u\bar{d}c\bar{c})$ և $Z(\bar{u}d\bar{c}c)$, որոնց զանգվածը հավասար է 4430ՄԷՎ (Նկ.7.1բ): Չորս քվարկից կազմված մասնիկներին անվանել են տետրաքվարկ: Սրանց բարիոնային լիցքը հավասար է զրոյի, այսինքն տետրաքվարկները մեզոն են: Տետրաքվարկների սպին կարող լինել 0 կամ $\hbar$ -ի ամբողջապատիկ, այսինքն Բոզե մասնիկ են: 2015թ. հայտնաբերվել է հինգքվարկի նույն կառուցվածքով, տարբեր զանգվածով ու սպինով երկու մասնիկ՝ $P_c(uud\bar{c}\bar{c})$: Դրոնցից մեկի զանգվածը 4450ՄԷՎ, իսկ սպինը՝ 5/2: Մյուսի զանգվածը՝ 4380ՄԷՎ, սպինը՝ 3/2: Այս մասնիկներին անվանել են պենտաքվարկ: Սրանց բարիոնային լիցքը հավասար է մեկի, այսինքն պենտաքվարկները Բարիոն են և հանդիսանում են ֆերմի մասնիկներ: $P_c(uud\bar{c}\bar{c})$ պենտաքվարկը

հիշեցնում է ատոմի, որի միջուկը հանդիսանում է ծանր $J/\psi(c\bar{c})$ մեզոնը, իսկ դրա շուրջը պտտվում է $p(uud)$ պրոտոնը (Նկ.7.1 բ):



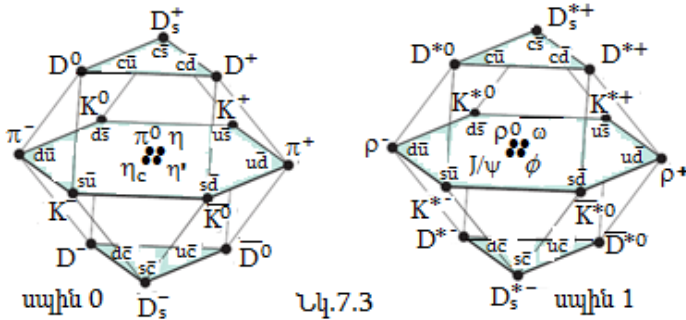
• Մեզոններ.

Երկու քվարկից (քվարկից և հակաքվարկից) կազմված հաղորնների անվանում են մեզոններ: Մեզոնների բարիոնային լիցքը՝ $B = 0$: Մեզոնների սպինը հավասար է զրոյի, քանի որ քվարկի և հակաքվարկի սպինները մեզոններում ունեն հակառակ ուղղություններ: Մեզոնների տարածական գույգությունը հիմնական վիճակում բա-

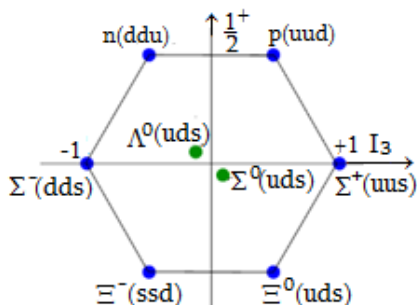


ցասական է՝ $P = -1$: Նկ.7.2-ում բերված են թեթև մեզոնների իննյակի քվարկային կառուցվածքը և մյուս բնութագրերը: Այդ մասնիկներն (տարօրինակություն, իզոսպինի պրոյեկցիա) հարթության վրա ունեն համաչափ դասավորություն:

Նկ.7.3ա-ում բերված է առաջին չորս քվարկից կազմված 0 սպինով (քվարկների սպիններն ունեն հակառակ ուղղություն) և 1 սպինով (քվարկների սպիններն ունեն նույն ուղղություն) օժտված մեզոնների դասավորվածության սխեմաները:

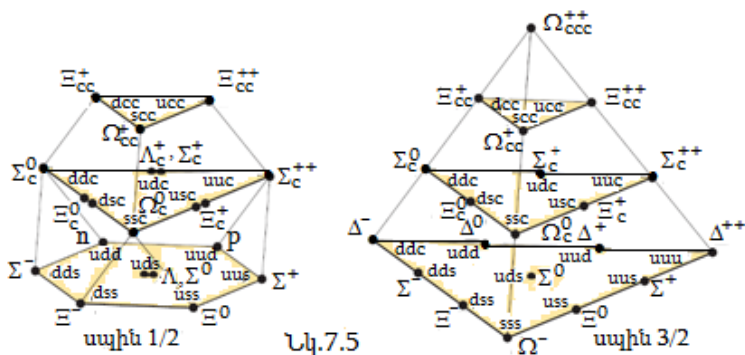


• **Բարիոններ.** Երեք քվարկից կազմված հադրոններին անվանում են բարիոն: Այդ մասնիկներին վերագրվում $B = +1$ բարիոնային լիցք (բարիոնային քվանտային թիվ): Դրանց հակամասնիկների համար՝ $B = -1$: Բոլոր քվարկների բարիոնային լիցքը՝ $B = +1/3$ (հակաքվարկների համար $B = -1/3$): Օրինակ. պրոտոնը կազմված է երկու u - և մեկ d - քվարկներից՝ $p = p(uud) = p(\uparrow \uparrow \downarrow)$: Նեյտրոնը կազմված է երկու d - և մեկ u - քվարկներից՝ $n = n(udd) = n(\uparrow \downarrow \downarrow)$: Սլաքները քվարկների սպինների ուղղություններն են: Հիմնական վիճակում գտնվող բարիոնների տարածական զույգությունը դրական է՝ $P = +1$: Նկ.7.4-ում (Հիպերլիցք, Իզոսպինի պրոյեկցիա) հարթության վրա բերված է թեթև բարիոնների ութնյակի համաչափ դասավորվածությունը: Դրանք բոլորն ունեն դրական տարածական զույգություն և $1/2$ սպին:



Նկ.7.4

Բարիոն են համարվում նաև մեծ թվով հիպերոններ, որոնք ծանր ու անկայուն մասնիկներ են: Նկ.7.5-ում բերված է առաջին չորս քվարկից կազմված $1/2$ սպինով և $3/2$ սպինով (քվարկների սպիններն ունեն նույն ուղղություն) օժտված բարիոնների դասասավորվածության սխեմաները:

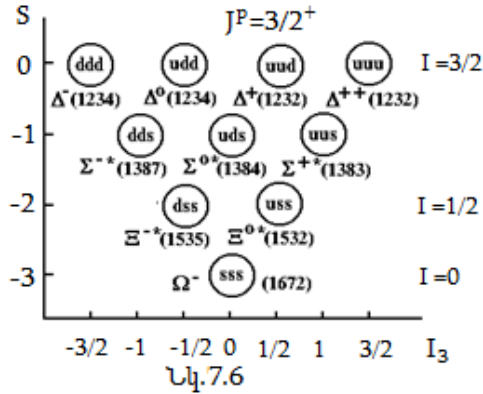


Նկ.7.5

• Ռեզոնանսներ.

Այն անկայուն մասնիկները, որոնք ուժեղ փոխազդեցության արդյունքում տրոհվում են 10^{-23} վ-ի ընթացքում, կոչվում են ռեզոնանսներ: Ռեզոնանսները հանդիսանում են բարիոնների գրգռված վիճակները: Օրինակ. Նեյտրոնի գրգռված վիճակը հանդիսանում է Δ^0 - ռեզոնանսը՝ $\Delta^0 = n^*(udd) = n^*(\uparrow\uparrow\uparrow)$: Պրոտոնի գրգռված վիճակը՝ Δ^+ - ռեզոնանսը ($\Delta^+ = p^*(uud) = p^*(\uparrow\uparrow\uparrow)$): Նուկլոնի ներսում մեկ քվարկի սպինը շրջվում է, և երեքն էլ ունենում են նույն ուղղությունը, ուստի

ռեզոնանսների սպինը հավասար է $3/2$: Ռեզոնանսների տարածական զույգությունը դրական է՝ $P = +1$: Նկ.7.6-ում (Տարօրինակություն, Իզոսպինի պրոյեկցիա) հարթության վրա բերված է թեթև ռեզոնանսների տասնյակի համաչափ դասավորվածությունը:



• Հակամասնիկներ.

Հակամասնիկներն իրենց մասնիկներից տարբերվում են ադետիվ քվանտային թվերի (լիցքերի) նշանով, իսկ զանգվածը, իմպուլսը և սպինը՝ նույնն են:

2.Ֆոտոնների դասակարգումը

• Ֆոտոնի լրիվ մեխանիկական մոմենտը.

Ֆոտոնի J_γ լրիվ մեխանիկական մոմենտը ընդունում է ամբողջ արժեքներ, սկսած մեկից՝ $J_\gamma = 1$ (դիպոլային), $J_\gamma = 2$ (քվադրուպոլային), $J_\gamma = 3$ (օկտուպոլային), ...:

Ֆոտոնի J_γ լրիվ մեխանիկական մոմենտի փոքրագույն արժեքը համարվում է ֆոտոնի սպինը՝ $(J_\gamma)_{min} = s_\gamma = 1$:

• Ֆոտոնի ուղեծրային մոմենտը.

$$L = J_\gamma \pm s_\gamma = J_\gamma \pm 1: \quad (7.1.1)$$

• Ֆոտոնի ներքին զույգությունը.

$$p = -1: \quad (7.1.2)$$

• **Ֆոտոնի լրիվ զույգությունը.**

$$P = p(-1)^L = (-1)^{L+1}; \quad (7.1.3)$$

• **Էլեկտրական Ֆոտոնների (EJ-ֆոտոններ) լրիվ զույգությունը.**

$$P = (-1)^{J_\gamma}; \quad (7.1.4)$$

Այս ֆոտոնները առաքվում են էլեկտրական դիպոլների կողմից և դրանց համար $L = J_\gamma \pm 1$: E1 ֆոտոնների (դրանց ճառագայթում է փոփոխական էլեկտրական դիպոլային մոմենտը) լրիվ զույգությունը բացասական է, E2 ֆոտոնների (դրանց ճառագայթում է փոփոխական էլեկտրական քվադրուպոլային մոմենտը) լրիվ զույգությունը դրական է:

• **Մագնիսական Ֆոտոնների (MJ-ֆոտոններ) լրիվ զույգությունը.**

$$P = (-1)^{J_\gamma+1}; \quad (7.1.5)$$

Այս ֆոտոնները առաքվում են մագնիսական դիպոլների կողմից և դրանց համար $L = J_\gamma$:

M1 ֆոտոնների (դրանց ճառագայթում է փոփոխական մագնիսական դիպոլային մոմենտը) լրիվ զույգությունը դրական է, M2 ֆոտոնների (դրանց ճառագայթում է փոփոխական մագնիսական քվադրուպոլային մոմենտը) լրիվ զույգությունը բացասական է:

§2. ՏԱՐԲԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

1. Տարրական մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը

Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցություն տեղի ունի էլեկտրական լիցքով օժտված բոլոր մասնիկների միջև:

ա) Փոխազդեցության հաստատունը՝ $\alpha_{\text{էմ}} \approx \frac{1}{137}$ (նուրբ կառուցվածքի հաստատունը):

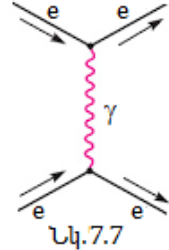
բ) Փոխազդեցության բնութագրական ժամանակը՝ $\tau_{\text{էմ}} \approx 10^{-18}$ վ:

գ) Էլեկտրամագնիսական ուժերի գործողության շառավիղը՝ $r_{\text{էմ}} \rightarrow \infty$:

• **Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության կրողները.**

Այս փոխազդեցության կրողները հանդիսանում են վիրտուալ γ – մասնիկները (ֆոտոնները, Նկ.7.7): Վիրտուալ կոչվում են այն մասնիկները, որոնց համար խախտված է իմպուլսի և էներգիայի ռելյատիվիստական առնչությունը՝ $E \neq \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$:

Վիրտուալ մասնիկների իմպուլսը կարող է ունենալ ինչպես շարժման ուղղությունը, այնպես էլ՝ շարժման հակառակ ուղղությունը: Նույն նշանի էլեկտրական լիցքերի միմյանց վանելը պայմանավորված է այնպիսի վիրտուալ ֆոտոնների փոխանակմամբ, որոնց իմպուլսն ունի շարժման ուղղությունը: Հակադիր նշանի լիցքերի միմյանց ձգելը պայմանավորված է այնպիսի վիրտուալ ֆոտոնների փոխանակմամբ, որոնց իմպուլսն ունի շարժման հակառակ ուղղությունը:



• **Պահպանման օրենքները մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության դեպքում.**

Մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության դեպքում տեղի ունեն ֆիզիկայի բոլոր պահպանման օրենքները: Կարող է չպահպանվել միայն համակարգի իզոսպինը, սակայն նրա I_3 պրոյեկցիան պահպանվում է:

2. Տարրական մասնիկների ուժեղ փոխազդեցությունը

Ուժեղ փոխազդեցություն տեղի ունի քվարկների (հադրոնների) միջև: Լեպտոններն ուժեղ փոխազդեցությանը չեն մասնակցում:

• **Ուժեղ փոխազդեցության բնութագրերը.**

ա) Փոխազդեցության հաստատունը՝ $\alpha_{nld} \approx 1$:

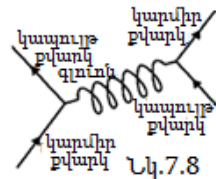
բ) Փոխազդեցության բնութագրական ժամանակը՝

$$\tau_{nld} \approx 10^{-21} \div 10^{-23} \text{վ:}$$

գ) Գործողության շառավիղը՝ $r_{nld} \approx 10^{-13}$ սմ:

• **Ուժեղ փոխազդեցության կրողները.**

Ուժեղ փոխազդեցության կրողները գլուոններն (g) են (Նկ.7.8): Կա գլուոնի ութ տարատեսակ: Գլուոնները բոլե մասնիկ են, չունեն հանգստի զանգված և



էլեկտրական լիցք, իսկ սպինը հավասար է մեկի: Գլուոնի ներքին զույգությունը բացասական է՝ $p = -1$:

• Քվարկների գույնը.

Որպեսզի քվարկների նկատմամբ պահպանվի Պաուլի սկզբունքը, դրանց վերագրվել է նոր քվանտային թիվ, որին պայմանականորեն անվանել են գույն: Տարբերում են երեք գույնի քվարկ՝ կարմիր - α , կանաչ- β և կապույտ- γ : Գույների անվանումները և նշանակումները պայմանական են:

Հակաքվարկներին վերագրվում է հակագույն՝ հակակարմիր ($\bar{\alpha}$, երկնագույն), հակականաչ ($\bar{\beta}$, մանուշակագույն), հակակապույտ ($\bar{\gamma}$, դեղին): Երեք տարբեր գույներից կամ հակագույներից կազմված քվարկային կառուցվածքը համարվում է բացարձակ անգույն, իսկ երկու քվարկների գույն-հակագույն հավասարաչափ խառնուրդին վերագրվում է թաքնված գույն: Երեք թաքնված գույների հավասարաչափ խառնուրդը համարվում է բացառակ անգույն:

Փորձով գրանցվում են միայն քվարկների բացարձակ անգույն կապված վիճակները:

Օրինակ. Δ^{++} -ռեզոնանսը ունի հետևյալ կառուցվածքը՝ $\Delta^{++} = u_{\alpha} u_{\beta} u_{\gamma}$:

Այս պնդումը համարվում է կանխադրույթ, և հենց այս կանխադրույթն էլ արգելում է առանձին քվարկի փորձնական գրանցումը, քանի որ այն ունի որոշակի գույն:

• Գլուոնների գույնը.

Գլուոններին ևս վերագրում են երեք գույն՝ կարմիր (α), կանաչ (β), կապույտ (γ) և երեք հակագույն, որոնց $\beta\bar{\alpha}$, $\gamma\bar{\alpha}$, $\gamma\bar{\beta}$, $\alpha\bar{\beta}$, $\alpha\bar{\gamma}$, $\beta\bar{\gamma}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha\bar{\alpha} - \beta\bar{\beta})$, $\frac{1}{\sqrt{6}}(\alpha\bar{\alpha} + \beta\bar{\beta} - 2\gamma\bar{\gamma})$ թվով ութ համակցություններն օժտված են գույնով: Սրանով է պայմանավորված գլուոնների տեսակների քանակը (որոնց թիվը ութ է), և որ ուժեղ փոխազդեցության անվանում են գույների փոխանակումով փոխազդեցություն: Գլուոնները կարծես թե հաղորդների ներսում քվարկներին իրար են սոսնձում:

• **Քվարկային քվանտային թվեր.**

s - քվարկին վերագրվում է S (strangeness-տարօրինակություն) քվանտային թիվը և $S = -1$: Մնացած քվարկների համար՝ $S = 0$:

c - քվարկին վերագրվում է C (charm-հմայք) քվանտային թիվը և $C = +1$: Մնացած քվարկների համար՝ $C = 0$:

b - քվարկին վերագրվում է B (bottom, beauty-գեղեցություն) քվանտային թիվը և $B = +1$: Մնացած քվարկների համար՝ $B = 0$, տես աղյուսակ 2: C , B և T քվարկային քվանտային թվերը կարող են ընդունել $-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ արժեքներ: Սակայն այսօրվա դրությամբ հայտնաբերված մասնիկների մոտ դրանք ունեն $-1, 0, 1$ արժեքներ:

S, C, B, T քվարկային քվանտային թվերը պահպանվում են ուժեղ և էլեկտրամագնիսական փոխազդեցություններում ու կարող են խախտվել թույլ փոխազդեցությունում:

• **Նականո, Նիշիջիմի և Գելլ-Մաննի բանաձևը.**

$$Q = I_3 + \frac{B+S+C+B}{2}, \quad (7.2.1)$$

որտեղ Q -ն մասնիկի էլեկտրական լիցքն է (արտահայտված e տարրական լիցքով), I_3 -ը՝ իզոսպինի պրոյեկցիան, B -ն՝ բարիոնային լիցքը, S -ը, C -ն և B -ն քվարկային քվանտային թվերն են: Օրինակ. պրոտոնի համար՝ $I_3 = 1/2$, $B = 1$, $S = C = B = 0$, $Q = +1$, և այս մեծությունները բավարարում են (7.2.1) առնչությանը:

• **Պահպանման օրենքները մասնիկների ուժեղ փոխազդեցության դեպքում.**

Մասնիկների ուժեղ փոխազդեցության դեպքում տեղի ունեն ֆիզիկայի բոլոր պահպանման օրենքները: Ուժեղ փոխազդեցությունում պահպանվում են նաև բարիոնային և լեպտոնային լիցքերը, զույգությունը, իզոսպինը, իզոսպինի պրոյեկցիաները, S, C և B քվարկային քվանտային թվերը:

3.Տարրական մասնիկների թույլ փոխազդեցությունը

Թույլ փոխազդեցությանը մասնակցում են լեպտոններն ու քվարկները (հաղորդները): Թույլ փոխազդեցությանը չի կարող մաս-

նակցել միայն ֆոտոնը: Թույլ տրոհումները ընթանում են այն դեպքում, երբ արգելված են ուժեղ և էլեկտրամագնիսական տրոհումները:

• **Թույլ փոխազդեցության բնութագրերը.**

ա) Փոխազդեցության հաստատունը՝ $\alpha_{թփ} \approx 10^{-6}$:

բ) Փոխազդեցության բնութագրական ժամանակը՝ $\tau_{թփ} \approx 10^{-10}$ վ:

գ) Թույլ փոխազդեցության ուժերի գործողության շառավիղը՝ $r_{թփ} \approx 10^{-16}$ սմ:

• **Թույլ փոխազդեցության կրողները.**

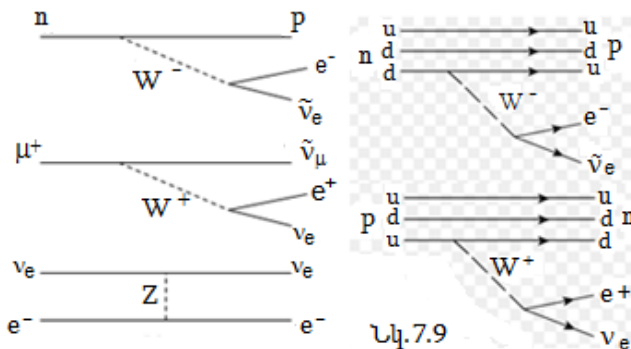
Թույլ փոխազդեցության դաշտի քվասոներն են $W^\pm$, Z -միջանկյալ բոզոնները: $W^\pm$ - բոզոնների զանգվածը հավասար է 80ԳէՎ, իսկ Z - բոզոնինը՝ 91 ԳէՎ: $W^\pm$, Z - բոզոններն ունեն $1\hbar$ սպին:

• Այն տրոհման պրոցեսը, որի արդյունքում կա նեյտրինո կամ հականեյտրինո, անպայման թույլ փոխազդեցության արդյունք է, քանի որ նեյտրինոն առաջանում է միայն թույլ դաշտի $W^\pm$, Z քվանտների տրոհման արդյունքում:

• **Թույլ տրոհումների տեսակները.**

ա) Լեպտոնային (առանց հաղրոնների, Նկ.7.9),

$$\text{օրինակներ՝ } \mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu, \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_\mu + \nu_e:$$



բ) Լեպտոն-հաղրոնային (կիսալեպտոնային),

օրինակներ՝ $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \bar{\nu}_\mu \end{pmatrix}$:

Հաղորդների լեպտոնային թույլ տրոհումը, որպես կանոն, դրանցում ծանր քվարկի տրոհումն է թեթև քվարկի (բացառությամբ

$u \rightarrow d + W^+$ տրոհման, Նկ.7.9)՝

$$d \rightarrow u + W^- \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e;$$

$$c \rightarrow s + W^+ \rightarrow s + e^+ + \nu_e;$$

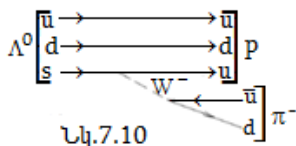
$$s \rightarrow u + W^- \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e;$$

$$b \rightarrow c + W^- \rightarrow c + e^- + \bar{\nu}_e:$$

գ) Հաղորդային (ոչլեպտոնային (Նկ. 7.10):

$$\text{Օրինակներ՝ } \Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-;$$

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-; \quad \Sigma^- \rightarrow n + \pi^-:$$



• **Թույլ ուժերի հետևանքով տեղի ունեցող տրոհումների դեպքում պարտադիր կերպով պահպանվում են լեպտոնային, էլեկտրական և բարիոնային լիցքերը, իսկ գույգույթունը, իզոսպինը, իզոսպինի պրոյեկցիան խախտվում են:**

• **Ջովյան կանոններ թույլ տրոհման ռեակցիաներում.**

ա) Լեպտոնային տրոհումներ.

Լեպտոնային թույլ տրոհումները թույլատրելի են, եթե միաժամանակ իրականանում են էլեկտրական և լեպտոնային լիցքերի պահպանման օրենքները՝ $\Delta Q = 0$; $\Delta L_e = 0$; $\Delta L_\mu = 0$; $\Delta L_\tau = 0$:

բ) Լեպտոն-հաղորդային տրոհումներ.

Եթե լեպտոն-հաղորդային տրոհումներում առկա է S (տարօրինակություն) քվանտային թիվը, ապա հնարավոր են այն պրոցեսները, որոնցում՝

1. հաղորդների էլեկտրական լիցքի փոփոխությունը հավասար է տարօրինակության փոփոխությանը՝ $\Delta Q = \Delta S$;
2. տարօրինակության փոփոխությունը՝ $\Delta S = \pm 1$ կամ $\Delta S = 0$:
3. իզոսպինի փոփոխությունը՝ $\Delta I = \pm 1/2$ ($|\Delta I_3| = 1/2$):

Եթե լեպտոն-հաղորդային տրոհումներում առկա են C (charm-հմայք), B (bottom-գեղեցքություն) քվանտային թվերով օժտված մասնիկներ, ապա հնարավոր են այն պրոցեսները, որոնցում՝

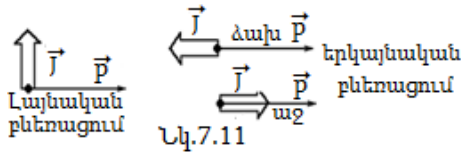
$$\Delta Q = \Delta C = \pm 1; \Delta Q = \Delta B = \pm 1:$$

գ) Հաղորանային տրոհումներ.

Այս տրոհումներում $\Delta Q = \Delta C = \Delta B = \Delta S$ պայմանը պարտադիր չէ, սակայն առկա քվարկային թվերը և իզոսպինը պարտադիր պետք է խախտվեն և $\Delta S = \pm 1; \Delta C = \pm 1; \Delta B = \pm 1$:

4. Մասնիկներ բևեռացումները

Եթե մասնիկի սպինը հավասար հավանականությամբ կարող է ընդունել տարբեր ուղղություններ, ապա ասում են, որ մասնիկի բևեռացումը հավասար է զրոյի: Եթե մասնիկի սպինն ունի խիստ որոշակի ուղղություն, ապա ասում են, որ դա ունի 100 տոկոսանոց բևեռացում, կամ բևեռացումը հավասար է մեկի: Եթե մասնիկի սպինն ուղղահայաց է իմպուլսին, ապա բևեռացումը կոչվում է լայնական: Եթե մասնիկի սպինը գտնվում է նույն գծի վրա ինչ որ իմպուլսը, ապա բևեռացումը կոչվում է երկայնական: Եթե սպինը հակառակ է ուղղված իմպուլսին, ապա բևեռացումը կոչվում է ձախ երկայնական, իսկ եթե սպինն ունի իմպուլսի ուղղությունը, ապա բևեռացումը կոչվում է աջ երկայնական (Նկ.7.11):



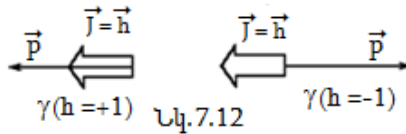
• Մասնիկի պարույրությունը.

Մասնիկի բևեռացման աստիճան բնութագրում են պարույրությունը՝

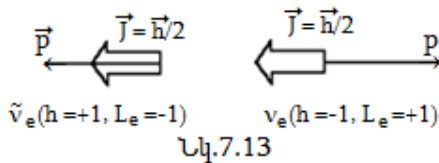
$$h = \frac{\vec{J} \cdot \vec{p}}{|\vec{J}| |\vec{p}|} = \cos \alpha, \quad (7.2.3)$$

որտեղ $\vec{J}$ -ն մասնիկի սպին է, $\vec{p}$ - ն՝ իմպուլսը, իսկ α -ն՝ դրանցով կազմած անկյունը: Աջ երկայնական բևեռացման համար $h = +1$, ձախ երկայնական բևեռացման համար $h = -1$:

Ֆոտոնը կարող է լինել և ձախ երկայնական բևեռացմամբ և աջ (Նկ.7.12):



Հականեյտրինոյի համար՝ $h = +1$, իսկ նեյտրինոյի համար՝ $h = -1$ (Նկ.5.13): Այս արժեքները համարվում են ապացույց այն բանի, որ թույլ փոխազդեցության դեպքում խախտվում է տարածական ինվերսիայի ինվարիանտությունը, կամ P զույգությունը:



• Թույլ պրոցեսներում բացասական լիցքով օժտված e^- , μ^- և τ^- լեպտոնները ծնվում են ձախ բևեռացումով, իսկ դրանց հակամասնիկները (e^+ , μ^+ , τ^+)՝ աջ բևեռացումով: Երկու դեպքում էլ բևեռացման աստիճանը հավասար է v/c , որտեղ v -ն մասնիկի արագությունն է: Թույլ փոխազդեցությունների դեպքում ուլտրառեյատիվիստական ֆերմիոնները, որոնք մասնակցում են հաղորդների էլեկտրական լիցքի փոփոխությամբ ընթացող թույլ պրոցեսներին, կարող են ունենալ -1 պարույրություն (մասնիկների համար) և $+1$ պարույրություն՝ հակամասնիկների համար:

• Եթե էլեկտրոնը (ֆերմիոնը) ծնվել է էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությամբ ընթացող պրոցեսում և ունի v արագություն, ապա դրա $\vec{s}$ սպինի և $\vec{p}$ իմպուլսի կազմած անկյան կոսինուսը հավասար հավանականությամբ կարող է ընդունել $+v/c$ և $-v/c$ արժեքները՝

$$\cos \alpha = \pm v/c: \quad (7.2.4)$$

5. Լիցքային համալուծություն: CP- ձևափոխություն:

CPT- ձևափոխություն:

- Լիցքային համալուծության $\hat{C}$ օպերատոր.

Լիցքային համալուծության $\hat{C}$ օպերատոր կոչվում է այն օպերատորը, որը մասնիկի բոլոր ադիտիվ քվանտային թվերի նշանները փոխում է հակառակ նշանի: Սակայն այդ ընթացքում մասնիկի զանգվածը, իմպուլսը և սպինը մնում են անփոփոխ: Փաստորեն, այդ օպերացիան մասնիկին փոխարինում է հակամասնիկի և հակառակը՝

$$\hat{C}|մասնիկ\rangle = |հակամասնիկ\rangle ; \hat{C}|հակամասնիկ\rangle = |մասնիկ\rangle :$$

Լիցքային համաչափությունը նշանակում է, որ եթե գոյություն ունի մասնիկների մասնակցությամբ ինչ որ պրոցես, ապա նույն հավանականությամբ տեղի կունենա նաև այնպիսի պրոցես, որտեղ մասնիկները փոխարինվում են հակամասնիկներով:

Սակայն լիցքային համալուծության $\hat{C}$ օպերատորը նեյտրինոյին չի փոխարինում հականեյտրինոյի, քանի որ դա չի փոխում պարույրությունը, իսկ նեյտրինոյի պարույրությունը -1 է, հականեյտրինոյինը՝ $+1$: Փաստորեն $\hat{C}$ օպերարացիայի արդյունքում դրանք փոխարինվում են մասնիկների, որոնք բնության մեջ գոյություն չունեն՝

$$\hat{C} \nu_e = \hat{C} |L_e = +1, h = -1\rangle = |L_e = -1, h = -1\rangle ;$$

$$\hat{C} \bar{\nu}_e = \hat{C} |L_e = -1, h = +1\rangle = |L_e = +1, h = +1\rangle :$$

Այս հանգամանքը ժխտեց լիցքային համաչափությունը:

Եթե նեյտրինոյի նկատմամբ իրականացվի $\hat{P}$ օպերացիա, ապա կփոխի միայն պարույրության նշանը և կստացվի մասնիկ, որը բնության մեջ գոյություն չունի՝

$$\hat{P} \nu_e = \hat{P} |L_e = +1, h = -1\rangle = |L_e = +1, h = +1\rangle :$$

Այժմ իրականացնելով $\hat{C}$ օպերարացիա, կստացվի հականեյտրինո:

Այսպիսով, թույլ փոխազդեցություններում միաժամանակ խախտվում են P և C -ինվարիանտությունները, իսկ CP -ձևափոխությունը նեյտրինոյին փոխարինում է հականեյտրինոյի՝

$$\hat{C} \hat{P} \nu_e = |L_e = -1, h = +1\rangle \equiv \bar{\nu}_e :$$

$$\hat{C} \hat{P} \bar{\nu}_e = |L_e = +1, h = -1\rangle \equiv \nu_e :$$

Սակայն CP -գույությունը թույլ պրոցեսներում միշտ չէ որ պահպանվում է:

• **T-ձևափոխություն.**

T-ձևափոխությունն անվանում են ժամանակի շրջման գործողությանը՝

$$t = -t, \text{ իսկ } \vec{r} = \vec{r}:$$

Այս ձևափոխությունը փոխում է մասնիկի իմպուլսի և իմպուլսի մոմենտի նշանները, սկզբնական շարժումը փոխարինելով հակառակի:

T-ինվարիանտության հետևանքներից մեկը կայանում է նրանում, որ $a + b \leftrightarrow c + d$ ռեակցիան ուղիղ և հակառակ ուղղությամբ ընթանում է միևնույն հավանականությամբ:

• *CPT* –թեորեմը՝ $\hat{C}\hat{P}$ և $\hat{T}$ երեք օպերացիանների արտադրյալը, անկախ դրանց ազդման հերթականությունից, կոմուտատիվ է ցանկացած համիլտոնյան օպերատորի հետ՝ $[\hat{C}\hat{P}\hat{T}, \hat{H}] = 0$: Սա նշանակում է, որ ցանկացած պրոցես ինվարիանտ է *CPT*-ձևափոխության նկատմամբ:

ՀԱՎԵԼՎԱԾ

Մաթեմատիկական որոշ առնչություններ

Օրթոգոնալ կոորդինատներ

Դեկարտյան կոորդինատներ ($x_1 = x$; $x_2 = y$; $x_3 = z$):

Երկարության տարրի քառակուսին՝ $dl^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$:

Ծավալի տարրը՝ $dV = dxdydz$:

Սկալյար $\varphi(x, y, z)$ ֆունկցիայի գրադիենտի բաղադրիչները՝

$$\text{grad}_x \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad \text{grad}_y \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad \text{grad}_z \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial z}:$$

$\vec{A}(x, y, z)$ վեկտորի ռոտորի բաղադրիչները՝

$$\text{rot}_x \vec{A} = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}; \quad \text{rot}_y \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}; \quad \text{rot}_z \vec{A} = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}:$$

$\vec{A}(x, y, z)$ վեկտորի դիվերգենցիան՝

$$\text{div} \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}:$$

Լապլասի օպերատորը՝ $\Delta = \vec{\nabla}^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, որտեղ

$$\vec{\nabla} = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z}:$$

$\vec{\nabla}$ - վեկտորական օպերատորի օգնությամբ կունենանք՝

$$\text{grad} \varphi = \vec{\nabla} \varphi; \quad \text{div} \vec{A} = \vec{\nabla} \cdot \vec{A}; \quad \text{rot} \vec{A} = \vec{\nabla} \times \vec{A}:$$

Վեկտորական հանրահաշվի մի քանի բանաձևեր

$$1. \vec{A}(\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{C}(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B}(\vec{C} \times \vec{A}):$$

$$2. \vec{A} \times (\vec{B} \times \vec{C}) = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B}):$$

$$3. \text{rot grad} \varphi \equiv 0; \quad \text{div rot} \vec{A} \equiv 0; \quad \text{div grad} \varphi \equiv \nabla^2 \varphi = \Delta \varphi:$$

$$4. \text{grad}(U \cdot V) = U \text{grad} V + V \text{grad} U:$$

$$5. \text{div}(\varphi \vec{A}) = \varphi \text{div} \vec{A} + \vec{A} \text{grad} \varphi:$$

$$6. \text{rot}(\varphi \vec{A}) = \varphi \text{rot} \vec{A} - \vec{A} \times \text{grad} \varphi:$$

$$7. \text{div}(\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B} \text{rot} \vec{A} - \vec{A} \text{rot} \vec{B}:$$

$$8. \text{rot rot} \vec{A} = \text{grad div} \vec{A} - \nabla^2 \vec{A}:$$

$$\vec{r} - \text{շառավիղ-վեկտորի համար } \text{div} \vec{r} = 3; \quad \text{rot} \vec{r} = 0; \quad \text{div} \frac{\vec{r}}{r^3} = 0; \quad \text{rot} \frac{\vec{r}}{r^3} = 0; \quad \text{grad} \frac{1}{r} = -\frac{\vec{r}}{r^3}; \quad \text{grad} \frac{\vec{r} \cdot \vec{r}}{r^3} = \frac{r^2 \vec{r} - 3(\vec{r} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5}; \quad \text{rot} \frac{\vec{r} \times \vec{r}}{r^3} = -\frac{r^2 \vec{r} - 3(\vec{r} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5},$$

որտեղ $\vec{p}$ -ն հաստատուն վեկտոր է:

Գաուս-Օստրոգրադսկու թեորեմը՝

$\int_V \operatorname{div} \vec{A} dV = \oint_S A_n dS = \oint_S \vec{A} \cdot d\vec{S}$, որտեղ $\vec{n}$ -ը V ծավալը պարփակող S մակերևույթի արտաքին նորմալն է, իսկ S -ը V -ի եզրն է:

Ստոքսի թեորեմը՝

$\oint_l \vec{A} d\vec{l} = \int_S (\operatorname{rot} \vec{A})_n dS = \int_S \operatorname{rot} \vec{A} \cdot d\vec{S}$, որտեղ l -ը S -ի եզրն է, իսկ $\vec{n}$ -ը այդ մակերևույթի այն արտաքին նորմալն է, որը կոնտուրի շրջանցման հետ կապված է աջ պտուտակի կանոնով:

Էլեկտրադինամիկայի հիմնական բանաձևերը

գաուսյան համակարգում

1. Կուլոնի օրենքը՝ $\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$:
2. Կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը՝ $\vec{E} = \frac{q}{r^3} \vec{r}$:
3. Կետային լիցքի դաշտի պոտենցիալը՝ $\varphi = \frac{q}{r}$:
4. Կապը $\vec{P}$ -ի և $\vec{E}$ -ի միջև՝ $\vec{P} = \chi \vec{E}$:
5. $\vec{D}$ վեկտորի սահմանումը՝ $\vec{D} = \vec{E} + 4\pi \vec{P}$:
6. Կապը ε -ի և χ -ի միջև՝ $\varepsilon = 1 + 4\pi \chi$:
7. Կապը $\vec{D}$ -ի և $\vec{E}$ -ի միջև՝ $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$:
8. Գաուսի թեորեմը $\vec{D}$ վեկտորի համար՝ $\oint_S \vec{D} d\vec{S} = 4\pi q$:
9. Էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտությունը՝ $w = \frac{1}{8\pi} \vec{E} \vec{D}$:
10. Հոսանքակիր կոնտուրի մագնիսական մոմենտը՝ $p_m = \frac{1}{c} IS$:
11. Բիո-Սավար-Լապլասի օրենքը՝ $\vec{B} = \frac{1}{c} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$:
12. $\vec{H}$ վեկտորի սահմանումը՝ $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi \vec{l}_m$:
13. $\vec{H}$ վեկտորի շրջապտույտը (հոսանքը հաստատուն է) $\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} I$:
14. Կապը $\vec{l}_m$ -ի և $\vec{H}$ -ի միջև՝ $\vec{l}_m = \chi_m \vec{H}$:
15. Կապը μ -ի և χ_m -ի միջև՝ $\mu = 1 + 4\pi \chi_m$:
16. Կապը $\vec{B}$ -ի և $\vec{H}$ -ի միջև՝ $\vec{B} = \mu \vec{H}$:
17. Մակածման ԷլՇՈւ-ն՝ $\varepsilon = -\frac{1}{c} \frac{d\Phi}{dt}$:

18. Ինդուկտիվությունը՝ $L = c \frac{\Phi}{I}$:

19. Հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիան՝ $W = \frac{1}{2c^2} LI^2$:

20. Մագնիսական դաշտի էներգիայի խտությունը՝ $w = \frac{1}{8\pi} \vec{B} \vec{H}$:

21. Մագնիսացման հոսանքի խտությունը՝ $\vec{j}_m = c \cdot \text{rot} \vec{I}_m$

22. Շեղման հոսանքի խտությունը՝ $\vec{j}_2 = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$:

23. Մաքսվելի հավասարումներն ինտեգրալ տեսքով՝

$$\text{I գույզը՝ } \oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{1}{c} \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}, \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0:$$

$$\text{II գույզը՝ } \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} \int_S (\vec{J} + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S}, \quad \oint_S \vec{D} d\vec{S} = 4\pi \int_V \rho dV:$$

24. Մաքսվելի հավասարումներն ինտեգրալ տեսքով՝

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \text{ կամ } \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t};$$

$$\text{div} \vec{B} = 0, \text{ կամ } \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0;$$

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \text{ կամ } \vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t};$$

$$\text{div} \vec{D} = 4\pi \rho_0, \text{ կամ } \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 4\pi \rho_0:$$

Մաքսվելի հավասարումների համակարգից բխում է լիցքի պահպանման օրենքը.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0:$$

25. Էլեկտրամագնիսական դաշտի $\vec{E}$ և $\vec{B}$ դաշտերի ներկայացումը ϕ սկալյար և $\vec{A}$ վեկտորական պոտենցիալների միջոցով.

$$\vec{E} = -\text{grad} \phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}; \quad \vec{B} = \text{rot} \vec{A}:$$

26. Էլեկտրամագնիսական դաշտի ալիքային հավասարումները Լորենցի պայմանին բավարարող ϕ սկալյար և $\vec{A}$ վեկտորական պոտենցիալների համար.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = -4\pi \rho; \quad \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c} \vec{j}:$$

27. Լորենցի պայմանը ϕ սկալյար և $\vec{A}$ վեկտորական պոտենցիալների համար.

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \text{div} \vec{A} = 0:$$

Լորենցի պայմանի դեպքում լիցքի պահպանման $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$ օրենքը բխում է նաև ϕ սկալյար և $\vec{A}$ վեկտորական պոտենցիալների ալիքային հավասարումներից:

Չափման միավորները ՄՀ և գաուսյան համակարգում

Մեծություն	Միավորը		Հարաբերությունը ՄՀ / գաուսյան
	ՄՀ	գաուսյան	
Երկարություն	մ	սմ	10^2
Ժամանակ	վ	վ	1
Արագություն	մ/վ	սմ/վ	10^2
Արագացում	մ/վ ²	սմ/վ ²	10^2
Տատանումների հաճախություն	Հց	Հց	1
Ջանգված	կգ	գ	10^3
Խտություն	կգ/մ ³	գ/սմ ³	10^{-3}
Ուժ	Ն	դին	10^5
Աշխատանք	Ջ	էրգ	10^7
Հզորություն	Վտ	էրգ/վ	10^7
Ուժի մոմենտ	Ն·մ	դին·սմ	10^7
Իներցիայի մոմենտ	կգ·մ ²	գ·սմ ²	10^7
Իմպուլս	կգ·մ/վ	գ·սմ/վ	10^5
Իմպուլսի մոմենտ	կգ·մ ² /վ	գ·սմ ² /վ	10^7
Ճնշում	Պա	դին/սմ ²	10
Ջերմաստիճան	Կ	Կ	1
Ծավալ	մ ³	սմ ³	10^6
Ջերմունակություն, էնտրոպիա	Ջ/Կ	էրգ/Կ	10^7
Էլեկտրական լիցք	Կլ	CGSE _q	$3 \cdot 10^9$
Էլեկտրաունակություն	Ֆ	սմ	$9 \cdot 10^{11}$
Պոտենցիալ	Վ	CGSE _φ	1/300
Հոսանքի ուժ	Ա	CGSM _I	0,1
Մագնիսական ինդ.	Տլ	Գս	10^4
Մագնիսական հոսք	Վբ	Մկս	10^8
Մագնիսական դաշտի լարվածություն	Ա/մ	Է	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Ինդուկտիվություն	Հն	սմ	10^9

Լույսի ուժ	Կդ	կդ	1
Լույսի հոսք	Լմ	լմ	1
Լուսավորվածություն	Լք		
Լուսատվություն	Լմ/մ ²		
Պայծառություն	Կդ/մ ²		

Ռադիոֆիզիկայում և սպեկտրոսկոպիայում օգտագործվում է նաև էներգիայի 1սմ^{-1} միավորը՝ $1\text{սմ}^{-1} \approx 1,983 \cdot 10^{-23}\text{Ջ կամ } 1\text{Ջ} = 0,504 \cdot 10^{23}\text{սմ}^{-1} : 1\text{էՎ} = 8065,5\text{սմ}^{-1}$:

Որոշ նյութերի ֆիզիկական հատկությունները

1. Մի քանի պինդ նյութի խտությունը (գ/սմ^3)

Ալմաստ	3,5	Կադմիում	8,65	Պլատին	21,5
Այուրմին	2,7	Կապար	11,3	Պղինձ	8,9
Անագ	7,4	Կոբալտ	8,9	Սառույց	0,9
Արծաթ	10,5	Մոլիբդեն	10,2	Վոլֆրամ	19,1
Երկաթ	7,8	Նիկել	8,9	Տիտան	4,5
Ցինկ	7,0	Ոսկի	19,3	Ուրան	19,0

2. Մի քանի հեղուկների խտությունը (10^3 կգ/մ^3)

Բենզին	0,7	Մեդիկ	13,6	Բենզոլ	0,9
Կերոսին	0,8	Սպիրտ	0,79	Գլիցերին	1,2

3. Մի քանի գազերի խտությունը ($P=1\text{մթն, } T=273\text{Կ, կգ/մ}^3$)

Ազոտ	1,25	Թթվածին	1,43	Հելիում	0,18
Ամոնիակ	0,77	Մեթան	0,72	Նեոն	0,9
Ջրածին	0,09	Ածխաթթու գազ	1,98	Կրիպտոն	3,74
Օդ	1,29	Քլոր	3,21	Քսենոն	5,85

4. Մի քանի նյութի առաձգականության հաստատունը և ամրության սահմանը ($\times 10^9$ Պա)

Նյութը	Յունգի մոդուլը (E)	Սահքի մոդուլը (G)	Ամրության սահմանը (σ_m)
Ալյումին	70	26	0,11
Արծաթ	82,7	30,3	0,29
Ապակի	49÷78	17,5÷29	0,05
Կապար	18	5,6	0,102
Պղինձ	110	40	0,245
Երկաթ	200	81	0,294
Պողպատ	206	80	0,785
Թուջ (գորշ)	11,3÷11,6	44	0,14÷0,18

5. Ծավալային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից ($t = 20^0C$)

Նյութ	$\beta, 10^{-4}C^{-1}$	Նյութ	$\beta, 10^{-4}C^{-1}$
Ջուր	2,1	Սնդիկ	1,8
Գլիցերին	5,0	Էթիլային սպիրտ	11

6. Գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակից ($t = 20^0C$)

Նյութ	$\alpha, 10^{-6}C^{-1}$	Նյութ	$10^{-6}C^{-1}$
Ալյումին	24	Պողպատ	11
Պղինձ	17	Ապակի	10

7. Տեսակարար ջերմունակություն

Նյութը	c, Ջ/կգ·Կ	Նյութը	Ջ/կգ·Կ
Ջուր	4200	Պղինձ	380
Ջրային գուլ.	2100	Անագ	200
Երկաթ	460	Սնդիկ	140
Սառույց	2100	Կապար	130

8. Չայնի արագությունը տարբեր միջավայրերում

Միջավայրը	t, °C	v, մ/վ	Միջավայրը	t, °C	v, մ/վ
Օդ	0	331	Սնդիկ	20	1451
Ազոտ	0	334	Մեթ. սպիրտ	20	1123
Ամոնիակ	0	415	Ալյումին	20	5080
Ջրածին	0	1284	Պղինձ	20	3710
Հելիում	0	965	Երկաթ	20	5170
Թուվածին	0	316	Քվարց	20	5370
CO ₂ -գազ	0	259	Փայտ (եղևվնի)	0	4800
Ացետոն	20	1192	Փայտ (խցանի)	–	450-530
Ջուր	25	1497	Կաուչուկ	–	50
Ծովաջուր	17	1510-1550			

9. Հալման ջերմաստիճան

Նյութը	t, °C	Նյութը	t, °C
Ազոտ	–196	Պղինձ	1083
Ալյումինում	660	Անագ	232
Ջուր	0	Սնդիկ	–39
Վոլֆրամ	3380	Կապար	327
Երկաթ	1535	Սպիրտ էթիլ.	–114

10. Հալման տեսակարար ջերմություն

Նյութը	λ , կՋ/կգ	Նյութը	λ , կՋ/կգ
Ալյումինում	400	Պղինձ	210
Երկաթ	280	Անագ	60
Սառույց	330	Կապար	25

11. Ջրի շոգեգոյացման տեսակարար ջերմությունը

t , °C	r , ՄՋ/կգ	t , °C	r , ՄՋ/կգ
0	2,50	200	1,94
20	2,45	300	1,40
100	2,26	374	0

12. Հազեցած ջրային գոլորշու ճնշումը

t , °C	p , կՊա	t , °C	p , կՊա	t , °C	p , կՊա
-10	0,26	12	1,40	50	12,3
-5	0,40	14	1,60	60	19,8
0	0,61	16	1,81	70	31,1
2	0,71	18	2,07	80	47,2
4	0,81	20	2,34	90	70,0
6	0,93	25	3,17	100	101
8	1,07	30	4,24	150	486
10	1,23	40	7,33	200	1550

13. Այրման տեսակարար ջերմություն

Նյութը	q , ՄՋ/կգ	Նյութը	q , ՄՋ/կգ
Բենզին	45	Կերոսին	45
Փայտածուխ	31	Մեթան	35

14. Մոլեկուլների էֆեկտիվ տրամագիծը

Նյութը	d , նմ	Նյութը	d , նմ
Ազոտ	0,32	Հելիում	0,20
Արգոն	0,35	Թթվածին	0,30
Ջուր	0,30	Ածխաթթու գազ	0,33
Ջրածին	0,25		

15. Վանդերվաալսի հաստատուններն ու կրիտիկական պարամետրերը

Նյութը	$T_{\text{кр}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$p_{\text{кр}}, \text{ ՄՊա}$	$a, \text{ Պա}\cdot\text{մ}^6/\text{մոլ}^2$	$b, \text{ սմ}^3/\text{մոլ}$
Ազոտ	126	3,4	0,14	39
Արգոն	151	4,9	0,13	32
Ջուր	647	22	0,55	30
Ջրածին	33	1,3	0,024	27
Հելիում	5,2	0,23	0,0034	23
Թթվածին	154	5,0	0,14	32
Ածխաթթու գազ	304	7,4	0,36	43

16. Մակերևութային լարվածության գործակից ($t = 20^\circ \text{C}$)

Նյութը	σ , մՆ/մ	Նյութը	σ , մՆ/մ
Ջուր	73	Օճառաջուր	40
100°C -ի ջուր	59	Մեթիլ	480
Կերոսին	24	Սպիրտ էթիլ.	22

17. Մածուցիկության գործակից ($t = 20^\circ \text{C}$)

Նյութ	η , մՊա·վ	Նյութ	η , մՊա·վ
Ազոտ	0,017	Գլիցերին	1490
Ջուր	1,0	Կաստորական յուղ	990
Օդ	0,018	Էթիլային սպիրտ	1,2

18. Ջերմահաղորդականության գործակից ($t = 20^{\circ}C$)

Նյութը	λ , Վտ/(մ·Կ)	Նյութը	λ , Վտ/(մ·Կ)
Ազոտ	0,024	Սառույց	2,2
Ալյումին.	210	Պղինձ	390
Ջուր	0,6	Արծաթ	420
Երկաթ	75	Պողպատ	45

19. Մի քանի նյութի հարաբերական դիէլեկտրական թափանցելիությունը

Ապակի	5÷10	Պլեկսոգլաս	3,5	Գլիցերին	39
Էրոնիտ	2,7	Պոլիէթիլեն	2,3	Օրգապակի	6÷9
Կերոսին	2	Ջուր	81	Ռետին	2÷3
Ճենապակի	4÷7	Սպիրտ	26	Բենզին	2,3
Պարաֆին	2,2	Փայլար	7,5	Տրանսֆորմատորային յուղ	2,2÷2,5
Օդ (1 մթն)	1,0006	Օդ (100 մթն)	1,055	Ջրածին	1,0003

20. Հաղորդիչների տեսակարար դիմադրությունը ($0^{\circ}C$ -ում) և դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը

Նյութը	ρ , $\times 10^{-8}$ Օմ·մ	α , $\times 10^{-3}$ Կ ⁻¹	Նյութը	ρ , $\times 10^{-8}$ Օմ·մ	α , $\times 10^{-3}$ Կ ⁻¹
Ալյումին	2,7	4,3	Նիկելին	42,0	0,23
Անա·	11,3	--	Նիքրոմ	110,0	0,25
Արծաթ	1,58	4,0	Ոսկի	2,2	3,9
Արույր	6,3	1,0	Պլատին	10,7	3,9
Գրաֆիտ	390	(-0,8)	Պղինձ	1,7	3,8

Կապար	20,7	3,7	Պողպատ	12,0	6,0
Կոնստանտան	47	0,03	Սնդիկ	96,0	0,92
Երկաթ	9,8	0,0062	Վոլֆրամ	5,5	4,1
Նիկել	7,3	--	Ցինկ	5,95	3,5

21. Մի քանի նյութերի էլեկտրաքիմիական համարժեքը

($k, \times 10^{-6}$ կգ/Կլ)

Ալյումին	0,0932	Պղինձ	0,3294
Արծաթ	1,1179	Պլատին	0,5058
Թթվածին	0,0829	Ջրածին	0,01045
Նիկել (եռավալենտ)	0,2027	Ցինկ	0,34
Նիկել (երկվալենտ)	0,304	Քլոր	0,367
Ոսկի	0,6812	Քրոմ	0,18

22. Մի քանի նյութերի մագնիսական ընկալունակությունը ($\chi_m, \times 10^{-6}$)

Ազոտ	0,013	Վոլֆրամ	176	Քվարց	-15,1
Ալյումին	23	Օդ	0,38	Պղինձ	-10,3
Էբոնիտ	14	Ապակի	-12,6	Ջրածին	-0,063
Թթվածին	1,9	Բենզոլ	-7,5	Ջուր	-9
Պլատին	360	Բիսմութ	-176	Քարաղ	-12,6

Հարաբերական մագնիսական թափանցելիությունը՝ $\mu = 1 + \chi_m$:

23. Էլեկտրոնի ելքի աշխատանքը ($A, \times 1$ էՎ $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Ջ)

Ալյումին	3,74	Կալիում	2,15	Պլատին	5,29
Արծաթ	4,28	Կոբալտ	4,25	Պղինձ	4,47
Բարիում	2,29	Սոլիբրեն	4,27	Վոլֆրամ	4,5
Բիսմութ	4,62	Նատրիում	2,27	Տիտան	3,92
Երկաթ	4,36	Նիկել	4,84	Ցեզիում	1,89

Լիթիում	2,39	Ոսկի	4,58	Ցինկ	3,74
---------	------	------	------	------	------

24. Մի քանի ատոմների իոնացնելու էներգիան

($\times 1 \text{ էՎ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Ջ}$)

Ջրածին	13,59	Բոր	8,3	Ֆտոր	17,42
Հելիում	24,58	Ածխածին	11,27	Նեոն	21,56
Լիթիում	5,39	Ազոտ	14,54	Նատրիում	5,14
Բերիլիում	9,32	Թթվածին	13,62	Մոդիկ	10,44

25. Բեկման ցուցիչ

Ալմաստ	2,42	Գլիցերին	1,47	Սկիպիդար	1,51
Ամոնիակ	1,325	Դարչնայուղ	1,6	Սպիրտ էթիլ.	1,36
Անիլին	1,59	Ծմբաջրածին	1,63	Քարաղ	1,54
Ապակի	1,57	Ջուր	1,33	Քվարց	1,54
Բենզոլ	1,5	Սառույց	1,31	Շաքար	1,56

*Բեկման ցուցիչների բերված արժեքները պայմանական են, քանի որ այն կախված է լույսի ալիքի երկարությունից:

26. Նրկբեկող բյուրեղների բեկման ցուցիչը

Ալիքի երկարություն	Գույնը	Իսլանդական շպատ	Քվարց
λ , նմ		n_0 ; n_e	n_0 ; n_e
687	կարմիր	1,484 ; 1,653	1,550 ; 1,541

656	նարնջագույն	1,485; 1,655	1,551; 1,542
589	դեղին	1,486; 1,658	1,553; 1,544
527	կանաչ	1,489; 1,664	1,556; 1,547
486	երկնագույն	1,491; 1,668	1,559; 1,550
431	կապույտ	1,495; 1,676	1,564; 1,554
400	մանուշակագույն	1,498; 1,683	1,568; 1,558

27. Բևեռացման հարթության պտույտը

Բնական պտույտը քվարցում		Մագնիսական պտույտ	
λ , նմ	φ , աստ./մմ	Հեղուկը	Վերոնեյի հաստատունը V , աստ.րոպ/Ա
404,7	41,93	Բենզոլ	2,59
435,9	41,54	Ջուր	0,016
491,6	31,98	Օծմբածխածին	0,053
589,5	21,72	Էթիլային ալիքոլ	1,072
656,3	17,32		
670,8	16,54		

28. Միջուկների իզոտոպների մի մասի որոշ հատկություններ

Z	Իզոտոպ, $T_{1/2}$	Սպինը և գույգու- թյունը J^P	Զանգվածի պակասորդը գ.ա.մ.- ով (ՄԷՎ)
---	-------------------	-------------------------------------	---

Նեյտրոն	n 10,24րոպ.	1/2 ⁺	0,00867 (8,071ՄէՎ)
1 Ջրածին	¹ H	1/2 ⁺	0,00783 (7,2899ՄէՎ)
	² H	1 ⁺	0,01410 (13,136ՄէՎ)
	³ H 12,32 տարի	1/2 ⁺	0,01605 (14,950ՄէՎ)
2 Հելիում	³ He	1/2 ⁺	0,01603 (14,931ՄէՎ)
	⁴ He	0 ⁺	0,00260 (2,425ՄէՎ)
3 Լիթիում	⁶ Li	1 ⁺	0,01513 (14,087ՄէՎ)
	⁷ Li	3/2 ⁻	0,01601 (14,908ՄէՎ)
4 Բերիլի	⁷ Be 53,22օր	3/2 ⁻	0,01693 (15,770ՄէՎ)
	⁸ Be 0,7·10 ⁻¹⁶ վ	0 ⁺	0,00530 (4,942ՄէՎ)
	⁹ Be	3/2 ⁻	0,01219 (11,348ՄէՎ)
5 Բոր	¹⁰ B	3 ⁺	0,01294 (12,051ՄէՎ)
	¹¹ B	3/2 ⁻	0,00930 (8,668ՄէՎ)
	¹² B 20,20վ	1 ⁺	0,01435 (13,369 ՄէՎ)
	¹¹ C 20,334րոպ	3/2 ⁻	0,01143 (10,650ՄէՎ)
6 Ածխածին	¹² C	0 ⁺	0
	¹³ C	1/2 ⁻	0,00335 (3,125ՄէՎ)
	¹⁴ C 5700տ	0 ⁺	0,00324 (3,020ՄէՎ)
	¹⁶ C 0,747վ	0 ⁺	0,01471 (13,6994 ՄէՎ)
	¹³ N 9,965րոպ	1/2 ⁻	0,00574 (5,345ՄէՎ)
7 Ազոտ	¹⁴ N	1 ⁺	0,00307 (2,863ՄէՎ)

8 Թթվածին	^{15}N	1/2 ⁻	0,00011	(0,101ՄէՎ)
	^{16}N 7,13վ	2 ⁻	0,00610	(5,684ՄէՎ)
	^{15}O 122,24վ	1/2 ⁻	0,00301	(2,856 ՄէՎ)
	^{16}O	0 ⁺	-0,00509	(-4,737ՄէՎ)
	^{17}O	5/2 ⁺	-0,00087	(-0,809ՄէՎ)
9 Ֆտոր	^{18}O	0 ⁺	-0,00084	(-0,781ՄէՎ)
	^{19}F	1/2 ⁻	-0,00160	(-1,487ՄէՎ)
10 Նեոն	^{20}Ne	0 ⁺	-0,00756	(-7,042ՄէՎ)
	^{21}Ne	3/2 ⁻	--0,00615	(-5,732ՄէՎ)
	^{22}Ne	0 ⁺	-0,00862	(-8,025ՄէՎ)
11 Նատրիում	^{23}Na	3/2 ⁺	-0,01023	(-9,530ՄէՎ)
	^{22}Na 2,6017տ.	3 ⁺	-0,00556	(-5,182 ՄէՎ)
12 Մագնեզիում	^{24}Mg	0 ⁺	-0,01496	(-13,934ՄէՎ)
	^{25}Mg	5/2 ⁺	-0,01416	(-13,193ՄէՎ)
	^{26}Mg	0 ⁺	-0,01741	(-16,215ՄէՎ)
	^{23}Mg 11,317վ	3/2 ⁺	-0,00587	(-5,474 ՄէՎ)
13 Ալյումինում	^{27}Al	5/2 ⁺	-0,01847	(-17,197ՄէՎ)
	^{26}Al 7,17·10 ⁵ տ	5 ⁺	-0,01311	(-12,210 ՄէՎ)
14 Սիլիցիում	^{28}Si	0 ⁺	-0,02307	(-21,493ՄէՎ)
	^{29}Si	1/2 ⁺	-0,02351	(-21,895ՄէՎ)
	^{30}Si	0 ⁺	-0,02624	(-24,433ՄէՎ)

15 Ֆոսֆոր	^{31}Si 153,3րոպ.	$3/2^+$	-0,02465 (-22,949ՄէՎ)
	^{31}P	$1/2^+$	-0,02624 (-24,441ՄէՎ)
	^{32}P 14,262օր	1^+	-002609 (-24,305ՄէՎ)
16 Ծծումբ	^{32}S	0^+	-0,02793 (-26,016ՄէՎ)
	^{33}S	$3/2^+$	-0,02854 (-26,586ՄէՎ)
	^{34}S	0^+	-0,03214 (-29,932ՄէՎ)
	^{35}S 87,51օր	$3/2^+$	-0,03097 (-28,846ՄէՎ)
17 Բրոմ	^{35}Cl	$3/2^+$	-0,03115 (-29,014ՄէՎ)
	^{36}Cl 3,01·10 ⁵ տ.	2^+	-0,03169 (-29,522ՄէՎ)
	^{37}Cl	$3/2^+$	-0,03410 (-31,761ՄէՎ)
18 Արգոն	^{36}Ar	0^+	-0,03245 (-30,232ՄէՎ)
	^{38}Ar	0^+	-0,03728 (-34,715ՄէՎ)
	^{40}Ar	0^+	-0,03762 (-35,040ՄէՎ)
	^{39}K	$3/2^+$	-0,03629 (-33,807ՄէՎ)
19 Կալիում	^{40}K 1,248·10 ⁹ տ.	4^-	-0,03599 (-33,535ՄէՎ)
	^{41}K	$3/2^+$	-0,03816 (-35,559ՄէՎ)
	^{40}Ca	0^+	-0,03741 (-34,846ՄէՎ)
20 Կալցիում	^{41}Ca 1,02·10 ⁵ տ.	$7/2^-$	-0,03772 (-35,138 ՄէՎ)
	^{44}Ca	0^+	-0,04452 (-41,468 ՄէՎ)
23 Վանադիում	^{50}V	6	-0,05284 (49,2205 ՄէՎ)
	^{51}V	$7/2^-$	-0,05602 (-52,201ՄէՎ)

24 Քրոմ	^{52}Cr	0^+	-0,05949 (-55,417ՄէՎ)
25 Մանգան	^{55}Mn	$5/2^-$	-0,06165 (-57,711ՄէՎ)
26 Երկաթ	^{56}Fe	0^+	-0,06507 (-60,605ՄէՎ)
27 Կոբալտ	^{56}Co 77,233օր	4^+	-0,06016 (- 56,039 ՄէՎ)
	^{59}Co	$7/2^-$	-0,06681 (-62,228ՄէՎ)
	^{60}Co 925,28օր	5^+	-0,06618 (-61,649 ՄէՎ)
28 Նիկել	$^{58}_{28}\text{Ni}$	0^+	-0,06466 (-60,228ՄէՎ)
29 Պղինձ	^{63}Cu	$3/2^-$	-0,07041 (-65,579ՄէՎ)
	^{65}Cu	$3/2^-$	-0,07221 (-67,264ՄէՎ)
30 Յինկ	^{64}Zn	0^+	-0,07086 (-66,004ՄէՎ)
	^{66}Zn	0^+	-0,07395 (-68,899ՄէՎ)
	^{68}Zn	0^+	-0,07514 (-70,007ՄէՎ)
47 Արծաթ	^{107}Ag	$1/2^-$	-0,09303 (-88,402ՄէՎ)
	^{108}Ag 2,37րոպ.	1^+	-0,09411 (-87,602ՄէՎ)
	^{109}Ag	$1/2^-$	-0,09530 (-88,723ՄէՎ)
48 Կադմիում	^{110}Ag 24,6վ	1^+	-0,09395 (-87,461ՄէՎ)
	$^{114}_{48}\text{Cd}$	0^+	-0,09966 (-90,021 ՄէՎ)
49 Ինդիում	^{114}In 71,9վ	1^+	-0,09508 (-88,572 ՄէՎ)
	^{115}In 4,14 $\cdot 10^{14}$ տ	$9/2^+$	-0,09615 (-89,537ՄէՎ)
53 Յոդ	^{127}I	$5/2^+$	-0,09565 (-88,983ՄէՎ)
	^{131}I 8,0207օր	$7/2^+$	-0,09387 (-87,444 ՄէՎ)
79 Ասկի	^{197}Au	$3/2^+$	-0,03345 (-31,141ՄէՎ)

82 Կապար	^{206}Pb	0^+	-0,02554 (-23,785ՄէՎ)
	^{207}Pb	$1/2^-$	-0,02410 (-22,452ՄէՎ)
	^{208}Pb	0^+	-0,02336 (-21,749ՄէՎ)
83 Բիսմութ	^{209}Bi 1,9·10 ¹⁹ տ	$9/2^-$	-0,01958 (-18,258ՄէՎ)
	^{210}Bi 5,012օր	1^-	-0,01589 (-14,792ՄէՎ)
84 Պոլոնիում	^{210}Po 138,376օր	0^+	-0,01713 (-15,953ՄէՎ)
	^{211}Po 0,516վ	$9/2^+$	-0,01335 (-12,432 ՄէՎ)
	^{214}Po 164,3մկվ	0^+	-0,00481 (-4,470ՄէՎ)
88 Ռադիում	$^{222}_{86}\text{Rn}$ 3,8235օր	0^+	0,0175 (16,374ՄէՎ)
	^{226}Ra 1600տ	0^+	0,02536 (23,669ՄէՎ)
90 Թորիում	^{232}Th 1,4·10 ¹⁰ տ	0^+	0,03821 (35,448ՄէՎ)
	^{228}Th 1.9116տ	0^+	0,02874 (26,772 ՄէՎ)
92 Ուրան	^{232}U 68,9տ	0^+	-0,03715 (34,611 ՄէՎ)
	^{235}U 7,04·10 ⁸ տ.	$7/2^-$	0,04393 (40,921ՄէՎ)
	^{236}U 2,342·10 ⁷ տ.	0^+	0,04573 (42,446ՄէՎ)
	^{238}U 4,468·10 ⁹ տ.	0^+	0,05076 (47,30ՄէՎ)
	^{239}U 23,45րոպ	$5/2^+$	0,05432 (50,574ՄէՎ)
94 Պլուտոնիում	^{236}Pu 2,858տ.	0^+	0,04605 (42,903ՄէՎ)
	^{239}Pu 2,4·10 ⁴ տ.	$1/2^+$	0,05216 (48,590ՄէՎ)

29. Տարրական մասնիկների հատկությունները

Լեպտոնների բնութագրերը (սպին՝ 1/2, $r < 10^{-16}$ սմ)

Լեպտոն	Զանգվածը mc^2 , ՄէՎ	Էլեկտրական լիցքը (e միավ.)	Լեպտոնային լիցքը $L_e \quad L_\mu \quad L_\tau$	կյանքի տևողու թ.	տրոհման հիմնական տեսակներ
e^- ν_e	0,511 < 3էՎ	-1 0	+1 0 0 +1 0 0	>4.3·10 ²³ տարի ստաբիլ	
μ^- ν_μ	105,7 < 0,19	-1 0	0 +1 0 0 +1 0	2.2·10 ⁻⁶ վ ստաբիլ	$e^-, \bar{\nu}_e, \nu_\mu$
τ^- ν_τ	1777 < 18,2	-1 0	0 0 +1 0 0 +1	2.9·10 ⁻¹³ վ ստաբիլ	Հաղորդներ $+V_\tau, e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu,$ $e^-\bar{\nu}_e\nu_\mu$

30. Հիմնարար փոխազդեցությունները

Փոխազդեցության տեսակը	Փոխազդեցության բնութագրական միավորային քանակ	Հաստատունը	Փոխազդեցության ուժի շառավիղը
Ուժեղ	$10^{-21} \div 10^{-23}$	$\alpha_{ms} \approx 1$	$\approx 10^{-13}$ սմ

Էլեկտրամագնիսական թույլ	$\sim 10^{-18}$ վ $\sim 10^{-10}$ վ	$\alpha_{\text{EM}} \approx 1/137$ $\alpha_{\text{weak}} \approx 10^{-6}$	∞ $\approx 10^{-16}$ սմ
Գրավիտացիոն		$\alpha_{\text{grav}} \approx 10^{-38}$	∞

31. Դաշտերի քվանտները (հիմնարար բոզոններ)

Դաշտը (փոխազդեցությունը)	քվանտը (բոզոն)	զանգվածը (mc^2)	սպին	Փոխազդեցության շառավիղը (սմ)
ուժեղ	գլուոն (8 տեսակի)	0	1	$\approx 10^{-13}$
Էլեկտրամագնիսական	γ -քվանտ (ֆոտոն)	0	1	∞
թույլ	$W^{\pm}; Z$	80; 91 ԳէՎ	1	$\approx 10^{-16}$
Գրավիտացիոն	գրավիտոն(?)	0	2	∞

32. Հիմնարար մասնիկների երեք սերունդը

սերունդ		1-ին	2-րդ	3-րդ	Լիցք, Q
քվարկներ	վերին	u	c	t	+2e/3
	ներքին	d	s	b	-e/3

	նեյտրինո	ν_e	ν_μ	ν_τ	0
լեպտոններ	լիցքավորված	e	μ	τ	-1

33. Քվարկների բնութագրերը

(բոլոր քվարկների համար $J^P = 1/2^+$, իսկ բարիոնային լիցքը $B=1/3$)

Բնութագրեր	Քվարկի տեսակը					
	d	u	s	c	b	t
Էլեկտրական լիցք	-e/3	+2e/3	-e/3	+e/3	-e/3	+2e/3
Իզոսպինի պրոյեկցիան	-1/2	+1/2	0	0	0	0
Իզոսպին	1/2	1/2	0	0	0	0
Տարօրինակություն	0	0	-1	0	0	0
Գեղեցքությունը (Bottom)	0	0	0	0	-1	0
Ճշմարտությունը (Top)	0	0	0	0	0	+1
Հմայքը (Charm)	0	0	0	+1	0	0
Զանգվածը (mc ²)	4-8	1,5-4	80-130	1,1-1,4	4,1-4,9	174±5
	ՄԷՎ	ՄԷՎ	ՄԷՎ	ԳԷՎ	ԳԷՎ	ԳԷՎ

34. Բարիոնների որոշ հատկություններ

(Բարիոնային լիցքը հավասար է մեկի՝ $B = 1$)

Մասնիկը	mc^2 , ՄէՎ	Քվարկային կառուցվածքը	Մալին-գույգություն, իզոսպին $J^P(I)$
p	938,27	uud	$1/2^+(1/2)$
n	939,57	udd	$1/2^+(1/2)$
Λ	1116	uds	$1/2^+(0)$
Σ^+ Σ^0 Σ^-	1189 1193 1197	uus uds dds	$1/2^+(1)$ $1/2^+(1)$ $1/2^+(1)$
Ξ^0 Ξ^-	1315 1321	uss dss	$1/2^+(1/2)$ $1/2^+(1/2)$
Δ^{++} Δ^+ Δ^0 Δ^-	1232 1232 1232 1232	uuu uud udd ddd	$3/2^+(3/2)$ $3/2^+(3/2)$ $3/2^+(3/2)$ $3/2^+(3/2)$
$\Sigma(1385)^+$ $\Sigma(1385)^0$ $\Sigma(1385)^-$	1383 1384 1387	uus uds dds	$3/2^+(1)$ $3/2^+(1)$ $3/2^+(1)$
Ω^-	1672	sss	$3/2^+(0)$

$\Xi(1530)^-$	1535	dss	$3/2^+(1/2)$
$\Xi(1530)^0$	1532	uss	$3/2^+(1/2)$

35. Մեզոնների որոշ հատկություններ

(Բարիոնային լիցքը հավասար է զրոյի՝ $B = 0$)

Մասնիկը	mc^2 , ՄԷՎ	Քվարկային կառուցվածքը	Սպին, զույգություն, իզոսպին $J^P(I)$
π^+ π^- π^0	139,57 139,57 134,98	$u\bar{d}$ $d\bar{u}$ $u\bar{u} - d\bar{d}$	$0^-(1)$ $0^-(1)$ $0^-(1)$
K^+ K^- K^0 $\bar{K}^0$	494 494 498 498	$u\bar{s}$ $s\bar{u}$ $d\bar{s}$ $s\bar{d}$	$0^-(1/2)$ $0^-(1/2)$ $0^-(1/2)$ $0^-(1/2)$
η η'	548 958	$u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}$ $u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}$	$0^-(0)$ $0^-(0)$

ρ^+	776	$u\bar{d}$	$1^-(1)$
ρ^-	776	$d\bar{u}$	$1^-(1)$
ρ^0	776	$u\bar{u} - d\bar{d}$	$1^-(1)$
ω	783	$u\bar{u} + d\bar{d}$	$1^-(0)$
ϕ	1019	$s\bar{s}$	$1^-(0)$
D^+	1869	$c\bar{d}$	$0^-(1/2)$
D^-	1869	$d\bar{c}$	$0^-(1/2)$
D^0	1865	$c\bar{u}$	$0^-(1/2)$
$\bar{D}^0$	1865	$u\bar{c}$	$0^-(1/2)$
D_s^+	1865	$c\bar{s}$	$0^-(0)$
D_s^-	1968	$s\bar{c}$	$0^-(0)$
B^+	5279	$u\bar{b}$	$0^-(1/2)$
B^-	5279	$b\bar{u}$	$0^-(1/2)$
B^0	5279	$d\bar{b}$	$0^-(1/2)$
$\bar{B}^0$	5279	$b\bar{d}$	$0^-(1/2)$
J/Ψ	3097	$c\bar{c}$	$1^-(0)$

36. Պահպանման օրենքները

(+)-ը նշանակում է, որ տվյալ քվանտային թիվը պահպանվում է, (-)-ը՝ խախտվում է:

Բնութագրերը	Փոխազդեցությունը			
	Ուժեղ	Էլեկտրամագ		Թույլ
		- նիսական		
		Ադետիվ պահպանման օրենքներ		
Էլեկտրական լիցք	Q	+	+	+
Էներգիա	E	+	+	+
Իմպուլս	P	+	+	+

Իմպուլսի մոմենտ	J	+	+	+
Բարիոնային լիցք	B	+	+	+
Լեպտոնային լիցքեր L_e, L_μ, L_τ		+	+	+
Իզոսպին	I	+	-	-
Իզոսպինի պրոյեկցիան	I_3	+	+	-
Տարօրինակություն	S	+	+	-
Հմայք (Charm)	C	+	+	-
Գեղեցքություն(Bottom)	B	+	+	-
Ճշմարտություն (Top)	T	+	+	-
Մուլտիպլիկատիվ պահպանման օրենքներ				
Տարածական զույգություն	P	+	+	-
Լիցքային զույգություն	C	+	+	-
CP-զույգություն		+	+	-
Ժամանակի շրջման նկատմամբ զույգություն	T	+	+	-
CPT - ինվարիանտություն		+	+	+

37. Մասնիկների և հակամասնիկների բնութագրերի կապը

Բնութագրերը	Մասնիկ	Հակամասնիկ
	m	m
Ջանգված	J	J
Մպին	τ	τ
Կյանքի տևողություն	$d \rightarrow u + e^- + \bar{\nu}_e, \quad \bar{d} \rightarrow \bar{u} + e^+ + \nu_e:$	
Տրոհման սխեմա (օրինակ)		
Զույգություն; ֆերմիոն,	$+(-)1$	$-(+)1$
բոզոն	$+(-)1$	$+(-)1$

Էլեկտրական լիցք	$+(-)Q$	$-(+)Q$
Մագնիսական մոմենտ	$+(-)\mu$	$-(+)\mu$
Բարիոնային լիցք	$+B$	$-B$
Լեպտոնային լիցքեր	$+L_e, +L_\mu, +L_\tau$	$-L_e, -L_\mu, -L_\tau$
Իզոսպին	I	I
Իզոսպինի պրոյեկցիան	$+(-)I_3$	$-(+)I_3$
Տարօրինակություն	$+(-)s$	$-(+)s$
Հմայքը (Charm)	$+(-)c$	$-(+)c$
Գեղեցքությունը(Bottom)	$+(-)b$	$-(+)b$
Ճշմարտություն (Top)	$+(-)t$	$-(+)t$

38.Որոշ ֆիզիկական հիմնարար հաստատուններ

Լույսի արագությունը վակուումում	$c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ:
Գրավիտացիոն հաստատունը	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Ն · մ ² · կգ ⁻² :
Ավոգադրոյի թիվը	$N_A = 6,03 \cdot 10^{23}$ մոլ ⁻¹ :
Բոլցմանի հաստատունը	$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ջ · Կ ⁻¹ :
1մոլ գազի ծավալը նորմալ պայմաններում	$V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3}$ մ ³ /մոլ:
Գազային ունիվերսալ	$R = k N_A = 8,31$ Ջ·մոլ ⁻¹ ·Կ ⁻¹ :

հաստատունը	
Զանգվածի ատոմական միավորը	$1\text{գ.ա.մ} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ կգ:}$
Վիճի հաստատունը	$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ մ}^2\text{Կ:}$
Ստեֆան-Բոլցմանի հաստատունը	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Վտ.մ}^{-2}\text{Կ}^{-4}\text{:}$
Ռիդբերգի հաստատունը	$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ վ}^{-1}\text{:}$
Առաջին բորովյան շառավիղը	$r_1 = 5,28 \cdot 10^{-11} \text{ մ:}$
Էլեկտրոնի կոմպտոնյան ալիքի երկարությունը	$\lambda_k = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ մ:}$
Տարրական լիցքը	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Կլ:}$
Պլանկի հաստատունը	$\hbar = h/2\pi = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Ջ} \cdot \text{վ:}$
Նուրբ կառուցվածքի հաստատուն	$\alpha_{kf} = e^2/\hbar c = 1/137 \text{ :}$
Էլեկտրոնի զանգվածը	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ կգ:}$
Պրոտոնի զանգվածը	$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ կգ:}$
Նեյտրոնի զանգվածը	$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ կգ:}$
$m_n - m_p$	$1,29 \text{ ՄէՎ}/c^2\text{:}$
Էլեկտրոնի դասական շառավիղը	$r_0 = e^2/(m_e c^2) = 2,82 \times 10^{-13} \text{ սմ:}$
Բորի մագնետոնը	$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e c} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Ջ/Տլ:}$ $= 5,79 \cdot 10^{-15} \text{ ՄէՎ/Գս:}$
Միջուկային մագնետոնը	$\mu_{kf} = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05 \cdot \frac{10^{-27} \text{ Ջ}}{\text{Տլ}}\text{:}$

	$= 3,15 \cdot 10^{-18} \text{Սէվ/Գս:}$
Պլանկի զանգված	$m_{\eta_l} = (\hbar c/G)^{1/2} = 2,18 \times 10^{-8} \text{կգ:}$
Հեռավորության քվանտը՝ պլանկյան երկարություն	$r_{\eta_l} = (G\hbar/c^3)^{1/2} = 1,6 \times 10^{-33} \text{սմ:}$
Ժամանակի քվանտը՝ պլանկյան ժամանակ	$t_{\eta_l} = (G\hbar/c^5)^{1/2} = 5,4 \times 10^{-44} \text{վ:}$
Լուսատարի	$\approx 3\pi \cdot 10^{15} \text{մ:}$
Տիեզերքի տարիքը	$14 \cdot 10^9 \text{տարի:}$
1 տարի	$\approx \pi \cdot 10^7 \text{վ:}$

39. Աստղագիտական մեծություններ

Երկրի միջին շառավիղը	$6,378 \cdot 10^6 \text{ մ}$
Երկրի ուղեծրի շառավիղը	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ մ}$
Լուսնի ուղեծրի շառավիղը	$3,80 \cdot 10^8 \text{ մ}$
Երկրի զանգվածը	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ կգ}$
Արեգակի զանգվածը	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ կգ}$
Լուսնի զանգվածը	$7,36 \cdot 10^{22} \text{ կգ}$

40. Տասնորդական քազմապատիկ նախածանցները

Էքսա	Է	10^{18}	Կիլո	կ	10^3	Միլի	մ	10^{-3}
Պետա	Պ	10^{15}	Հեկտո	հ	10^2	Սիկրո	մկ	10^{-6}
Տերա	Տ	10^{12}	Դեկա	դա	10^1	Նանո	ն	10^{-9}
Գիգա	Գ	10^9	Դեցի	դ	10^{-1}	Պիկո	պ	10^{-12}
Մեգա	Մ	10^6	Սանտի	ս	10^{-2}	Ֆեմտո	ֆ	10^{-15}

ՕՂՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М. Наука. 1977г.
2. Трофимов Т. И. Справочник по физике для студентов и абитуриентов. Астель. М. 2001г.
3. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. М. Наука. 1982г.
4. Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. М. Физматлит. 2003г.
5. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы. М. БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006г.
6. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 1. Механика. М. Наука. 1974г.
7. Багдасарян Д. А., Сабирзянов А. А. Сборник задач и вопросов по механике и молекулярной физике. Екатеринбург. 2013г.
8. Բաղդասարյան Դ. Հ. Էլեկտրականություն և մագնիսականություն: Խնդիրներ և հարցեր: Երևանի համալսարան: Երևան: 2004թ:
9. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М. Высшая школа. 1983г.
10. Иродов И. Е. Задачи по общей физике. Лань. С-П. 2001г.
11. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 2. Молекулярная физика. М. Наука. 1974г.
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. М. Наука. 1974г.
13. Э. Парсель. Берклевский курс физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. М. Наука. 1975г.
14. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Оптика. М. Наука. 1985г.
15. И. В. Савельев. Общий курс физики. Т. 3. М. Наука. 1978г.
16. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика. М. Физматлит. 2008г.
17. Б. С. Ишханов и др. Частицы и атомные ядра. М. Изд. ЛКИ. 2007г.
18. И. М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М. УРСС. 2002г.
19. Դ. Հ. Բաղդասարյան, Ն. Ս. Խեչոյան. Ատոմ, ատոմի միջուկ և տարրական մասնիկներ: Խնդիրներ, հարցեր, պնդումներ: Երևան: Էդիտ Պրինտ: 2017:
20. В. М. Мыхитарян. ИЗВЕСТИЯ НАН Армении. Физика. Т. 51. № 2. Ереван. 2016г.

Տեղեկատվական ձեռնարկ

**Բաղդասարյան Դավիթ Հակոբի
ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԴԱՍԸՆԹԱՑԻ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐՔ
ԴԻՄՈՐԴՆԵՐԻ ԵՎ ՈՒՍԱՆՈՂՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ**

Նկարների մի մասը և կազմը՝ Ա. Ս. Հարությունյանի

Թուղթը՝ օֆսեթ՝ 60×841/8

Տպագրական 17,5 մամուլ:

Տպագրված է <<Էդիտ Պրինտ>> ՍՊԸ տպագրատանը:



Թումանյան 12,3 (37410)520848
560841