
ԵՐԵՎԱՆԻ
ՊԵՏՈՒՀՅԱ
ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ



ЕРЕВАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ԳԻՏՈՒՅՆ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

3.2005

ԵՐԵՎԱՆ ◆ ЕРЕВАН

ISSN 0132-0173

Հրատարակում է 1925 թ.-ից (1967 թ.-ից՝ պարբերաբար):

Издается с 1925 г. (с 1967 г.— периодически).

ԽՄՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻ

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ռ.Մ. (զին. խմբագիր), ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ. (զին. խմբագրի տեղակիս),
ԸՄԱՍԻԲԵՅՅԱՆ Լ.Թ. (պատրարքուղար)

ԲՈՅՉԱԳՐՅԱՆ Վ.Ռ., ԴԱՎԻԴՅԱՆ Է.Ա., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Գ.,
ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ Լ.Լ., ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ Ծ.Ա., ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Մ., ԸՆՔԵՐՈՂՅԱՆ Ս.Կ.,
ՉՈՒԲՐԱՅՐՅԱՆ Է.Վ., ՊԵՏՐՈՎՅԱՆ Ս.Գ., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Հ.Հ., ՄԱՐԳԱՅՅԱՆ Ս.Վ.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ԱՐՈՒՅՈՆՅԱՆ Ռ.Մ. (глав. редактор), ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ա.Գ. (зам. глав. редактора),
ՇԱՐԱՄԲԵՅՅԱՆ Լ.Թ. (отв. секретарь)

ԱՐՈՒՅՈՆՅԱՆ Ծ.Գ., ՅՈՒՆԱԳՐՅԱՆ Վ.Բ., ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ Է.Ա., ՄԱՐԿԱՐՅԱՆ Ռ.Ա.,
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Մ., ՕՍԻՊՅԱՆ Լ.Լ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ծ.Գ., ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ Օ.Ա.,
ՍԱՐԿԻՍՅԱՆ Ծ.Վ., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ի.Գ., ՉՈՒԲԱՐՅԱՆ Է.Վ., ՇՈՒԿՈՐՅԱՆ Ծ.Կ.

Երևանի համալսարանի հրատարակություն
Издательство Ереванского университета

© ԵՊՀ Գիտական տեղեկագիր, բնական գիտություններ, 2005
© Ученые записки ЕГУ, естественные науки, 2005

Ստորագրված է սպազության 20.10.2005թ.
Подписано к печати 20.10.2005г.

Ֆորմատ 70×100 1/16: Տպ. 10մմ.=պայմ. 14մմ.: Պատվեր 133:
Տպարանակ 150: Գրանցման համարը 258:
Формат 70×100 1/16. 10 печ.л.=14 усл.л. Заказ 133.
Тираж 150. Регистрационный номер 258.

Տպագրված է ԵՊՀ օպերատիվ պոլիգրաֆիայի ստորաբաժնումուն.
Երևան-25, Ալ. Մանուկյան, 1:
Напечатано в подразделении оперативной полиграфии ЕГУ.
Ереван-25, Ал. Манукяна, 1.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱԿՆԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐ

Յոլ. I. Վարդանյան – Հարաբերականության հատուկ սկզբունքը	3
--------------------------------------------------------------	---

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ա.Հ. Արարյան – Մի վերասերվող օպերատորի սպեկտրի հետազոտումը	31
Տ.Ն. Հարուրյունյան, Գ.Հ. Սահակյան – Մասնական ածանցյալներով հավասարության համակարգի համար մի սպեկտրալ խնդրի մասին	40
Ա.Ա. Դանիելյան – Սպասաման ժամանակների էքստրեմալ հատկություն $G/G[1]_{\infty}$ մոդելում	47
Է.Ա. Դանիելյան, Վ.Կ. Սաղարելյան – Մի մինիմաքսային խնդիր ծերացող բաշխման ֆունկցիաների դասերում	53
Ս.Ս. Դավիթով – Երկտեղ արելյան հանրահաշվների գծային ներկայացումներ	58

ՖԻԶԻԿԱ

Տ.Ա. Հարուրյունյան – Սեփական արժեքների և սեփական ֆունկցիաների խնդիրը տորոիդային ուղղնատորներում	64
Ա.Ա. Լազարյան, Ե.Բ. Դայան, Ս.Գ. Հարուրյունյան, Տ.Վ. Չայկյան – Մեզո-տետրա-(4N-ալիալիդիոլ)պոլիդիմների հետ $\text{poly}(r\text{I})\text{poly}(r\text{C})$ -ի, $\text{poly}(r\text{A})\text{poly}(r\text{U})$ -ի և $\text{poly}(r\text{G})\text{poly}(r\text{C})$ -ի փոխազդեցությունների սպեկտրալ ուսումնասիրությունը	73
Գ.Կ. Մսրյան – Մինորտի որոշ էկոլոգիական պարամետրերի ինֆրակարմիք հետազոտությունների ինֆրամագիայի սպեկտրալ չափումները և մշակումը	80

ՔԻՄԻԱ

Ս.Կ. Գրիգորյան, Մ.Լ. Երիցյան, Գ.Ա. Գրիգորյան, Կ.Մ. Երիցյան – Ցածրջերմաստիճանային պնդացմամբ սոսնձային բաղադրանյութերի ուսումնասիրությունը և սինթեզը	85
Ն.Օ. Գյուկյան, Ջ.Ա. Միքայելյան, Ա.Ա. Եղիազարյան, Հ.Գ. Խաչատրյան – Լևոնիցիտինի էքստրակցիոն-արսորբցիոննետրական որոշումը օքսինային շարքի ներկանյոթ պիրոնին «Բ»-ով	90
Ժ.Մ. Առատամյան – Երկարի էքստրակցիոն-արսորբցիոննետրիկ որոշումը ֆուրսինվական ջրերում և քափոնաջրերում	94
Լ.Լ. Մանասյան – Դեկիդրումինակարագարբիկ Շիֆի հիմքի հետ $\text{Ni}(\text{II})$ իոնի առաջացրած նոր մոդիֆիկացված քիրալային կոմպլեքսների սինթեզը	98

ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Հ.Մ. Կարապետյան – Ռենտգենյան ճառագայթինքի և ցածր ջերմաստիճանային պայմանների համատեղ ազդեցությունը ազատ պրոլիետ կուտակման և նրա նյութափոխանակության վրա լրու ընդակերի բզեզներում.....	106
Է.Մ. Գևորգյան, Ս.Ս. Մինասյան, Ծ.Ի. Աղամյան, Ն.Ն. Քսաշիկյան – Ռատմնական ժանրաբեռնվածության ազդեցությունը ուսանողների պիտ-անոքային համակարգի գործառական վիճակի վրա	110
Ս.Ս. Արքահամյան, Մ.Ս. Կարապետյան, Մ.Վ. Նազիրյան, Ն.Ս. Հակոբյան, Ն.Յու. Աղամյան – Բուժական ֆիզկոլտուրայով զբաղվող ուսանողների շնչառության հաճախության ինքնակամ փոքրացման մերոցի արդյունավետությունը	116
Հ.Ռ. Աղաբարյան, Վ.Հ. Գրիգորյան, Ա.Յու. Ստեփանյան, Ն.Գ. Հարությունյան, Լ.Ս. Ստեփանյան – Ստեղծագործական գործնքացի ուղեղային ապահովման նյարդաֆիզիոլոգիական մեխանիզմները	122
Վ.Ս. Պողոսյան, Է.Ա. Աղաջանյան, Ա.Լ. Արյանց, Ռ.Մ. Հարությունյան – Հողերի գենոտոքսիկության բացահայտումը բուսական տեստ-համակարգերի կիրառմամբ	128
Մ.Գ. Թամախյան, Ն.Հ. Կարապետյան, Ե.Յու. Սօդյան, Ա.Մ. Պետրոսյան – Երեքնուկի ցանովի և վայրի տեսակների պարզեն միկրոիոտան հայատանում	132

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Վ.Պ. Վարդանյան, Ռ.Ս. Մինասյան – Լոռվա սարահարի ստորերկրյա հոսքի բաշխվածությունը (ըստ երկարֆիզիկական ուսումնահիմնությունների տվյալների)	137
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ՀԱԴՐԱՀՈՒՄՆԵՐ

Ն.Վ. Շիրվանյան, Վ.Լ. Շիրվանյան – Կոռորվյան տեսրից 7.7 խմբի ներկայացման մասին	141
Գ.Վ. Հակոբյան, Ռ.Ա. Քարամյան, Ս.Կ. Գրիգորյան, Հ.Ն. Ենգիբարյան, Մ.Լ. Երիցյան – 1,3-Ռիկարդեքսիմեթիլօղոցիանուրատի խելատային կոմպլեքսի փոխազդեցությունը Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+} մետաղների ինֆերի հետ	143
Տ.Ս. Սուրիհասյան – Խմբորիխզացված ֆերմենտների ռեակցիայի արագության դիմաքերսիան ֆերմենտի և ինհիբիտորի մրցակցային կապման ժամանակ	147
Ի.Ա. Բարդալյան, Ա.Լ. Գրիգորյան – Ամինաքրուների ազդեցությունը յարդի սպիտակուցների ամիդային խմբերի վրա	151

ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս Վ.Ս. Սարգսյանի ծննդյան 70-ամյակի առթիվ.....	154
----------------------------------------------------------------------	------------

Վերգիննե Մակարի Թառայան (ծննդյան 100-ամյակի առթիվ)	157
-----------------------------------------------------------------	------------

ԱԿՆԱՐԿԱՅԻՆ

ՀՈԴՎԱԾՆԵՐ

ОБЗОРНЫЕ

*

СТАТЬИ

Ֆիզիկա

УДК 530.12

Ակնարկը նվիրվում է հարաբերականության հաստուկ տեսության հիմնադրման հարցում:

Յու. Լ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՏՈՒԿ ՍԿԶԲՈՒՆՔԸ

Այս տարրա աշնանը լրանում է Ա. Եյնշտեյնի «Հարժվող մարմինների էլեկտրադինամիկայի վերաբերյալ» գիտական հոդվածի [1] հրատարակման 100 տարին: Այն հիմք հանդիսացավ հարաբերականության հատուկ տեսության ստեղծման համար, առանց որի դժվար է պատկերացնել XX դարի ֆիզիկայի վիքիսարի նկանումները:

Հարաբերականության հատուկ տեսության հիմնական դրույքը կապված է ժամանակի հարաբերականության հետ, ինչը հիմնավորելու համար սովորաբար դիմում են տարբեր հիմքիալ համակարգերում լույսի արագության հաստատուն լինելու կանխադրույթին, որի համար որպես հիմք ընդունում են Մայքլսոնի փորձի արդյունքը: Այդպիսի շարադրանքի դեպքում, որն ունի աքսիոմատիկ բնույթ, դիտարկումից դուրս են մնում այնպիսի կարևոր ֆիզիկական կատեգորիաների սահմանումներ, ինչպիսին միաժամանակությունն է և ժամանակը: Մինչդեռ Եյնշտեյնի հիմնարար աշխատությունում հեճաց այս սահմանումներից հետո են ձևակերպվում հարաբերականության հատուկ տեսության երկու կանխադրույթները: Ստորև, որքան բույլ է տալիս ամսագրային ակնարկի ծավալը, բերված են այն դրույքները, որոնք ընկած են հարաբերականության հատուկ տեսության հիմքում:

§ 1. ԳԱԼԻԼԵՅԻ ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԿՁԲՈՒՆՔԸ

1. Երերի գոյության վարկածը: 19-րդ դարի վերջին տասնամյակները նշանավորվեցին Մաքսվելի հավասարումների վրա հիմնված էլեկտրամագնիսականության ալիքային տեսության ստեղծումով, որը տվեց էլեկտրական, մագնիսական և օպտիկական երևույթների միասնական բացատրությունը: Դրանով աճեց ֆիզիկուների հետաքրքրությունը շարժվող միջավայրերում օպտիկական երևույթների նկատմամբ, որոնք Մաքսվելի տեսության ստեղծումից դեռ առաջ էլ գտնվում էին նրանց ուշադրության կենտրոնում: Այն բանից հետո, եթե օպտիկան դարձավ էլեկտրադինամիկայի բաղադրիչ մասը, տվյալ խնդիրը վերաճաց շարժվող միջավայրերի էլեկտրադինամիկայի: Այդ կապակցությամբ անհրա-

ԺԵշտ է հիշատակել մի վարկածի մասին, որն այսօր թեպետ ունի միայն պատմական նշանակություն, սակայն մեծ հետաքրքրություն էր առաջացրել հարաբերականության հատուկ տեսության ստեղծման նախօրեին: Խոսքը եթերի մասին է:

Ամբողջ նախորդ փորձը, որ կուտակվել էր ալիքային պրոցեսների ուսումնասիրության ժամանակ, ցոյց էր տալիս, որ ալիքները տարածվում են միայն հոծ միջավայրերում: Այդ պատճառով էլ բնական էր ենթադրել, որ էլեկտրամագնիսական տատանումները նույնպես տարածվում են նման միջավայրում: Այդ վարկածային միջավայրն անվանվեց եթեր: Էլեկտրամագնիսական ալիքների մի շարք հայտնի հատկություններ բացատրելու համար անհրաժեշտ էր ենթադրել, որ եթերն օժտված էր այնպիսի հատկություններով, ինչպիսիք չուներ ոչ մի այլ հայտնի նյութ. այն պետք է լցներ ամբողջ տարածությունը, ունենար չափազանց փոքր խտություն և չափազանց բույլ փոխազդեցություն բոլոր նյութերի հետ, գործի լիներ գգողականությունից: Ֆիզիկոսների կողմից եթերի նյութական բնութագրերի երկարամյա փորձնական որոնումներն, ի վերջո, հանգեցրին այն համոզման, որ այն նույն ինքը՝ դատարկությունում տարածվող էլեկտրամագնիսական ալիքն է: Չորքեց միայն մեկ կարևոր հարցի պատասխանը. ո՞ր հաշվարկման համակարգի հետ է կապված եթերը կամ, որ նույնն է, ո՞ր հաշվարկման համակարգում է էլեկտրամագնիսական ալիքը տարածվում և արագությամբ: Այդպիսի համակարգի գոյությունն ինքնաբերաբար կնշանակեր, որ էլեկտրամագնիսական երևույթները չեն ենթարկվում դասական մեխանիկայի հարաբերականության սկզբունքին, քանի որ առավելություն կտրվեր մեկ իներցիալ համակարգին մյուսների մկանում: Համառոտակի անդրադառնանք տվյալ սկզբունքին:

2. Գալիլեյի ձևափոխություններ: Որևէ ֆիզիկական երևոյթ նկարագրելու համար նախ պետք է ունենալ որոշակի կորդինատական համակարգ և ժամանակը չափող միջոց, որը սովորաբար իրագործվում է պարբերական պրոցեսների հիման վրա աշխատող սարքի օգնությամբ (ժամացույց): Կորդինատական համակարգն ու նրա հետ կապված ժամացույցը միասին կոչվում են հաշվարկման համակարգ: Միայն հաշվարկման որոշակի համակարգ ունենալուց հետո կարելի է խոսել տարածության մեջ նյութական կետի շարժման որոշակի օրենքի մասին:

Հաշվարկման համակարգերի անթիվ բազմության մեջ մեխանիկայում հատուկ տեղ են գրավում, այսպես կոչված, հաշվարկման իներցիալ համակարգերը, որոնցում տեղի ունի Նյուտոնի իներցիայի օրենքը, այսինքն՝ մարմիններն արտաքին ուժերի բացակայության դեպքում շարժվում շարժվում են ուղղագիծ հավասարաչափ կամ զոնվում են դադարի վիճակում:

Իներցիալ համակարգի նկատմամբ հաստատում արագությամբ շարժվող կամայական հաշվարկման համակարգ նույնպես կիմի իներցիալ: Այսպես, ենթադրենք ունենք երկու հաշվարկման համակարգեր՝ K և K' (նկ. 1), ըստ որում K համակարգն իներցիալ է, իսկ K' -ը շարժվում է K -ի նկատմամբ հաստատում V արագությամբ, և

ժամանակի սկզբնական $t=0$ պահին երկու համակարգերի կորդինատների սկզբնակետերը համընկնում են: Կամայական P նյութական կետի դիրքը այդ համակարգերում կնկարագրվի համապատասխանաբար $OP = r$ և $O'P = r'$ շառավիղ վեկտորներով, և քանի որ $OO' = Vt$, ապա նկ. 1-ից կունենանք

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}' + Vt : \quad (1)$$

Գրելով (1)-ը պրոյեկցիաներով՝ կստանանք կամայական P նյութական կետի x, y, z և x', y', z' կոորդինատների կապը.

$$\begin{aligned} x' &= a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z - V_x t, \\ y' &= a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z - V_y t, \\ z' &= a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z - V_z t: \end{aligned} \quad (2)$$

Այսուղի՝ a_{11} -ը x և x' առանցքների միջև եղած անկյան կոսինուսն է, a_{12} -ը՝ y և x' -ի, a_{21} -ը՝ x և y' -ի և այլն:

Այն դեպքում, եթե կոորդինատական համակարգերի առանցքները միմյանց զուգահեռ են և շարժումը կատարվում է որևէ առանցքի, օրինակ, x -ի ուղղությամբ (նկ. 2), ունենք.

$$x' = x - Vt, \quad y' = y, \quad z' = z: \quad (3)$$

Այս ձևափոխությունները չենք կոնկրետացնի և կդիտարկենք վեկտորական տեսքով գրված (1) ընդհանուր դեպքը:

Եթե P նյութական կետը շարժվում է կամայական օրենքով, ապա $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ և $\mathbf{r}' = \mathbf{r}'(t)$: Կատարելով ըստ ժամանակի ածանցում՝ $\dot{\mathbf{r}} = d\mathbf{r}/dt$, կստանանք դասական մեխանիկայում արագությունների գումարման օրենքը՝

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{V}, \quad (4)$$

որտեղ $\mathbf{v} = \dot{\mathbf{r}}(t)$, $\mathbf{v}' = \dot{\mathbf{r}}'(t)$ P նյութական կետի շարժման արագություններն են համապատասխանաբար K և K' կոորդինատական համակարգերում:

Ածանցելով (4)-ն ըստ ժամանակի և հաշվի առնելով, որ $\mathbf{V} = \text{const}$, կստանանք

$$\dot{\mathbf{v}} = \dot{\mathbf{v}}', \quad (5)$$

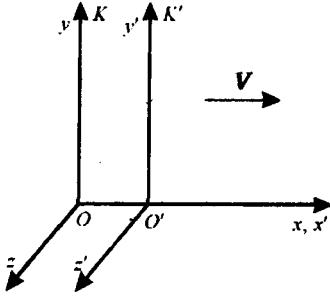
այսինքն, եթե նյութական կետի արագացումը առաջին կոորդինատական համակարգում զրո է, ապա նաև կիյնի զրո նաև մյուս բոլոր համակարգերում, որոնք շարժվում են առաջինի նկատմամբ հաստատում արագությամբ: Դա անթիվ բազմությամբ իներցիալ համակարգերի գոյության ապացույցն է:

Այս դիտարկման ժամանակ ենքաղրեցինք, որ գոյություն ունի մեկ ժամանակ, որն ընդհանուր է բոլոր հաշվարկման համակարգերում, այսինքն՝

$$t = t': \quad (6)$$

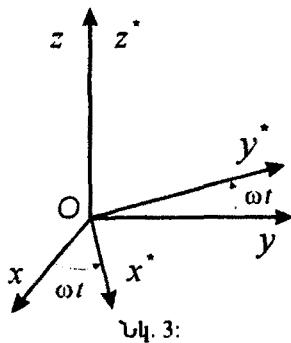
(1) և (6) բանաձևերը տալիս են Գալիլեյի ձևափոխությունների օրենքը, իսկ (4)-ը՝ արագությունների գումարման օրենքը դասական (կամ մինչեւ յունական) մեխանիկայում:

3. Իներցիոն ուժեր: Իներցիալ համակարգերը մեխանիկայում ունեն առանձնահատուկ դեր, որովհետև նրանցում մարմինների շարժումը նկարագրվում է ամենապարզ տեսքով: Ոչ իներցիալ համակարգերում, օրինակ, հաշվարկման պատվիր համակարգերում, նույնիսկ ամենապարզ շարժումները նկարագրվում են բավական բարդ առնչություններով: Այդպիսի համակարգերում չի գործում Նյուտոնի իներցիայի օրենքը և հանդես են գալիս արագացումներ, որոնք պայմանավորված չեն մարմինների փոխազդեցությամբ՝ իրական ուժերով: Բերենք այդպիսի մի օրինակ:



Նկ. 2:

Ենթադրենք ունենք K իմերցիալ համակարգ և K' համակարգ, որի z' առանցքը համընկնում է K համակարգի z առանցքի հետ: Համընկնում են նաև այդ համակարգերի սկզբնակետերը, իսկ x', o', y' հարթությունը պատշվում է օ անկյունային արագությամբ z առանցքի շուրջը (նկ. 3): Այդ դեպքում կամա-



Նկ. 3:

յական P նյութական կետի x, y, z և x', y', z' կոորդինատների կապի համար կստանանք

$$x' = x \cos \omega t + y \sin \omega t, \quad (7)$$

$$y' = -x \sin \omega t + y \cos \omega t,$$

$$z' = z :$$

(7) բանաձևերն իրենց տեսքով նման են (2) ձևափոխություններին, սակայն այս դեպքում α_{ik} գործակիցները արդեն հաստատուններ չեն, այլ կախված են ժամանակից:

Եթե նորից ընդունենք, որ P նյութական կետը շարժվում է կամայական օրենքով, ապա, ածանցելով լստ ժամանակի (7)-ը, կստանանք K և K' համակարգերում այդ կետի արագությունների պրոյեկցիաների միջև հետևյալ առնչությունները.

$$\dot{v}_x' = \omega y' + v_x \cos \omega t + v_y \sin \omega t,$$

$$\dot{v}_y' = -\omega x' + v_y \cos \omega t - v_x \sin \omega t,$$

$$\dot{v}_z' = v_z :$$

Մեկ անգամ ևս ածանցելով լստ ժամանակի (8)-ից կստանանք նաև K և K' համակարգերում նյութական կետի արագացումների պրոյեկցիաների կապը՝

$$\dot{v}_x' = \omega^2 x' + 2\omega v_y' + \dot{v}_x \cos \omega t + \dot{v}_y \sin \omega t,$$

$$\dot{v}_y' = \omega^2 y' - 2\omega v_x' + \dot{v}_y \cos \omega t - \dot{v}_x \sin \omega t,$$

$$\dot{v}_z' = \dot{v}_z :$$

Եթե K իմերցիալ համակարգում նյութական կետի վրա ուժ չի ազդում, ապա

$$\dot{v}_x = \dot{v}_y = \dot{v}_z = 0 :$$

Այս դեպքում (9)-ից ստացվում է, որ K' -ում

$$\dot{v}_x' = \omega^2 x' + 2\omega v_y',$$

$$\dot{v}_y' = \omega^2 y' - 2\omega v_x',$$

$$\dot{v}_z' = 0 :$$

Այսպիսով՝ շնայած նյութական կետի վրա իրական ուժեր չեն ազդում, K' համակարգում նրա արագացման որոշ պրոյեկցիաներ գրոյից տարբեր են, այսինքն՝ այստեղ չի գործում Նյուտոնի իմերցիայի օրենքը: Այդպիսի համակարգերն անվանում են ոչ իմերցիալ համակարգեր: Ստացված արագացումները բազմապատկելով նյութական կետի զանգվածով՝ կստանանք, այսպես կոչված, իմերցիոն ուժեր, որոնք իրական չեն, քանի որ պայմանավորված չեն նյութական կետերի միջև գործող փոխազդեցություններով: $m\omega^2 x'$ և $m\omega^2 y'$ անդամները

կենտրոնախույս ուժի պրոյեկցիաներն են, իսկ $2m\omega^*$ և $2m\omega_x^*$ անդամները՝ Կորիոլիսի ուժի պրոյեկցիաները:

4. **Հեռագղեցություն և մերձազդեցություն:** Էլեկտրադիմամիկայի ստեղծումից առաջ ֆիզիկայում հայտնի ուժերը՝ ինչպես օրինակ, ծգողականության, էլեկտրաստատիկ, վանդերվալյան, կախված են միայն փոխազդող նյութական կետերի փոխադարձ հեռավորություններից և ուղղված են այդ կետերը միացնող ուղղութերով: Եթե սահմանափակվենք այդպիսի ուժերով, ապա կարելի է ստուգել, որ նյուտոնյան մեխանիկայի շարժման հավասարումները չեն փոխում իրենց տեսքը Գալիլեյի ձևափոխությունների նկատմամբ: Դրանում համոզվելու համար դիտարկենք փոխազդող նյութական կետերի համակարգը $U(|r_i - r_k|)$ պոտենցիալ դաշտում, որտեղ r_k -ն k -րդ կետի շառավիղ վեկտորն է: Քանի որ

$$m\ddot{r}_k = - \sum_{i \neq k} \frac{\partial U(|r_i - r_k|)}{\partial r_k}, \quad k, i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

շարժման հավասարումները պարունակում են միայն նյութական կետերի արագումները և շառավիղ վեկտորների տարրերությունները, ապա, կատարելով Գալիլեյի (1) և (6) ձևափոխությունները, (11)-ից կստանանք

$$m\ddot{r}'_k = - \sum_{i \neq k} \frac{\partial U(|r'_i - r'_k|)}{\partial r'_k}, \quad k, i = 1, 2, \dots, n: \quad (12)$$

Տարբեր կոորդինատական համակարգերում շարժման հավասարումների նույնատիպ տեսքն, իհարկե, չի նշանակում, որ շարժումը նույնպես կլինի նույնատիպ: Բանն այն է, որ հետազօթի որոշման համար անհրաժեշտ է տալ որոշակի սկզբնական պայմաններ: Ու եթե երկու համակարգերում էլ սկզբնական պայմանները տրվեն միևնույն ձևով, ապա մեխանիկայի հավասարումները այդ համակարգերում կունենան համընկնող լուծումներ: Գալիլեյի ձևափոխությունների նկատմամբ մեխանիկայի հավասարումների անփոփոխ մնալու հատկությունն ընդունված է անվանել Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունք:

Այլ է վիճակը էլեկտրադիմամիկայում: Այստեղ ուժը կարող է կախված լինել արագությունից, ինչպես նաև ուղղված չլինել դաշտի ադրյուրը և փորձնական լիցքը միացնող ուղղությունից: Բացի այդ, անհրաժեշտ է հիշատակել նաև մի շատ կարևոր հանգամանք. Գալիլեյի (2) արագությունների գումարման օրենքից հետևում է, որ հենարավոր է անսահման մեծ արագությունների գոյություն: Իրոք, եթե նյութական կետը կամ որևէ ֆիզիկական ազդանշան մի իներցիալ համակարգում ունի վերջավոր \mathbf{v} արագություն, ապա մյուսում նրա արագությունը կարող է ավելանալ V -ով և այդ տրամաբանությամբ հասնել ցանկացած մեծ արժեքի: Այսպիսի հնարավորությունն արտացոլված է նաև Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքում, որը հիմնված է նյութական կետերի միջև ակնքարբորեն կամ, որ նույնն է, անսահման մեծ արագությամբ տարածվող փոխազդեցության վրա: Այսպես, եթե i -րդ նյութական կետը նոտեցել է j -րդին Δr_j -ով, ապա, համաձայն (11) շարժման հավասարման, $U(|r_i - r_j|)$ պոտենցիալ դաշտն

ակնքարբորեն կփոխարինվի $U(|r_i - r_j| - \Delta r_j)$ -ով: Ստացվում է, որ i -րդ և j -րդ նյութական կետերի միջև գտնվող տարածության կետերը ոչ մի նշանակություն

չունեն այդ փոխագրեցության տարածման համար: Այդ պատճառով այս տեսական տարբերակն անվանվել է հեռազդեցություն: Այդիսին են բոլոր ստատիկ փոխագրեցությունները (Կուլոնի օրենք, Նյուտոնի գգողականության օրենք և այլն): Եվ թեպես ստատիկ դեպքում էլ խոսվում է պոտենցիալ դաշտի նախն, այն ունի ձևական՝ մաքենատիկական իմաստ:

Հակառակ նշվածի՝ էլեկտրամագնիսական դաշտը, որը նկարագրվում է Մաքսվելի հավասարումներով, տարածվում է կետից կետ էլեկտրամագնիսական ալիքներով լույսի արագությամբ: Փոխագրեցությունը նկարագրող մեծությունները պոտենցիալները, այստեղ կախված են ոչ միայն կորդինատներից, այլ նաև ժամանակից: Ազդանշանն աղբյուրից մինչև դիտնան կետ (փորձնական լիցը), որոնց միջև հեռավորությունը r է, հասնում է ուշացումով՝ $\Delta t = r/c$ ժամանակ անց: Այստեղ դաշտն իրականություն է, որը պայմանավորված չէ փորձնական լիցը առկայությամբ: Այս տեսակնետը կոչվում է մերձագրեցության տեսություն: Այսպիսով, էլեկտրամագնիսական դաշտի տեսությունը՝ հիմնված Մաքսվելի հավասարումների վրա, ֆիզիկական դաշտի առաջին տեսությունն է:

Ինչպես նշվեց այս պարագրաֆի սկզբում, տարածության և ժամանակի միջևյան պատկերացումները արտացոլված Գալիլեյի (1) և (6) ձևափոխություններում, էլեկտրամագնիսական երևոյթների համար կիանցեցնեին Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի բացառմանը, քանի որ ենթադրվում էր հեռավոր անշարժ աստղերի հետ կապված արտոնյալ (բացարձակ) կորդինատական համակարգի գոյությունը, որտեղ նյութից ազատ տարածությունում լույսի արագությունը c է: Մյուս ինքնորդիալ համակարգերում, որոնք բացարձակ համակարգի նկատմամբ շարժվում են $\pm V$ արագությամբ, լույսի արագությունը կտացվեր $c \pm V$: Մաքենատիկորեն Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի էլեկտրադինամիկայում չգործելը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ Մաքսվելի հավասարումները, որոնց մեջ մտնում է լույսի c արագությունը, Գալիլեյի ձևափոխությունների դեպքում փոխվում են իրենց տեսքը:

5. Մայթելսնի փորձը: Ֆիզիկական տեսության ճշմարտացիության չափանիշը նրա հաստատումն է փորձի միջոցով: Այդ պատճառով էլ 19-րդ և 20-րդ դարերի սահմանագծում էլեկտրադինամիկայի առջև ծառացած հիմնական հարցը բացարձակ հաշվարկման համակարգի արագության որոշումն էր: Այդ առնչությամբ կատարվեցին տարբեր փորձեր, որոնք բազմաթիվ նշանակոր ֆիզիկոնների հնարամտության և համառության վառ օրինակներ էին: Բոլոր փորձերը ըստ $\beta = V/c$ պարամետրի բաժանվեցին առաջին և երկրորդ աստիճանի, որոնք համապատասխանաբար կոչվեցին առաջին և երկրորդ կարգի փորձեր: Այստեղ V -ն սարքի արագությունն է բացարձակ համակարգի նկատմամբ, որտեղ լույսի արագությունը c է (կամ, որ նոյնն է, եթերն անշարժ է): Լույսները ստեղծեց մի տեսություն, որը կարողացավ բացատրել բոլոր առաջին կարգի փորձերը, և որպեսզի հայտնաբերվեր բացարձակ համակարգը (**Եթերային քամիթ**), անհրաժեշտ էր դիտարկել այնպիսի փորձեր, որոնց արդյունքը լիներ համեմատական β^2 -ուն: Այդիսին էր Մայթելսնի փորձը [2]: 1881 և 1887 թթ., այնուհետև ավելի կատարելագործված՝ 1905թ.: Այստեղ հարկ չենք համարում բերել փորձի նկարագրությունը: Նշենք միայն, որ նրա արդյունքը բացասական էր: Ստացվում էր այնպիսի իրավիճակ, եթե փորձարկված սարքը, որն ամրացված էր երկրին, չէր շարժվում եթերի նկատմամբ, քանի որ սարքի հետ ամրացված համակարգում լույսը տարածվում էր c արագությամբ:

§ 2. ՖԻՖԵՐԱՎԱԴԻ ԵՎ ԼՈՐԵՆՑԻ ՎԱՐԿԱԾԸ

Բացարձակ հաշվարկման համակարգի և նրա հետ կապված **անշարժ երերի** մասին տեսության հեղինակը Հ. Ա. Լորենցն էր: Այդ տեսակետի հետ Մայքլսոնի փորձի արդյունքը համաձայնեցնելու համար Ֆիֆերալի և նրանից անկախ Լորենցի [3] կողմից առաջ քաշվեց հետևյալ վարկածը:

Ուղղագիծ հավասարաշափ շարժվող բոլոր մարմինների չափերը շարժման ուղղությամբ կրծառվում են՝ $I(V) = I_0 \sqrt{1 - \beta^2}$ ($\beta = V/c$):

Այդ վարկածն այնպես էր փոփոխում բանաձևերը, որ բացատրելի էր դառնում Մայքլսոնի փորձի բացասական արդյունքը:

Բացարձակ հաշվարկման համակարգի գոյության վերաբերյալ Լորենցի համոզունքն այնքան անսասան էր, որ նա իր փարկածից բխող կրծառման մասին գրել է [4]: «...Մայքլսոնի փորձն ապացուցում է մարմնի չափերի նշված փոփոխությունը, և այս եզրակացությունը ոչ պակաս օրինական է, քան այն հետևողությունները, որոնք մենք անում ենք ջերմային ընդարձակման վերաբերյալ...»:

Սակայն Լորենցը չի սահմանափակվել միայն այս պնդումով, այլ փորձել է տալ իր փարկածին որոշակի ֆիզիկական հիմնավորում, որը հետևյալն է:

Եթե անշարժ ծողն ունի որոշակի երկարություն, ապա այդ ծողը կազմող լիցքավորված մասնիկները գտնվում են այնպիսի հավասարակշուրջան դիրքերում, որոնք ապահովում են այդ երկարությունը: Լորենցը ցույց է տվել, որ եթե տեղի է ունենաւ շարժում բացարձակ համակարգի (երերի) նկատմամբ, բացի էլեկտրական ուժերից հանդես են զայլս նաև մագնիսական ուժեր, և էլեկտրամագնիսական ուժերը ձևափոխվում են այնպես, որ լիցքերի նոր հավասարակշուրջան դիրքերի անցումը հանգեցնում է ծողի շարժման ուղղությամբ նրա կրծառմանը $\sqrt{1 - \beta^2}$ անգամ:

Իհարկե, կարելի էր մտածել, որ լորենցյան կրծառումը պետք է անդրադառնար նաև շարժվող մարմինների փորձով հայտնաբերվող մի շաքր այլ ֆիզիկական հատկությունների վրա: Այսպես՝ պետք է փոփոխեն շարժվող մարմնի բեկման ցուցիչը, դիմադրությունը, քաշը պատրաստած ծողի տատանումների հաճախությունը: Սակայն տարբեր գիտմականների կողմից այդ նպատակով դրված փորձերը միշտ տայլս էին բացասական արդյունք: Ուստի արվեց ևս մեկ վարկած: շարժման ուղղությամբ երկարության կրծառման հետ մեկնեղ շարժվող մարմնի զանգվածը նույնքան անգամ պետք է մեծանա: Այսպես, եթե անշարժ մարմնի զանգվածը m է, ապա բացարձակ համակարգի նկատմամբ V արագությամբ ուղղագիծ հավասարաշափ շարժվող մարմնի զանգվածը կդառնա $m/\sqrt{1 - \beta^2}$, արդյունքում կփոխի հատուցվի երկարության կրծառումը, ինչն էլ ֆիզիկական պարամետրերի փոփոխությունը շախատնաբերելու պատճառ կարող է լինել: Նշենք, որ շարժվող էլեկտրոնի զանգվածի այդպիսի փոփոխությունը հետևում է նաև Լորենցի էլեկտրոնային տեսությունից:

Այսպիսով, արված վարկածները, կամկածի տակ չառնելով բացարձակ հաշվարկման համակարգի և նրա հետ կապված անշարժ երերի գոյությունը, բույս էին տայլս փորձերի միջոցով նրանց հայտնաբերման անհնարինությունը բացատրել հանգամանքների անբարենպաստությամբ: Այդ առիթով Լորենցը գրում էր [4], որ շարժվող միջավայրում էլեկտրամագնիսական երևույթները քննարկելիս առաջընթաց հնարավոր չեն առանց վարկածների, նույնիսկ, եթե դրանք առաջին հայացքից թվում են որոշ չափով տարօրինակ:

1904թ. Լորենցը [5] կարողացավ գտնել կոօրդինատների այն ձևափոխությունները, որոնք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում անփոփոխ էին թողնում Մաքսվելի հավասարումները՝ զրկած լիցքերից ազատ տարածության համար ($\rho = j = 0$): Այսպես, եթե շարժումը տեղի է ունենում x առանցքի ուղղությամբ $V = \text{const}$ արագությամբ այնպես, որ $x' = Vt$ և $x' = x - Vt$ հարթությունները համապատասխանաբար համընկնում են xoy և xoz հարթությունների հետ (նկ.2), ապա այդ ձևափոխությունները, որոնք ֆիզիկայում հայտնի են որպես Լորենցի ձևափոխություններ, ունեն հետևյալ տեսքը.

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (13)$$

Չարժվող համակարգում Մաքսվելի հավասարումները (13) ձևափոխությունների դեպքում կունենան նույն տեսքը, եթե շարժման ուղղությամբ դաշտի լարվածությունների պրոյեկցիաները մնան անփոփոխ՝ $E'_x = E_x$ և $B'_x = B_x$, իսկ արագությանն ուղղահայաց բաղադրիչները փոփոխվեն:

$$E'_\perp = \frac{E_\perp + \frac{1}{c}[V \times B]}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad B'_\perp = \frac{B_\perp + \frac{1}{c}[E \times V]}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Օրենքով: (13) ձևափոխությունները ոչ միայն անփոփոխ են թողնում Մաքսվելի հավասարումները, այլ նաև բացատրում են ծոռի լորենցյան կրճատումը:

Ալբրետը առկայության դեպքում Մաքսվելի հավասարումների տեսքը մեկ իմերցիալ համակարգից մյուսին անցնելիս չէր պահպանվում: Այդ դժվարությունը 1905թ. Էյնշտեյնի աշխատանքի լրաց տեսնելուց երեք ամիս առաջ հաղթահարեց Պուանկարեն [6]: Նա ցույց տվեց, որ լիցքի և հոսանքի խտությունների համապատասխան ձևափոխության դեպքում Մաքսվելի բոլոր հավասարումները պահպանում են իրենց տեսքը (13) ձևափոխությունների նկատմամբ:

Այստեղ անհրաժեշտ է նշել, որ մեկ այլ կապակցությամբ դեռևս 1900թ. Լարմորը նույնպես գրել էր (13) ձևափոխությունները:

Սակայն ոչ Լորենցը, ոչ Պուանկարեն, ոչ էլ Լարմորը չուվեցին այդ ձևափոխությունների ֆիզիկական բացատրությունը, համարելով այն ձևական մաթեմատիկական մեթոդ, որն անփոփոխ էր թողնում Մաքսվելի հավասարումները: Այսպես, չնայած (13) բանաձեռում ձևափոխվում է նաև ժամանակը, t' ժամանակին, որը Լորենցն անվանում էր տեղական ժամանակ, չէր տրվում ոչ մի ֆիզիկական իմաստ: t' ժամանակը շարունակում էր կատարել համապիտանի (ունիվերսալ) ժամանակի դեր, իսկ t' -ը համարվում էր ձևական մաթեմատիկական մեծություն: Էյնշտեյնի կողմից հարաբերականության հատուկ տեսության ստեղծումից հետո խոսնելով իր տեսության անհաջողության մասին, Լորենցը գրել է [4]. «Իմ անհաջողության հիմնական պատճառը հետևյալն էր. ես միշտ այն մտքին էի, որ t' տեղական ժամանակը պետք է դիտվի միայն որպես օժանդակ մաթեմատիկական մեծություն: Հակառակ դրան՝ Էյնշտեյնի տեսությունում t' -ը կատարում է նույն դերը, ինչ որ t -ն: Եթե մենք ուզում ենք նկարագրել երևոյթները կախված x', y', z', t' -ից, պետք է գործողություններ կատարենք այս փոփոխականների հետ»:

Այստեղ հարկ համարեցինք մանրամասն ծանրանալ վաղուց արդեն գիտության պատմության էջեր դարձած այս հարցերի վրա, որպեսզի պարզ դառնար, թե որքան էր հասունացել նոր տեսության ստեղծման անհրաժեշտությունը: Այդիսի առաքելությամբ հանդես եկավ Եյնշտեյնը:

§ 3. ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՏՈՒԿ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԿԱՆԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆԵՐԸ

Չնայած այն բանին, որ նշված վարկածների հիման վրա Լորենցին հաջողվեց բացատրել բոլոր փորձերը և այդ թվում ամենից առաջ Մայքլսոնի փորձը, գիտնականների հետազոտական բնագդը, այնուամենայնիվ, բավարարված չէր, իսկ հարաբերականության սկզբունքի սահմանափակումը մեխանիկայի օրենքներով թվում էր խիստ արիեստական: Մյուս կողմից, այդ սահմանափակումն ինքնանպատակ չէր, այլ ինչպես ցոյց տրվեց § 1-ում, հետևում էր տարածության և ժամանակի վերաբերյալ նյուտոնյան պատկերացումներից և որպես հետևանք՝ Գալիլեյի ծևափոխություններից:

Եյնշտեյնը, ի տարբերություն մյուս գիտնականների, Մայքլսոնի փորձի արդյունքը բացատրելու համար շառաջարկեց չիմնավորված վարկածներ, որոնց հիմնական նպատակն էր այդ փորձի արդյունքը համաձայնեցնել անշարժ երերի և նրա հետ կապված արտոնյալ հաշվարկման համակարգի գոյության հետ: Եյնշտեյնը համարեց, որ հարաբերականության սկզբունքը ճիշտ է ոչ միայն մեխանիկայում, այլ նաև ամբողջ ֆիզիկայում: Հիմնվելով Մայքլսոնի փորձի վրա՝ Եյնշտեյնը եկավ այն եզրակացության, որ սկզբունքորեն հնարավոր չէ տարբերել, թե երկու համակարգերից որն է գտնվում դադարի վիճակում և որը շարժվում, այսինքն՝ տարբեր իներցիալ համակարգերում էլեկտրամագնիսական երևույթներն ընթանում են միատեսակ ձևով: Այս պնդումը ծևակերպվեց հարաբերականության հատուկ տեսության երկու կանխադրույթներում.

1. Հարաբերականության կանխադրույթը: Բնության յուրաքանչյուր օրենք միևնույն տեսքն ունի ցանկացած իներցիալ հաշվարկման համակարգում: Ասած վերաբերում է ոչ միայն մեխանիկայի բնագավառին, այլև ամբողջ ֆիզիկային, մասնավորապես՝ էլեկտրամագնիսական երևույթներին:

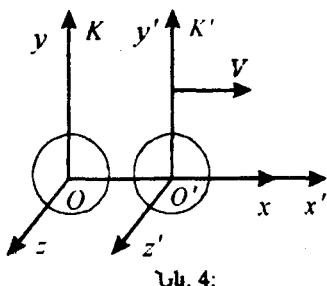
2. Լույսի արագության հաստատում լինելու կանխադրույթը: Դատարկության մեջ լույսը բոլոր ուղղություններով տարածվում է միատեսակ (իզոտրոպ): Իներցիալ հաշվարկման համակարգերի նկատմամբ նրա արագությունը բացարձակ մեծություն է, որն անկախ է աղբյուրի արագությունից՝ $c = 3 \cdot 10^{10}$ սմ/վ.

Երկրորդ պնդումն առանձնացվում է որպես առանձին կանխադրույթ՝ լինդգանի համար նոր տեսության կառուցման գործում իներցիալ համակարգերում լույսի արագության հաստատում լինելու կարևորությունը: Ստորև ցոյց կտրվի, որ ժամանակի վերաբերյալ Եյնշտեյնյան պատկերացումների համար լույսի արագության հաստատում լինելն ունի նույն դեքը, ինչպիսին պինդ մարմնի գոյությունը՝ տարածության չափագրման համար:

Ցոյց տանք, որ եթե նոյնիսկ Գալիլեյի արագությունների գումարման (4) օրենքը ճիշտ լիներ միայն նյութական կետերի համար և լույսին չվերաբերեր, ապա միևնույնն է՝ նյուտոնյան տարածաժամանակային պատկերացումների սահմաններում երկրորդ կանխադրույթը կհակասեր առաջինին: Այդ բանը ցայտում երևում է հետևյալ պարզ օրինակից, որը հայտնի է որպես լուսային գնդուրտի հարակարծություն (պարադրու) [7]:

Ենթադրենք ունենք երկու իներցիալ K և K' համակարգեր, որոնք շարժվում են x առանցքի ուղղությամբ՝ միմյանց նկատմամբ V արագությամբ (նկ.4): Այն պահին, եթք այդ համակարգերի O և O' սկզբնակետերը համընկնում են, O կետում տեղի է ունենում լուսային ազդանշանի կարծատև բռնկում: Ի ժամանակ անց K համակարգում այդ ազդանշանի տարածման ճակատը կգտնվի $r = ct$ շառավղով գնդոլորտի մակերևույթի վրա, որի համար

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2 : \quad (14)$$



այսինքն՝

Հարաբերականության կանխադրույթի համաձայն K' համակարգում նույն ազդանշանի տարածման ճակատը կգտնվի O' կենտրոնով և $r' = ct$ շառավղով գնդոլորտի մակերևույթի վրա,

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = (ct)^2 :$$

Գալիլեյի ձևափոխությունների (3) բանաձևի վերջին արտահայտությունը կհանգի

$$(x - Vt)^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2$$

տեսրի, որը հակասում է (14)-ին: Ստացվեց հարակարծություն, որը ցույց է տալիս, որ նյուտոնյան տարածաժամանակային պատկերացումների սահմաններում Ենշտենի երկու կանխադրույթներն անհամատելի են:

Որպեսզի պարզ դառնա այս դժվարության պատճառը, քննարկենք նույն օրինակն այն դեպքում, եթք O և O' կետերի համընկնելու պահին պայթում է O կետում դադարի վիճակում գտնվող նյութական կետը, որի բեկորներն այնուհետև հավասարաչափ տարածվում են բոլոր ուղղություններով: Նրանց տարածման ճակատը կլինի O կենտրոնով գնդոլորտի մակերևույթը, և դա չի հակասի հարաբերականության կանխադրույթին, քանի որ սկզբնական պահին K համակարգում նյութական կետը դադարի վիճակում էր, իսկ K' -ում նա շարժվում էր:

Այսպիսով, նյութական կետի սկզբնական շարժումն իր ազդեցությունն է բռնում բեկորների շարժման վրա, որոնց արագությունն անկախ չէ նյութական կետի արագությունից, որի պատճառով էլ, ի տարբերություն լուսային գնդոլորտի, տվյալ դեպքում հակասություն չի առաջանում:

Եթե լույսի տարածման դեպքում էլ ընդունեինք, որ նրա արագությունը, ինչպես մեխանիկայում, կախված է աղբյուրի շարժման արագությունից՝ այսինքն հրաժարվենք երկրորդ կանխադրույթից, ապա ոչ մի հակասություն Գալիլեյի ձևափոխությունների հետ (կամ, որ նույնն է, նյուտոնյան տարածաժամանակային պատկերացումների հետ) չի առաջանա: Բայց լույսի արագության անկախությունն աղբյուրի արագությունից հետևում է Մաքսվելի հավասարումներից, և հրաժարվել երկրորդ կանխադրույթից նույնն է՝ թե հրաժարվել Մաքսվելի հավասարումներից: Ինչպես արդեն նշել ենք, որոշիչ խոսքը ֆիզիկայում փորձինն է: Եթե նույնիսկ մի պահ անտեսենք այն հիմնարար փորձերը, որոնք ընկած են Մաքսվելի տեսության հիմքում, ապա կրկնակի աստղերի դիտման հետ կապված դե-Սիտտերի փորձը [8] հաստատում է, որ լույսի արագությունը կախված չէ աղբյուրի արագությունից: Հետևաբար, փորձերը միայն հաստատում են երկրորդ

կանխադրույթը: Եյնշտեյնի արտառոց համարձակությունը կայանում էր հենց նրանում, որ նա, չվախենալով երկու կանխադրույթների բվացող հակասությունից, ցույց տվեց, որ Վերջինիս լուծումը պետք է փնտրել Գալիլեյի ձևափոխություններում: Այս կապակցությամբ նշենք, որ հարաբերականության տեսությունն ուսումնասիրելու համար անհրաժեշտ է ոչ միայն իմանալ ֆիզիկական երևույթները, որոնց բացատրության համար ստեղծվել է այդ տեսությունը (դրա համար ունենալով համապատասխան մաթեմատիկական պատրաստվածություն), այլ նաև, որ շատ կարելու է, կարողանալ մեկ անգամ ևս համարձակորեն քննադատարար վերանայել սովորական դարձած ֆիզիկական գաղափարները:

Լույսի արագության անկախությունն աղբյուրի շարժումից և նրա տարածման հնարավորությունը դատարկությունում, ինչպես նշեցինք, հետևում է Սարսկելի տեսությունից և հաստատվում փորձով: Ծիծու է, գոյություն չունի բացարձակ դատարկություն: Նոյնիսկ միջազգական տարածությունում նյութի խոտությունը զրո չէ: Սակայն այդպիսի նոսր նյութում, որտեղ մասնիկների նիջն ենուավորությունը շատ անզամ մեծ է ալիքի երկարությունից, այդ մասնիկները էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման համար չեն կարող կատարել այն դերը, որ կատարում են հոգ միջազգայրում մեխանիկական (ճայնային) ալիքների տարածման դեպքում: Ուստի կարող ենք եզրակացնել, որ էլեկտրամագնիսական ալիքները, ի տարբերություն ճայնային ալիքների, տարածվում են նաև դատարկությունում: Քանի որ դատարկությունը հնարավոր չէ կապել որևէ համակարգի հետ, ապա լույսի արագությունը դատարկության մեջ բացարձակ մեծություն է: Պարզապես այս պնդումն անհամատեղելի է տարածության և ժամանակի նյուտոնյան պատկերացումների հետ:

Ֆիզիկայի այն բաժինը, որտեղ հարաբերականության սկզբունքը քննարկվում է միայն իներցիալ հաշվարկման համակարգերում, կոչվում է հարաբերականության հատուկ տեսություն, որը ձևակերպվել է 1905թ. Եյնշտեյնի կողմից: Այս տեսության հիմնական խնդիրն է տարածաժամանակային կապերի վերլուծությունը՝ հիմնված վերը բերված կանխադրույթների վրա, ուստի այն դրւու է զալիս էլեկտրադիմամիկայի սահմաններից՝ դառնալով համաֆիզիկական տեսություն: Սակայն հարաբերականության հատուկ տեսությունը սովորաբար շարադրվում է էլեկտրադիմամիկայի դասընթացում: Դա պայմանավորված է ոչ միայն նրանով, որ պատմականորեն այն ստեղծվել է էլեկտրադիմամիկայի հիմնահարցերի առնչությամբ և էլեկտրադիմամիկան իր հիմնական օրենքներով (Մաքսվելի հավասարումներով) ի սկզբանե բավարարում է այդ տեսության պահանջներին, այլ նաև նրանով, որ հարաբերականության հատուկ տեսության դրույթներն արդյունավետորեն կիրառվում են արագ շարժվող լիցքավորված մասնիկներին վերաբերող խնդիրներում:

Հարաբերականության սկզբունքը անհրաժեշտ է քննարկել նաև գրավիտացիոն դաշտի առկայությամբ: Այդ դեպքում ուսումնասիրության շրջանակները ընդլայնվում են նաև ոչ իներցիալ համակարգերի վրա: Ինոր, ձգողականության դաշտի ազետցությամբ փորձարկվող մարմինը շարժվում է զանգվածից անկախ հաստատուն արագացումով: Բացի այդ, սովորաբար ծգողականության առկայությամբ հանդես է զալիս նաև պտտական շարժում, որը նոյնպես հանգեցնում է հարաբերականության սկզբունքի քննարկման անհրաժեշտությանը ոչ իներցիալ համակարգերում: 1915թ. Եյնշտեյնի կողմից ստեղծվեց հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը, որտեղ քննարկվում է հարաբերականության սկզբունքը հաշվարկման բոլոր համակարգերում՝ ներառյալ ոչ իներցիալները: Այդ տեսու-

թյունում քննարկվում են մեծ զանգված կամ մեծ խտություն ունեցող մարմինների ձգողականության դաշտերը: Այստեղ մենք չենք անդրադառնա այդ տեսությանը:

Արդեն նշել ենք, որ Գալիլեյի ծևափոխություններն անհամատենելի են հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթների հետ: Հետևաբար, անհրաժեշտ են այնպիսի ծևափոխություններ, որոնք գերծ լինեն այդ թերությունից և փոքր արագությունների դեպքում ($V << c$) հաճախ Գալիլեյի ծևափոխություններին: Այդ խնդիրը լուծելու համար Էյնշտեյնը ցույց տվեց, որ նախ անհրաժեշտ է տալ հստակ սահմանումներ, թե ինչպես չափել անշարժ և շարժվող մարմինների երկարությունները, ինչպես համաձայնեցնել տարրեր կետերում տեղադրված ժամացույցների աշխատանքը կամ, որ նույնն է, այդպիսի կետերում տերի ունեցած n° պատահարները համարել միաժամանակյա, ինչպես համեմատել երկու պատահարների միջև ժամանակահատվածը տարրեր իներցիալ համակարգերում: Այս հարցերին է նվիրված հաջորդ պարագրաֆը:

§ 4. ՏԱՐԱԾՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԺԱՄԱՆԱԿԻ ՉԱՓԱԳՐՈՒՄՆ ԸՍՏ ԷՅՆԾՏԵՑՆԻ

Տարածության և ժամանակի չափագրումը հարաբերականության տեսության հիմնաքարն է: Համաձայն Էյնշտեյնի, նախ անհրաժեշտ է տալ հստակ սահմանումներ, թե ինչպես կատարել այդ չափագրումը: Առաջին հայացքից թվում է, թե խոսքը շատ պարզ գաղափարների մասին է: Սակայն այդպիսի սահմանումների ծևակերպումը ոչ թե ցանկություն է, այլ անհրաժեշտություն: Իրոք, հենց դրանց բացակայությունը նյուտոնյան տեսությունում հանգեցրեց այն անորոշություններին և դժվարություններին, որոնք այդ տեսությունը անհամատեղի դարձրեցին հարաբերականության հատուկ տեսության արդեն իսկ փորձով հաստատված կանխադրույթների հետ:

Սկսենք այն պարզ հարցից, թե ինչպես չափել անշարժ մարմնի երկարությունը: Նշենք, որ համաձայն հարաբերականության հատուկ տեսության դրույթների, ընդհանուր առմամբ, գոյություն չունեն բացարձակ պինդ մարմիններ: Նախ անհրաժեշտ է տալ այդպիսի մարմնի սահմանումը: Բացարձակ պինդ (կամ չդեֆորմացվող) պետք է համարել այն մարմնը, որից պատրաստած ծողի մեկ ծայրը շարժելիս մյուս ծայրը սկսում է շարժվել նրա հետ միաժամանակ: Հաջորդ պարագրաֆում ցույց կտրվի, որ, համաձայն հարաբերականության տեսության, բնության մեջ չկան լույսի արագությունից մեծ արագություններ: Հետևաբար, ծողի մյուս ծայրը չի կարող շարժվել առաջինի հետ միաժամանակ, քանի որ նյութի մասնիկների միջև փոխազդեցույթան տարածման արագությունը չի կարող գերազանցել լույսի արագությունը: / Երկարություն ունեցող ծողի ծայրը կշարժվի ուշացումով՝ $\tau_{n_2} \geq l/c$, որը և նշանակում է, որ գոյություն չունի բացարձակ չդեֆորմացվող մարմին: Սակայն, եթե ծողը շարժենք լույսի արագությունից շատ փոքր արագությամբ ($v/c << 1$), ապա այդ դեֆորմացիայի մեծությունը նույնական կլինի շատ փոքր:

$$\Delta l/l \leq v/c,$$

և գրյական մոտավորությամբ կարելի է պնդել, որ մարմինը բացարձակ պինդ է: Ունենալով այդպիսի մարմնից պատրաստված երկարության չափանմուշ՝ նրա միջոցով կարող ենք որոշել անշարժ մարմնի երկարությունը:

Սրան համարժեք է նաև անշարժ մարմնի երկարությունը չափելու մեկ այլ սահմանում, որը հետևյալն է:

Դեկարտյան կոորդինատական առանցքները տրոհենք չափանմուշի երկարության հատվածների և տրոհման կետերից տանենք միջյանց զուգահեռ հարբույնների երեք ընտանիքներ, որոնց հատումները կտրոհեն ամբողջ տարածությունը կոորդինատական ցանցի: Այդ ցանցի գագաթները կորոշվեն երեք թվերով, որոնք ցույց են տալիս, թե չափանմուշը քանի անգամ է տեղադրվել համապատասխան ուղղությամբ: Կոտորակային թվերով կարելի է բնորոշել նաև կոորդինատական ցանցի միջանկյալ կետերը: Այսպիսով, տարածության բոլոր կետերը կը նորոշվեն x , y , z երեք թվերով՝ կոորդինատներով: Եթե անշարժ ծողի ծայրերը համապատասխանաբար գտնվում են (x_1, y_1, z_1) և (x_2, y_2, z_2) կետերում, ապա նրա $/$ երկարությունը, ըստ սահմանման, կլինի:

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}:$$

Բերված սահմանումը վերաբերում է բոլոր իներցիալ համակարգերին: Հարց է առաջանաւ միջավայրի այդպիսի համակարգերում երկարության նույն չափանմուշը: Դա կարելի է անել, եթե նույն չափանմուշը տեղադրվի շարժման ուղղությանն ուղղահայց և նրա երկու ծայրերից միաժամանակ նշում արվի շարժվող համակարգի համապատասխան առանցքի վրա:

Անցնենք ժամանակի հետ առնչվող հարցերին: Նյութական կետի շարժումը նկարագրվում է նրա կոորդինատի ժամանակից կախվածությամբ՝ $r(t)$ ֆունկցիայով, որը ֆիզիկական իմաստ ունի միայն այն դեպքում, եթե նախապես պարզված է, թե ի՞նչ է ժամանակը: Սովորաբար ժամանակը նույնացվում է այն ժամացույցի ցուցմունքի հետ, որի մոտ տեղի է ունեցել պատահարը: Բայց մարմինը ժամանակի տարրեր պահերին գտնվում է տարածության տարրեր կետերում: Հետևաբար հարց է առաջանաւ: Ո՞ր կետի ժամացույցի ցուցմունքը տեղադրել շարժման օրենքում: Նյուտոնյան մեխանիկայում որպես ժամանակ ընդունում են դիտորդի ժամացույցի ցուցմունքը: Սակայն եթե դիտորդն իր ժամացույցի միջոցով որոշում է տարրեր կետերում գտնվող նյութական կետի դիրքերը, ապա հաշվի չի առնվում τ_{n_2} ուշացման ժամանակը՝ այն ժամանակահատվածը, որն անհրաժեշտ է, որպեսզի լույսը տարածվի այդ կետից մինչև դիտորդը՝ $\tau_{n_2} = r/c$: Դա ճիշտ կիխներ, եթե լույսի արագությունը լիներ անվերջ: Հետաքրքիր է նշել, որ Ռյոմերի կողմից լույսի արագության չափումը (1675թ.) կատարվել է Նյուտոնի մեխանիկային վերաբերող հիմնարար աշխատության հրապարակում (1687թ.) ավելի քան տասը տարի առաջ: Ինչնե, լույսի արագության համեմատ փոքր արագությունների ($v \ll c$) և ոչ շատ մեծ հեռավորությունների դեպքում նյուտոնյան մոտեցումը չեր առաջացնում զգալի սխալ: Սակայն նյուտոնյան մեխանիկայում առկա էր ժամանակի հետ կապված նշված անորոշությունը: Հենց այս պարզ, բայց և շատ նուրբ հարցին առաջինն ուշադրություն դարձրեց Էյնշտեյնը (1905թ.) հարաբերականության հատուկ տեսությանը նվիրված իր հիմնարար աշխատությունում: Այստեղ կիխնենք այդ աշխատության հիմնական դրույթներին:

Բոլոր այն դեպքերում, եթե հանդիս է զալիս ժամանակը, դատողություններ են արվում երկու միաժամանակ տեղի ունեցած երկույթների վերաբերյալ որոնցից մեկը ժամացույցի ցուցմունքն է, իսկ մյուսը՝ այդ ժամացույցի մոտ ցուցմունքի պահին տեղի ունեցած պատահարը: Ժամացույցի այդ ցուցմունքը նույնացվում է տեղի ունեցած պատահարի ժամանակի հետ:

Իսկ ինչպես վարվել այն դեպքում, եթե պատահարը տեղի է ունեցել ժամացույցի հեռու գտնվող կետում: Եթե այս դեպքում էլ, ինչպես նախորդում, պատահարի ժամանակը նույնացվի ժամացույցի այն ցուցմունքի հետ, եթե հեռվում տեղի ունեցած պատահարից լույսը հասնում է դիտորդին, ապա լույսի արագության վերջավիր լինելու հետևանքով այդպիսի համադրումն անկախ չի լինի այն կետի կորդինատներից, որտեղ տեղի է ունեցել պատահարը: Հետևաբար, անհրաժեշտություն է առաջանում տարածության բոլոր կետերում ունենալ ժամացույցներ, որոնց ցուցմունքով էլ կարելի է որոշել այդ կետերում տեղի ունեցած պատահարների ժամանակը: Բայց այդպիսի ժամացույցներն իմաստ կունենան միայն այն դեպքում, եթե նրանք աշխատեն համաձայնեցված՝ համաժամանակ (սինքրոն): Ընդ որում ժամացույցների համաժամանակյա լինելը պետք է սահմանվի այնպես, որ դա հնարավոր լինի սոուզել ցանկացած պահին, առանց ժամացույցների տեղաշարժի: Բացի այդ, քանի դեռ չի տրված համաժամանակ աշխատող ժամացույցների սահմանումը և, հետևաբար, հստակ չի սահմանված ժամանակը, ապա անհիմաստ է խոսել արագության մասին, այսինքն՝ առանց ժամանակի հստակ սահմանման արագությունը նույնպես անորոշ է: Հետևաբար համաժամանակացման սահմանումը պետք է տրվի առանց արագության մասնակցության, մասնավորապես առանց լույսի արագության: Հակառակ դեպքում կունենանք փակ շղթա:

Եվ այսպես, ժամացույցների համաժամանակացման համար Էյնշտեյնը առաջարկում է հետևյալ մտային փորձը:

Ենթադրենք որևէ իներցիալ համակարգի կամայական A և B կետերում տեղադրված են երկու միաւուսակ ժամացույցներ, որոնց ցուցմունքներով կարելի է որոշել այդ կետերում տեղի ունեցած պատահարների ժամանակները: Անվանենք այդ ժամանակները համապատասխանաբար “ A -ժամանակ” և “ B -ժամանակ”: Իսկ ինչպես սահմանել A և B կետերի համար ընդհանուր ժամանակ, չե՞նո՞ւ որ միայն այդ դեպքում ժամանակը կունենա իմաստ: Այդ քանին կարելի է հասնել, եթե սահմանենք, որ A -ից B լույսի անցնելու ժամանակը հակասար է B -ից A լույսի անցնելու ժամանակին: Այսպես, ենթադրենք “ A -ժամանակի” t_A պահին լույսի ճառագայթը տարածվում է A կետից B կետ, իսկ B -ից հակառակ ուղղությամբ անդրադառնում է “ B -ժամանակի” t_B պահին և հասնում է նորից A կետ “ A -ժամանակի” t'_A պահին: Ըստ սահմանման, A և B կետերի ժամացույցները կաշխատեն համաժամանակ, եթե

$$t_B - t_A = t'_A - t_B,$$

որտեղից

$$t_B = (t_A + t'_A)/2: \quad (15)$$

Ենթադրվում է, որ վերը բերված համաժամանակացման սահմանումը կարելի է տալ տարածության ցանկացած կետի համար, հետևաբար, տեղի ունեն հետևյալ դրույթները.

1. Եթե A ժամացույցը համաժամանակ է B ժամացույցի հետ, ապա B ժամացույցն էլ համաժամանակ է A ժամացույցի հետ:

2. Եթե A ժամացույցը համաժամանակ է ինչպես B , այնպես էլ C ժամացույցների հետ, ապա B և C ժամացույցները համաժամանակ են միմյանց հետ: Սա հայտնի է որպես տարանցիկության հատկություն:

Այժմ, եթե տրվեց դադարի վիճակում գտնվող համաժամանակ աշխատող ժամացույցների սահմանումը, կարելի է տալ նաև այնպիսի կարևոր ֆիզիկական

գաղափարների սահմանումներ, ինչպիսիք են միաժամանակությունը և ժամանակը:

Միաժամանակ են կոչվում այն պատահարները, որոնք իրենց մոտ տեղադրված դադարի վիճակում գտնվող համաժամանակ աշխատող ժամացույցների ցուցմունքներով տեղի են ունեցել ժամանակի միևնույն պահին:

Պատահարի «ժամանակը» այդ պատահարի մոտ տեղադրված և տարածության մյուս կետերի հետ համաժամանակ աշխատող ժամացույցի ցուցմունքն է այն պահին, երբ տեղի է ունենում պատահարը:

Ունենալով համաժամանակ աշխատող ժամացույցներ՝ կարելի է տալ նաև ցանկացած արագության սահմանում: Մասնավորապես լույսի արագության համար, ըստ վերը բերված մտային փորձի, կունենանք՝

$$c = 2l / (t_A' - t_A), \quad (16)$$

որտեղ l -ը A և B կետերի մեջ եղած հեռավորությունն է: Համաձայն փորձի, այս մեծությունը բացարձակ հաստատում է: Այս անդումը հարաբերականության հատուկ տեսության երկրորդ կանխադրույթի բովանդակությունն է:

Նշենք, որ սկզբունքորեն ճիշտ կիխեր այդ կանխադրույթը ձևակերպել համաժամանակության սահմանումից հետո: Հենց այդպես է վարպել Եյնշտեյնը իր իմմարար աշխատությունում:

Վերը բերված բոլոր սահմանումները, համաձայն առաջին կանխադրույթի, վերաբերում են բոլոր իմերցիալ համակարգերին:

Այժմ պայմանավորվենք, թե ինչպես պետք է կատարել չափումներ շարժվող մարմինների դեպքում: Ենթադրենք ունենք x առանցքով ուղղված ծողությունը դադարի վիճակում I_0 է և որը շարժվում է այդ ուղղությամբ V հաստատում արագությամբ: Դադարի վիճակում գտնվող դիտորդը x առանցքի տարբեր կետերում տեղադրված համաժամանակ աշխատող ժամացույցների ցուցմունքների միջոցով որոշում է, թե որ x_1 և x_2 կետերում էին գտնվում ծողի սկիզբը և վերջը ժամանակի միևնույն պահին: $x_2 - x_1 = l$ տարբերությունը, ըստ սահմանման, կիմի շարժվող ծողի երկարությունը: Հետագայում ցույց կտանք, որ այդ մեծությունը տարբերվում է դադարի վիճակում գտնվող ծողի I_0 երկարությունից:

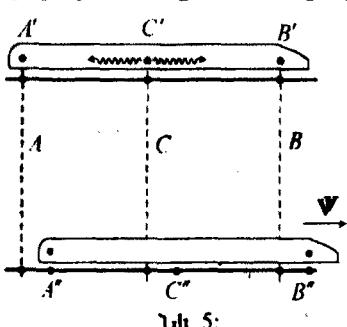
Այստեղ կարևոր է նշել հետևյալ հանգամանքը. եթե անշարժ ծողի երկարությունը չափվում է միայն երկարության չափանմուշի միջոցով, ապա շարժվող ծողի դեպքում չափման մեջ մասնակցություն են ունենում նաև համաժամանակ աշխատող ժամացույցները:

Նմանապես կարելի է որոշել նաև պատահարի տևողությունը, եթե այն տեղի է ունեցել շարժվող համակարգում: Այսպես, ենթադրենք x'_0 կետում, երբ այն գտնվում է անշարժ համակարգի x_1 կետի մոտ, այդ կետում տեղադրված անշարժ ժամացույցի t_1 պահին սկսվել է որևէ պատահար, որն ավարտվել է նոյն x'_0 կետում, երբ վերջինս, V հաստատում արագությամբ շարժվելով, տեղափոխվել է անշարժ համակարգի x_2 կետ: Այդ կետում տեղադրված x_1 կետի ժամացույցի հետ համաժամանակ աշխատող ժամացույցի ցուցմունքը այդ պահին եղել է t_2 : Այդ դեպքում շարժվող համակարգում տեղի ունեցող պատահարի տևողությունը, ըստ սահմանման, կիմի $\Delta t = t_2 - t_1$:

Ուշացություն դարձնենք հետևյալ հանգամանքին. եթե շարժվող մարմնի հետ կապված համակարգում այս ժամանակահատվածը որոշվում է մարմնի մոտ գտնվող ժամացույցի ցուցմունքների տարրերությամբ, ապա անշարժ համակարգում այն կորոշվի երկու տարրեր կետերում գտնվող համաժամանակ աշխատող ժամացույցների ցուցմունքների տարրերությամբ:

Այսպիսով, վերը տրվեցին սահմանումներ, թե ինչպես պետք է շափել երկարությունը և ժամանակը՝ ինչպես անշարժ, այնպես էլ շարժվող մարմնների դեպքում: Համաձայն հարաբերականության կանխադրույթին, այդ սահմանումները վերաբերում են բոլոր իներցիալ համակարգերին: Մնացել է չլուծված հիմնական հարցը. ինչպես են կապված պատահարի կոորդինատները և ժամանակը երկու այդպիսի համակարգերում: Այս հարցի պատասխանը նյուտոնյան մեխանիկայում տրվում էր Գալիլեյի ձևափոխությունների միջոցով, որտեղ ժամանակը համարվում էր միևնույնը բոլոր իներցիալ համակարգերում: Պարզնեն, որն է դրա հիմքը: Նյուտոնյան մեխանիկայում էլ, եթե ասում ենք միևնույն կետում տեղի է ունեցել երկու պատահար, ապա միևնույն կետ հասկացությունը հարաբերական է: Այսպես՝ ենթադրենք ունենք ուղղագիծ հավասարաչափ շարժվող գնացք և նրա x_0' կետում ժամանակի տարրեր պահերին տեղի է ունեցել երկու պատահար: Կառամատույցի վրա գտնվող դիտորդի տեսակետից այդ պատահարները տեղի կունենան տարրեր կետերում, որտեղ հաջորդաբար գտնվել էր շարժվող գնացքի x_0' կետը: Հետևաբար, միևնույն կետ սահմանումը հարաբերական է: Սակայն եթե գնացքի տարրեր երկու կետերում միաժամանակ տեղի է ունեցել երկու պատահար, ապա, համաձայն նյուտոնյան պատկերացումների, կառամատույցի վրա գտնվող դիտորդի տեսակետից այդ պատահարները նույնպես տեղի կունենան միաժամանակ, ինչն էլ արտացոլված է Գալիլեյի ձևափոխություններում որպես բացարձակ ժամանակ:

Ցույց տանք, որ երկրորդ կանխադրույթից հետևում է, որ երկու պատահար կարող է տեղի ունենալ միաժամանակ մեկ իներցիալ համակարգում և ոչ



Նկ. 5:

միաժամանակ մյուսում: Այսինքն՝ համաձայն հարաբերականության տեսության, միաժամանակ լինելը, հետևաբար և ժամանակը, նույնպես հարաբերական է՝ չկա բացարձակ ժամանակ՝ $t \neq t'$:

Ասածը ցույց տանք ո հաստատում արագությամբ ուղղագիծ շարժվող գնացքի օրինակով (Եյնշտեյնի օրինակը), որի $A'B'$ երկարությունը սեփական համակարգում t_0 է: Ենթադրենք գնացքի C' կենտրոնում տեղադրված և նրա

մյուս կետերի հետ համաժամանակ աշխատող ժամացույցի t_0' ցուցմունքի պահին դեպի նրա A' և B' ծայրերն սկսում են տարածվել լույսի ճառագայթներ: Այդ պահին գնացքի A', C', B' կետերը համապատասխանաբար համընկնում են կառամատույցի A, C, B կետերի հետ (նկ. 5) և այդ կետերում տեղադրված համաժամանակ աշխատող ժամացույցների ցուցմունքը t_0 է: Գնացքում գտնվող դիտորդը կասի, որ գնացքի A' և B' ծայրերին լույսը կհասնի միաժամանակ, քանի որ երկու դեպքում էլ նրա անցած ճանապարհը ($t_0/2$) է և լույսի արագու-

թյունը, համաձայն երկրորդ կանխադրույթի, ու է: Այդ պահին A' և B' կետերում տեղադրված ժամացույցների ցուցմունքը կլինի:

$$t_{A'} = t_{B'} = t_0' + l_0 / 2c :$$

Այլ կլինի կառամատույցում գտնվող դիտորդի տեսակետը: Եթե լույսը հասնում է գնացքի ծայրերին, այդ կետերը համապատասխանաբար կգտնվեն կառամատույցի A' , B' դիրքերում: Հետևաբար՝ անշարժ համակարգում լույսի ճառագայթը դեպի գնացքի վերջն անցել է CA' ճանապարհ, իսկ դեպի սկիզբը՝ CB' , և քանի որ, համաձայն երկրորդ կանխադրույթի, այս դեպքում էլ լույսի արագությունը c է, ապա ժամացույցները, որոնք գտնվում են կառամատույցում A' և B' կետերի մոտ, ցույց կտան $t_{A'} = t_0 + (l/2)/(c+v)$, $t_{B'} = t_0 + (l/2)/(c-v)$ ժամանակները, որտեղից հետևում է, որ անշարժ համակարգում այդ նույն երկու պատահարները տեղի են ունենում ոչ միաժամանակ: Ըերված արտահայտություններում l -ը շարժվող գնացքի երկարությունն է, որը որոշվում է կառամատույցի B և A կետերի կորդինատների տարբերությամբ, եթե այդ կետերում տեղադրված համաժամանակ աշխատող ժամացույցների ցուցմունքները նույն են: Ընթերցողին չպետք է զարմացնի, որ շարժվող գնացքի երկարությունն իրեն ամրացված համակարգում l_0 է, իսկ կառամատույցին ամրացվածում l , քանի որ, ինչպես նշվեց վերևում, անշարժ և շարժվող ծողոր (կամ գնացքը) չափվում են տարբեր եղանակներով և ոչ մի տեղից չի հետևում, որ այդպիսի չափումների արդյունքները պետք է լինեն նույնը: Այս հարցն առանձին կրնարկվի § 6-ում:

Այսպիսով՝ միաժամանակություն հասկացությունը նույնպես հարաբերական է, որը նշանակում է, որ հարաբերական է նաև ժամանակը: Հետևաբար, տարբեր իներցիալ համակարգերում որևէ պատահար նկարագրելիս կորդինատների հետ միաժամանակ պետք է ձևափոխել նաև ժամանակը:

Այժմ, եթե ցույց տրվեց ժամանակի հարաբերական լինելը, պարզ է դանում նախորդ պարագաներում բննարկված լուսային գնդուրտի հարակարգության առաջացման պատճառը: Հիշեցնենք, որ գնդուրտի նակերևույթն այն կետերի համախումբն է, որոնց լույսը սկզբնակետերից հասնում է միաժամանակ: Մյուս կողմից, չէնք սահմանել, թե ի՞նչ ենք հասկանում միաժամանակ ասելով: Իրոք, օգտագործելով երկու իներցիալ համակարգերում միևնույն t ժամանակը, փաստորեն առանց ապացույցի ընդունում էինք բացարձակ միաժամանակությունը, որը, ինչպես ցույց տրվեց, ճիշտ չէ:

Իրականում, իհարկե, սկզբնակետից տարածվող լույսի ճակատը երկու համակարգերում էլ կգտնվի գնդուրտների նակերևույթների վրա: Սակայն դրանք տարբեր գնդուրտներ են: Մի դեպքում դա այն կետերի համախումբն է, որոնց լույսը հասնում է O կետից այդ համակարգի ժամանակով t պահին: Այդ գնդուրտի շառավիղը հավասար կլինի ct -ի:

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2 : \quad (17)$$

Իսկ մյուս դեպքում՝ այն կետերի համախումբը, որոնց O' կետից (եթե վերջինը համընկնում էր O կետի հետ) լույսը հասնում է այդ համակարգի ժամանակով t' ժամանակի պահին: Այդ երկրորդ գնդուրտի շառավիղը հավասար է ct' -ի:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = (ct')^2 : \quad (18)$$

Այսինքն՝ միևնույն կետից դուրս եկած լուսային ալիքի ճակատը տարբեր իներցիալ համակարգերում տարբեր կետերի բազմություններ են:

§ 5. ԼՈՐԵՆՑԻ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Արտածենք այն ձևափոխությունները, որոնք կփոխարիմեն Գալիլեյի ձևափոխությունները և համատեղելի կիմեն հարաբերականության հասունության կանխադրությունների հետ: Այդ խնդիրը սովորաբար լուծվում է մի մասնավոր դեպքի համար, եթե K' իներցիալ համակարգը K համակարգի նկատմամբ շարժվում է x առանցքի ուղղությամբ V հաստատուն արագությամբ այնպես, որ y' և z' առանցքները մնում են զուգահեռ համապատասխանաբար y և z առանցքներին (նկ.2): Նշենք, որ այս մասնավոր դեպքի ստացված արդյունքը հեշտությամբ ընդհանրացվում է նկ. 1-ում բերված ընդհանուր դեպքի համար:

Ենթադրենք որևէ պատահար ըստ K համակարգում գտնվող դիտորդի տեղի է ունեցել (x, y, z) կետում ժամանակի t պահին, իսկ ըստ K' -ում գտնվող դիտորդի՝ (x', y', z') կետում ժամանակի t' պահին: Անհրաժեշտ է կապ գտնել (x, y, z, t) և (x', y', z', t') քառյակների միջև, այսինքն՝ գտնել հետևյալ չորս ֆունկցիաների տեսքը, որոնք կապ են հաստատում K և K' համակարգերի միջև՝

$$x' = f_1(x, y, z, t), \quad y' = f_2(x, y, z, t), \quad z' = f_3(x, y, z, t), \quad t' = f_4(x, y, z, t):$$

Այս ֆունկցիաների տեսքը որոշելիս կելմենք մի շարք պահանջմերից.

ա) Երկու համակարգերի ժամացույցների սլաքները տեղադրենք այնպես, որ եթե K համակարգի O սկզբնակետը համընկնի K' համակարգի O' սկզբնակետի հետ, այդ կետերում տեղայրված ժամացույցները ցույց տան $t = t' = 0$ ժամանակը, այսինքն՝ $x = y = z = t = 0$ պատահարին համապատասխանի $x' = y' = z' = t' = 0$ պատահարը;

բ) f_1, f_2, f_3, f_4 -ը գծային ֆունկցիաներ են: Այս պահանջը հետևում է այն պայմանից, որ տարածաժամանակային բոլոր կետերը ֆիզիկորեն համարժեք են, այսինքն՝ տարածության ցանկացած կետ կարելի է ընտրել որպես կորողնատական առանցքների սկզբնակետ և ժամանակի ցանկացած պահ՝ որպես ժամանակի հաշվարկի սկիզբ: Նշված պայմանը կարելի է բավարարել եթե ձևափոխության ֆունկցիաները գծային են: Ցույց տանք ասածը որևէ կորողնատի համար: Այսպես, ոյցուք $x' = f(x)$: K համակարգում սկզբնակետը տեղափոխենք a -ով՝ $x = \xi + a$: K' համակարգում սկզբնակետը տեղափոխենք b -ով՝ $x' = \xi' + b$: Այդ դեպքում $\xi' + b = f(\xi + a)$: Եթե f -ը գծային է, ապա $f(\xi + a) = f(\xi) + f(a)$: Ընտրենով $b = f(a)$: Կատանանք $\xi' = f(\xi)$: Այսինքն՝ K համակարգի սկզբնակետի տեղափոխման և K' -ում սկզբնակետի համապատասխան տեղափոխման դեպքում ձևափոխության տեսքը չի փոխվում: Հենց այդ էլ նշանակում է, որ բոլոր կետերը համարժեք են: Բայց դա ստացվեց այն պահանջից, որ $f(x)$ ֆունկցիան լինի գծային:

Այսպիսով, բոլոր f_i ֆունկցիաները գծային համասեռ (ազատ անդամ չունեցող) ֆունկցիաներ են, քանի որ միայն այդ դեպքում է, որ O և O' կետերի համընկնելու պահին ժամացույցների ցուցմունքները կիմեն զրոյական:

Նշենք մի կարևոր հանգամանք. ձևափոխության ֆունկցիաների գծայնության շնորհիվ որևէ իմերցիալ համակարգում մարմնի ուղղագիծ հավասարաչափ շարժումը մնում է այդպիսին նաև ցանկացած այլ իմերցիալ համակարգում:

Գտնենք այդ ծևափոխությունների գործակիցները: Ընդհանուր դեպքում ունենք

$$\begin{aligned}x' &= a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + a_{14}t, \\y' &= a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + a_{24}t, \\z' &= a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + a_{34}t, \\t' &= a_{41}x + a_{42}y + a_{43}z + a_{44}t:\end{aligned}$$

Տասնվեց ամիայտ a_{ik} գործակիցների թիվը զգալիորեն կպակասի, եթե հաշվի առնվի K և K' համակարգերի համաչափությունը: Այսպես, քննարկվող դեպքում (նկ.2) $y = 0$ հարթությանը համապատասխանում է $y' = 0$ հարթությունը, իսկ $z = 0$ -ին՝ $z' = 0$ հարթությունը: Հետևաբար՝

$$y' = \varepsilon y, \quad z' = \varepsilon z: \quad (19)$$

Այստեղ երկու դեպքում ել գրեցինք նույն ε գործակիցը, քանի որ y և z ուղղությունները հավասարազոր են շարժման ուղղության նկատմամբ:

$x' = 0$ հարթությունը ժամանակի t պահին համընկնում է $x = Vt$ հարթության հետ, այսինքն՝

$$x' = \gamma(x - Vt): \quad (20)$$

Նմանապես՝ $x = 0$ հարթությունը ժամանակի t' պահին համընկնում է $x' = -Vt'$ հարթության հետ, որը կարելի է արտահայտել

$$x = \gamma(x' + Vt') \quad (21)$$

առնչությամբ: (20)-ում և (21)-ում գրեցինք նույն γ գործակիցը բավարարելու համար հարաբերականության կանխադրույթը: (21)-ից ունենք

$$t' = (x/\gamma' - x')/V:$$

Այստեղ (20)-ից տեղադրելով $x' = 0$ ՝ կստանանք

$$t' = \gamma \left[t - \left(1 - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{x}{V} \right]: \quad (22)$$

Այսպիսով, խնդրի լուծումը հանգեցվեց γ և ε գործակիցների որոշմանը: Եթե (19)-ը, (20)-ը և (22)-ը տեղադրենք (18)-ի մեջ և պահանջենք, որ այն համընկնի (17)-ի հետ, γ և ε գործակիցների համար կստանանք՝

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}, \quad \varepsilon = 1: \quad (23)$$

(23)-ն ստանալիս հաշվի առնվեց, որ $V = 0$ դեպքում $\gamma = \varepsilon = 1$: Տեղադրելով (23)-ը (19)-ի, (20)-ի և (22)-ի մեջ՝ կստանանք որոնելի խնդրի լուծումը, որը երկու տարրեր իներցիալ համակարգերում կապեր է հաստատում ցանկացած պատահարի կորողինատների և ժամանակի միջև: Այդ կապերի համար ստացվում են (13) բանաձևերը, որոնք, ինչպես արդեն նշել ենք § 4-ում, Էյնշտեյնից առաջ ստացել եր Լորենցը որպես ծևական բանաձևեր, որոնք ադրյուրներից ազատ տարածությունում ($\rho = j = 0$) մեկ իներցիալ համակարգից մյուսին անցնելիս Մաքսվելի հավասարումները քողնում էին անփոփոխ: Էյնշտեյնը, ինչպես հետևում է թերված արտածումից, ելեւ է միայն իր կողմից առաջադրված հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթներից և տարածաժամանակային պատկերացումներից:

Օգտվելով հարաբերականության կանխադրույթից և փոխարինելով V -ն $-V$ -ով, (13)-ից կստանամք մի համակարգից մյուսին անցնելու հակառած ձևափոխությունները.

$$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + (V/c^2)x'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}: \quad (24)$$

Եթե $c \rightarrow \infty$, (13) բանաձևերը հանգում են Գալիլեյի ձևափոխություններին:

Լորենցի ձևափոխություններից հետևում է, որ նրանք իմաստ ունեն, եթե $V < c$, այսինքն՝ գոյություն չունի ոչ մի հաշվարկման համակարգ, որը շարժվի լույսի արագությանը հավասար կամ նրանից մեծ արագությամբ:

Ցույց տանք, որ ոչ մի ֆիզիկական ազդանշանի արագություն չի կարող գերազանցել լույսի արագությունը: Ասած հեշտ է ապացուցել, եթե պահանջենք, որ պատճառականության սկզբունքը պետք է գործի բոլոր իներցիալ համակարգերում: Այսինքն, ցանկացած իներցիալ համակարգում տեղի է ունենում նախ պատճառը, ապա՝ հետևանքը: Այդ դեպքում ազդանշանի տարածման արագությունը պետք է փոքր լինի կամ հավասար լույսի արագությանը: Իսկապես, ենթադրենք K համակարգում x_1 և x_2 կետերում տեղի է ունեցել երկու պատահար համապատասխանաբար ժամանակի t_1 և t_2 պահերին, ընդ որում երկրորդն առաջինի հետևանքն է: Ֆիզիկական ազդանշանի տարածման արագությունը, ըստ սահմաննան՝ $u_x = (x_2 - x_1)/(t_2 - t_1)$, ($t_2 > t_1$): K' համակարգում այդ երկու պատահարների t'_2 և t'_1 ժամանակների համար Լորենցի ձևափոխություններից կստանանք:

$$t'_2 = \frac{t_2 - (V/c^2)x_2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad t'_1 = \frac{t_1 - (V/c^2)x_1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}},$$

որտեղից

$$t'_2 - t'_1 = (t_2 - t_1) \frac{1 - (V/c^2)u_x}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}:$$

Որպեսզի ապահովվի պատճառականության սկզբունքի պահանջը՝ $t'_2 - t'_1 > 0$, անհրաժեշտ է, որ

$$1 - (V/c^2)u_x > 0,$$

որը տեղի կունենա, եթե $u_x \leq c$: Այսպիսով՝ կամայական ֆիզիկական ազդանշանի արագությունը չի կարող մեծ լինել լույսի արագությունից:

Սակայն կարելի է բերել օրինակներ, եթե ձևականորեն արագությունները մեծ են լույսի արագությունից: Այսպես, ունտագենյան ալիքների բեկման ցուցիչը մեկից փոքր է: Զանի որ բեկման ցուցիչը դատարկությունում լույսի արագության հարաբերությունն է նրա արագությանը միջավայրում, ապա ստացվում է, որ նշված դեպքում վերջինս մեծ է լույսի արագությունից դատարկությունում: Այս տեղ չկա հակասություն հարաբերականության հատուկ տեսության հետ, քանի որ խոսքը լույսի փուլային արագության մասին է: Եթե ունենք հաստատված վիճակում անսահման սինուսոիդային ալիքներ, ապա ալիքի հանգույցն իրոք կարող է տարածվել ավելի մեծ արագությամբ, քան լույսի արագությունը դատարկությունում: Սակայն այդ արագությամբ հնարավոր չէ հաղորդել որևէ

տեղեկատվություն, ինչը իրագործելու համար անհրաժեշտ է խախտել ալիքների տարածման հաստատված վիճակը: Իսկ այդ դեպքում արդեն բեկման ցուցիչով չի որոշվում տեղեկատվություն հաղորդող ալիքների արագությունը:

Կանգ առնենք մի կարևոր հարցի վրա. կարո՞ղ է բնության մեջ գոյություն ունենալ մեկ այլ երևոյթ (պրոցես, փոխազդեցություն), որը դատարկությունով տարածվի աղբյուրի շարժումից անկախ (ինչպես լույսը), բայց այլ արագությամբ: Հեշտ է տեսնել, որ այս դեպքում կստացվեր ոչ միայն երկիրաստություն ժամացույցների համաժամանակացման խնդրում, այլ նաև հակասություն հարաբերականության կանխադրույթին: Իրոք, կրկնելով վերը բերած դատողությունները, կստանայինք ծևափոխությունների մի երկրորդ խումբ, որտեղ լույսի արագության փոխարեն կմտներ այդ երկրորդ (ենթադրական) պրոցեսի արագությունը: Այժմ եթե կիրառենք այդ ծևափոխության բանաձևերը, օրինակ, Մարսվելի հավասարումների նկատմամբ, ապա վերջինները նոր համակարգում չեն պահպանի իրենց տեսքը, որը կիակասի հարաբերականության կանխադրույթին և, հետևաբար, կրացառի այդպիսի արագության հնարավորությունը: Ստացվեց կարևոր եզրակացություն. հարաբերականության հատուկ տեսության սահմաններում բռնոր փոխազդեցությունները, որոնք կախված չեն աղբյուրի արագությունից, տարածվում են լույսի արագությամբ:

§ 6. ԼՈՐԵՆՑԻ ԶԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻՑ ԲԽՈՂ ՀԵՏԵՎԱՆՁԵՐ

Երկարության կրճատումը. Ենթադրենք K' համակարգում ունենք x' առանցքին զուգահեռ տեղադրված ծող, որը գտնվում է դադարի վրճակում և նրա ծայրերը համբնկնում են համապատասխանաբար x'_1 և x'_2 կոորդինատներին: Համաձայն § 4-ում տրված սահմանման, անշարժ ծողի l_0 երկարությունը K' համակարգում կորոշվի այդ կոորդինատների տարրերությամբ՝

$$l_0 = x'_2 - x'_1:$$

Չափենք նույն ծողի երկարությունը K համակարգում, որի նկատմամբ այն շարժվում է V արագությամբ x առանցքի երկայնքով: Համաձայն սահմանման, այն հավասար է K համակարգի x_1 և x_2 կոորդինատների տարրերությանը, որոնցում գտնվում են x'_1 և x'_2 կոորդինատները ժամանակի միևնույն t_0 պահին՝ $l = x_2 - x_1$: (13) ծևափոխություններից ունենք

$$x'_1 = \frac{x_1 - V t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad x'_2 = \frac{x_2 - V t_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}},$$

որտեղից

$$l = l_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}, \tag{25}$$

այսինքն՝ շարժվող ծողի երկարությունը անշարժի նկատմամբ կրճատվում է $\sqrt{1 - V^2/c^2}$ անգամ: Դա կոչվում է լորենցյան կրճատում:

Հեշտ է տեսնել, որ ստացված կրճատումը հարաբերական է: Իրոք, եթե ծողն անշարժ է K համակարգում և չափումը կատարվում է K' -ում, ապա այս դեպքում կօգտվենք (24) ծևափոխություններից և նորից կստացվի (25) կրճատումը:

Քանի որ շարժմանն ուղարկած տեղադրված ծողի չափերը չեն փոխվում, ապա (25) օրենքով կծևափոխվի նաև մարմնի ծավալը.

$$V = V_0 \sqrt{1 - V^2/c^2},$$

որտեղ V_0 -ն մարմնի ծափակն է դադարի վիճակում:

Այսպիսով, մարմնի չափերը շարժման ուղղությամբ կրճատվում են: Մարմինը կարծես թե սեղմակում է շարժման ուղղությամբ: Ժամանակի որոշակի պահին, անշարժ կորդիանատական համակարգում գրանցելով շարժվող մարմնի մակերևույթի բղոք կետերի կորդիանատները՝ կարծես ստանում ենք շարժվող մարմնի կաղապարը: Ըստ սահմանման՝ այդ կաղապարի ձևը հենց շարժվող մարմնի ձևն է: Եթե համեմատենք անշարժ մարմնի մակերևույթի ձևն այդ կաղապարի հետ, ապա կտևնենք, որ վերջինն կրճատված է (սեղմակում է) շարժման ուղղությամբ: Այս իմաստով կրճատումն իրական է:

Շարժվող ձողի (25) լորենցյան կրճատումն իր տեսքով համընկնում է Ֆիզջերալիի և Լորենցի վարկածում (§ 2) առաջարկված կրճատման հետ: Սակայն բովանդակությամբ նրանք ընդիանուր ոչինչ չունեն: Հարաբերականության տեսության մեջ կրճատումը կապված է շարժվող մարմնի երկարության չափման սահմանման հետ և, վերջին հաշվով, նրա հիմքում ընկած է հարաբերականության տեսության երկրորդ կանխադրույթի՝ լույսի արագության հաստատում լինելու փաստը: Արդեն նշել ենք, որ այդ կրճատումը հարաբերական է, նրա օգնությամբ հնարավոր չէ գերադասելի հաշվարկման համակարգ առանձնացնել:

Հաճախ հարց են տալիս. իրո՞ք շարժվող մարմնի երկարությունը կրճատվեց, թե՞ո՞չ, ո՞ր մի է նրա իրական երկարությունը: Այդ հարցն անառարկայական է, քանի որ անհասկանալի է, թե ինչ է հասկացվում “իրոք”-ի տակ: Այն, շարժվող մարմնի երկարությունը կրճատվում է, եթե նրա չափման համար օգտվենք § 4-ում տրված սահմանումից: Բայց, ինչպես վերը նշեց, այդ կրճատումը հարաբերական է և, ի տարրերություն Ֆիզջերալիի և Լորենցի վարկածի, պայմանավորված չէ ինչ-որ ուժերի ազդեցությամբ:

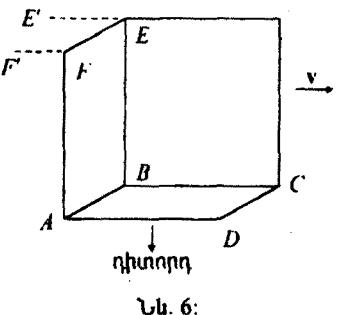
Հարաբերականության տեսությունում անշարժ ձողի երկարությունը չափվում է համածայն մի սահմանման, իսկ շարժվող ձողի երկարությունը՝ մեկ այլ սահմանման: Հենց այս առումով էլ «փրական» երկարություն հարցապնդումն անառարկայական է:

Արագ շարժվող մարմինների տեսանելի ձևը: Վերը սահմանեցինք, թե ինչպես կարելի է նկատել լորենցյան կրճատումը՝ ստանալով շարժվող մարմնի կաղապարը: Սակայն մարմնի ձևը ստորաբար դիտարկում են աչքով կամ լուսակարչական ապարատով: Հարց է ծագում. այդ դեպքում հնարավո՞ր է նկատել լորենցյան կրճատումը: Հետևելով Վայսկոպֆին, քննարկենք այս հարցի պատասխանը:

Առարկան տեսանելի է, եթե նրա տարրեր մասերից եկած լուսային քվանտները միաժամանակ հասնեն աչքին (լուսակարչական ապարատին): Զանի որ մարմնի տարրերը կետերը գտնվում են աչքից տարրեր հեռավորությունների վրա և լույսի արագությունը վերջավոր մեծություն է, ապա քվանտները, որոնք միաժամանակ են հասել աչքին, պետք է արձակված լինեն այդ կետերից ոչ միաժամանակ, ինչի հետևանքով շարժվող մարմնի դեպքում իրական պատկերը կարող է աղավաղվել:

Պարզության համար քննարկենք շարժվող խորանարդի դեպքը:

Ենթադրենք դիտորդը գտնվում է խորանարդից մեծ հեռավորության վրա և նայում $ABCD$ նիստին նրա նորմալի ուղղությամբ (նկ. 6): Այս դեպքում խորա-



Նկ. 6:

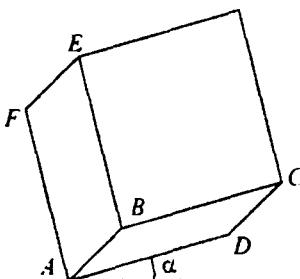
նարդը երևում է առանց աղավաղման, քանի որ նրա տարրեր կետերի հեռավորությունները դիտորդից գործնականորեն նույնն են: Անշարժ խորանարդի դեպքում $ABEF$ նիստը չի երևում:

Եթե անշարժ խորանարդը դիտենք ոչ թե նիստի նորմալի ուղղությամբ, այլ նրա նկատմամբ α անկյան տակ, ապա այդ դեպքում կտեսնենք նաև $ABEF$ նիստը (նկ. 7): Դիցուք խորանարդի կողը՝ $AD = l$, այդ դեպքում

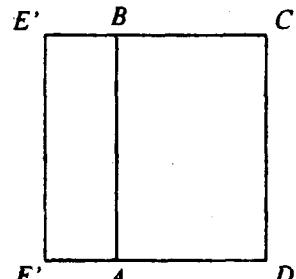
$$AD' = l \cos \alpha = l \sqrt{1 - \sin^2 \alpha},$$

$$AF' = l \sin \alpha: \quad (26)$$

$ABCD$ և $ABEF$ նիստերի տեսանելի պատկերը կլինի այնպիսին, ինչպիսին նկ. 8-ում է, և փոքր α -ի համար $ABEF$ նիստը կլինի ավելի սեղմված, քան $ABCD$ -ն: Եթե պատկերում տեսանելի լինեն երկու նիստերը, սակայն $ABC'D'$ -ը քառակուսի լինի, ապա այս դեպքը կհամապատասխանի α անկյան տակ դիտվող անշարժ զուգահեռանիստին:



Նկ. 7:



Նկ. 8:

Անցնենք շարժվող խորանարդի դիտարկմանը: Սկզբում եկմենք մինչեւնշենյան մեխանիկայի պատկերացումներից: Ընճարկենք այն դեպքը, երբ դիտման ճառագայթն ուղղահայաց է շարժման ուղղությանը (նկ. 6): $ABCD$ նիստը նորից կերևա առանց աղավաղման քառակուսու տեսքով: Սակայն այս դեպքում երևում է նաև $ABEF$ նիստը: Իսկապես, շարժվող խորանարդի դեպքում FE կողից և $ABEF$ նիստի մնացած կետերից արձակված լուսային քվանտները կարող են հասնել աչքին (լուսանկարչական ապարատին), քանի որ $ABEF$ նիստը հեռանում է նրանց տարածման ճանապարհից: Սակայն քանի որ EF կողը դիտարկման կետից l -ով ավելի հեռու է գտնվում, քան AB կողը, ապա այդ կողերից արձակված քվանտներն աչքին միաժամանակ հասնելու համար EF կողից $\tau = l/c$ ժամանակահատվածով ավելի վաղ պահի պետք է արձակվեն, քան AB -ից: Այսինքն՝ այդ քվանտներն արձակվելու են, եթե E և F կետերը գտնվեն E' և F' դիրքերում (նկ. 6), որտեղ

$$E'E = F'F = v\tau = v l/c:$$

Այստեղ v -ն շարժվող խորանարդի արագությունն է: Այս դեպքում դիտվող պատկերը նման կլինի նկ. 8-ին, որտեղ

$$AB = AD' = l, \quad F'A = l v/c: \quad (27)$$

Պատկերն ստացվում է այնպիսին, ինչպիսին անշարժ, բայց դիտման ուղղությամբ շրջված մարմնի դեպքում: Ընդ որում խորանարդի տեսքն աղավաղվում է: Իրոք, խորանարդի դեպքում $ABCD$ նիստը պրոյեկտվում է սեղմված՝ $AD' < AD$, մինչդեռ (27)-ից հետևում է, որ $AB = AD'$, այսինքն՝ ստացվեց շրջված և շարժման ուղղությամբ ծրագած զուգահեռանիստի պատկերը:

Չնարկենք նույն խնդիրը՝ հիմնվելով հարաբերականության հատուկ տեսության վրա: Այս դեպքում խորանարդի չափերը շարժման ուղղությամբ կրճատվում են $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ անգամ, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ չեն փոխվում: Պատկերը նման կլինի նկ. 8-ին, որտեղ

$$AB = C'D' = E'F' = l, \quad AD' = BC' = l\sqrt{1 - v^2/c^2}, \quad F'A = E'B = lv/c:$$

Եթե նշանակենք՝ v/c -ն $\sin \alpha$ -ով, ապա կատանանք (26)-ը, այսինքն՝ անշարժ, քայլ α անկյունով շրջված խորանարդի պատկերը:

Նույնատիպ արդյունք կատացվի կամայական տեսքով շարժվող մարմնի պատկերի դեպքում: Ամփոփելով՝ կարող ենք ասել, որ լորենցյան կրճատումն անդրադառնում է մարմնի պատկերի վրա ոչ թե որպես սեղմում, այլ որպես պտույտ α անկյունով, որտեղ $\sin \alpha = v/c$ -ի:

Շարժվող ժամացույցների ընթացքի դանդաղումը: Ենթադրենք K' համակարգի որևէ x'_0 կետում ժամանակի t'_1 և t'_2 պահերին՝ ըստ այդ կետում տեղադրված ժամացույցի ցուցմունքի, տեղի է ունեցել երկու պատահար: Այդ պատահարների միջև ընկած ժամանակահատվածը կլինի $\Delta t' = t'_2 - t'_1$:

K համակարգում, որի նկատմամբ K' -ը շարժվում է V արագությամբ, այդ պատահարները տեղի են ունենում տարբեր կետերում: Առաջին և երկրորդ պատահարների տեղի ունենալու t_1 և t_2 պահերը K համակարգում գտնվող դիտողը կորոշի այդ կետերում տեղադրված և միմյանց հետ համաժամանակացված ժամացույցների ցուցմունքներով: Այդ երկու պատահարների միջև ընկած ժամանակահատվածը կլինի $\Delta t = t_2 - t_1$:

Օգտվելով Լորենցի ձևափոխություններից՝ կարող ենք կապ հաստատել Δt -ի և $\Delta t'$ -ի միջև: (24)-ից ունենք՝

$$t_1 = \frac{t'_1 + (V/c^2) x'_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad t_2 = \frac{t'_2 + (V^2/c^2) x'_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}},$$

որտեղից

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}: \tag{28}$$

Ստացվեց, որ շարժվող ժամացույցի ցույց տված ժամանակահատվածը՝ $\Delta t'$ -ը, ավելի փոքր է, քան նույն պատահարների միջև ժամանակահատվածն ըստ անշարժ ժամացույցների ցուցմունքի՝ Δt -ն: Դա նշանակում է, որ շարժվող ժամացույցի ընթացքը դանդաղեցված է անշարժ ժամացույցների ընթացքի համեմատությամբ:

Հեշտ է ցույց տալ, որ ստացված արդյունքը նույնական է: Իսկապես, շարժվող ժամացույցը, որը ետ է ընկնում, համարժեք չէ անշարժ ժամացույցներին, քանի որ մեկ շարժվող ժամացույցի ցուցմունքները համեմատում ենք տարբեր կետերում գտնվող երկու անշարժ ժամացույցների ցուցմունքների հետ: Եթե է ընկնում համեմատվող ժամացույցը՝ առաջինը: Եթե համեմատենք K համակարգի որևէ կետում գտնվող ժամացույցի ցուցմունքը K' համակարգի երկու տարբեր կետերում գտնվող ժամացույցների հետ, ապա ետ կընկնի K -ի ժամացույցը:

Այսպիսով՝ շարժվող ժամացույցի ընթացքի դանդաղելը հարաբերական է, սակայն, ինչպես և ծովի կրծատումը, իրական:

Սեփական ժամանակ: Քննարկենք ժամանակի հետ կապված ևս մեկ դրույթ, որը հարաբերական չէ, այլ բացարձակ է:

Լորենցի ծևափոխությունների գծայնությունից հետևում է, որ նույն օրենքով ծևափոխում են նաև կոռորդինատների և ժամանակի դիֆերենցիալները: Հեշտ կարելի է ստուգել, որ այդ դիֆերենցիալներից կազմված $ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$ առնչությունը Լորենցի ծևափոխությունների դեպքում պահպանում է իր տեսքը, չի ծևափոխում: Այսպես սահմանված և մեծությունը կոչվում է ինտերվալ, իսկ նրա նշված այդ հատկությունը՝ ինտերվալի ինվարիանտություն: Օգտվելով այս հատկությունից՝ նորից անդրադառնանք անշարժ և շարժվող ժամացույցներով ժամանակահատվածների չափման հարցերին: Մակայն, ի տարրերություն քննարկված դեպքի, այստեղ կղիտարկենք ժամացույցներ, որոնք շարժվում են կամայական արագությամբ՝ $v \neq const$: Այսպես, ենթադրենք իներցիալ համակարգում գտնվում է անշարժ ժամացույց, որի մոտից t_1 ժամանակի պահին սկսում է կամայական արագությամբ շարժվել մեկ այլ ժամացույց, որը t_2 պահին վերադառնում է այդ նույն կետը: Անհրաժեշտ է համեմատել այդ երկու ժամացույցների ցուցմունքները:

Չարժվող ժամացույցը, որպեսզի վերադառնա նույն կետը, որտեղից սկսել է շարժվել, պետք է ունենա արագացում: Հետևաբար՝ նրա հետ ամրացված համակարգն իներցիալ չէ, և, ընդհանուր առմամբ, այդպիսի համակարգերում ժամանակի ընթացքը հնարավոր է նկարագրել՝ ելեկով հարաբերականության ընդհանուր տեսության դրույթներից: Ցույց տանք, որ այս մասնավոր խնդրում դա հնարավոր է կատարել՝ դրու չգալով հարաբերականության հատուկ տեսության սահմաններից: Ենթադրենք, եթե անշարժ ժամացույցի անվերջ փոքր dt ժամանակահատվածում շարժվող ժամացույցն անցել է $\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$ ճամապարհ, նրա արագության փոփոխությունն անվերջ փոքր է: Այդ դեպքում շարժվող ժամացույցը dt -ի ընթացքում կհամընկնի որևէ իներցիալ համակարգի հետ, որտեղ նրա տեղաշարժը հավասար է զրոյի, այսինքն՝ $dx' = dy' = dz' = 0$, և $dt' \equiv dt$: τ -ն կոչվում է սեփական ժամանակ: Ինտերվալի անփոփոխ լինելուց $(ds^2 = ds'^2)$ կատարած:

$$c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = c^2 d\tau^2:$$

Այստեղ $d\tau$ -ն dt -ին համապատասխանող ժամանակահատվածն է, որը ցույց է տալիս շարժվող ժամացույցը: Վերջին արտահայտությունը կարելի է գրել

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt$$

տեսքով, որտեղ

$$v^2 = \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2}:$$

$v(t)$ -ն անշարժ ժամացույցի նկատմամբ շարժվող ժամացույցի արագությունն է: Ինտեգրելով $d\tau$ -ն կատարած շարժվող ժամացույցի ցույց տված $\tau = (t'_2 - t'_1)$ և անշարժ ժամացույցի $(t_2 - t_1)$ ժամանակահատվածների միջև կապը.

$$\tau = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dt : \quad (29)$$

Եթե դիտարկենք այնպիսի ($t_2 - t_1$) ժամանակահատված, որի ընթացքում $v = const$, ապա վերջին արտահայտությունը կհանգի (28)-ին, որն ստացվել էր Լորենցի ձևափոխություններից: Հետևաբար, եթե դիտարկենք ինտերվալի անփոփոխ լինելը որպես երկրորդ կանխադրույթի անմիջական մաթեմատիկական հետևանք (տես (17)-ը և (18)-ը), ապա շարժվող ժամացույցի դանդաղումը կստացվի նաև առանց Լորենցի ձևափոխությունների կոնկրետ տեսքի:

Այսպիսով, ստացվեց ձևակերպված խնդրի պատասխանը՝ կամայական արագությամբ շարժվող ժամացույցը, որը վերադարձել է իներցիալ համակարգում գտնվող անշարժ ժամացույցի մոտ, կինհի եւ ընկած: Նրա ($t'_2 - t'_1$) ցուցմունքը կինհի ավելի փոքր, քան անշարժ ժամացույցի ցույց տված ($t_2 - t_1$) ցուցմունքը: Այս հանգամանքի հետ է կապված զրականության մեջ հայտնի, այսպես կոչված, «երկվորյակների հարակարծությունը», որը հետևյալն է: Եթե երկվորյակներից մեկը գտնվում է անշարժ ժամացույցի մոտ, իսկ մյուսը՝ շարժվողի, ապա շարժվող ժամացույցի հետ վերադարձող երկվորյակն անշարժից ավելի երիտասարդ կինհի: Եթե այդպիսի փորձերի անցկացումը տեխնիկական դժվարությունների պատճառով (c -ին մոտ արագությամբ երթիո ունենալու իմաստով) հեռու է այսօրվա հնարավորություններից, ապա այլ երևույթներում, որոնք դիտվում են թե՛ բնական և թե՛ լաբորատոր պայմաններում, կարելի է ստուգել շարժվող ժամացույցի եւ ընկնելը: Այդպիսին է, օրինակ, անկայուն տարրական մասնիկների կյանքի տևողության փոփոխությունը: Այդ մասնիկների հետ կապված համակարգերում նրանց կյանքի տևողությունը $10^{-6} \sim 10^{-10}$ կարգի է: Մյուս կողմից, նրանք այդ ժամանակահատվածից շատ ավելի երկար գոյություն ունեն (ըստ անշարժ դիտողի տեսակետի), եթե գտնվում են շարժման վիճակում: Այսպես, բացասական լիցքավորված մյու մեզոնները (μ^-), որոնք 205 անգամ ծանր են էլեկտրոններից, իսկ հատկություններով շատ նման նրանց, իրենց հետ ամրացված համակարգում միջինը $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ կ.-ում տրոհվում են էլեկտրոնի, նեյտրինոյի և հականեյտրինոյի: τ_0 ժամանակահատվածը կոչվում է μ^- մեզոնների կյանքի տևողություն: Այս մասնիկներն առաջանում են երկրի մակերևույթից $10\text{--}20\text{ կմ}$ բարձրության վրա մթնոլորտի վերին շերտերում մեկ այլ անկայուն տարրական մասնիկի՝ բացասական լիցքավորված այլ մեզոնի (π^-) տրոհման ժամանակ և կարողանում են հասնել երկրի վրա տեղադրված զրանցող սարքին: Եթե նրանք շարժվեին նույնիսկ լույսի արագությամբ, ապա τ_0 ժամանակում կանցնեին ընդամենը 660 մ, որը 15-30 անգամ քիչ է նրանց անցած ճանապարհից: Այստեղ անշուշտ տեղի է ունենում շարժման հետևանքով այդպիսի մասնիկների կյանքի տևողության մեծացում համաձայն (29)-ի:

Այն հանգամանքը, որ $d\tau = ds/c$ -ն անփոփոխ է Լորենցի ձևափոխությունների դեպքում, հնարավորություն է ստեղծում տարրեր ֆիզիկական մեծությունների ժամանակային փոփոխությունները հաշվելիս ածանցում կատարել ոչ թե ըստ ժամանակի, այլ ըստ սեփական ժամանակի: Այդ դեպքում որևէ մեծության ածանցյալը Լորենցի ձևափոխությունների մկանամբ կունենա նույնպիսի հատկություններ, ինչ որ այդ մեծությունը:

Հարաբերականության հատուկ տեսության մաքեմատիական ապարատը: Քննարկենք Լորենցի ծևափոխությունների ևս մեկ կարևոր հատկություն: Եթե (x, y, z, t) քառյակից անցնենք x_i ($i = 1, 2, 3, 4$) քառյակին, որտեղ $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, $x_4 = ict$, ապա Լորենցի (13) ծևափոխությունները կգրվեն $x'_i = a_{ik} x_k$ տեսքով, որտեղ կատարվում է գումարում ըստ կրկնվող ինդեքսների: Հեշտ է ստուգել, որ a_{ik} գործակիցներից կազմած մատրիցը

$$(a_{ik}) = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{i\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} & 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{pmatrix} \quad (30)$$

ունի հետևյալ հատկությունները. ա) նրա որոշիչը հավասար է մեկի՝ $D(a_{ik}) = 1$, բ) այս մատրիցի յուրաքանչյուր սյան կամ տողի արտադրյան իր հետ հավասար է մեկի, մինչեւ հարկան սյան (տողի) հետ՝ հավասար է զրոյի, այսինքն՝ $a_{ik} a_{im} = \delta_{km}$, $a_{ki} a_{mi} = \delta_{km}$: Հետևաբար, Լորենցի ծևափոխություններն օրթոգոնալ ծևափոխություններ են:

Հարաբերականության կանոնադրույթի պահանջը քավարարելու համար օգտագործենք Լորենցի ծևափոխությունների այս հատկությունը: Մինկովսկին [9] ցույց է տվել, որ եթե որևէ ֆիզիկական օրենք քառաչափ տարածության մեջ որևէ իներցիալ համակարգում հաջողվում է գրել տեսնորական տեսքով, ապա այդ օրենքն ինքնարերաբար կունենա նոյն մաքեմատիկական տեսքը ցանկացած այլ իներցիալ համակարգում, այսինքն, կովարիանտ կինդ Լորենցի ծևափոխությունների նկատմամբ: Ապացուցենք այս պնդումը: Մինչ այդ նշենք, որ տեսնոր է կոչվում այն մեծությունը, որն իր յուրաքանչյուր ինդեքսի նկատմամբ օրթոգոնալ ծևափոխությունների դեպքում ծևափոխվում է ինչպես կորոյդմատները: Այսպես, եթե ունենք երկու իներցիալ տեսնոր (երկրորդ ունգի), ապա նրա համար Լորենցի ծևափոխությունները կունենան հետևյալ տեսքը.

$$T'_{ik} = a_{in} a_{km} T_{nm}, \quad i, k = 1, 2, 3, 4: \quad (31)$$

Նկատի ունենալով (31)-ը՝ ապացուցենք վերը ծևակերպած պնդումը:

Ենթադրենք K իներցիալ համակարգում ֆիզիկայի մի որևէ օրենք զրված է տեսնորական տեսքով (օրինակ, երկրորդ ունգի): $T_{nm} = 0$: Եթե քազմապատկենք այդ արտահայտությունը $a_{in} a_{km}$ -ով և ըստ կրկնվող իներցիալ կատարենք գումարում, ապա, համաձայն (31)-ի՝ կատարած $T'_{ik} = 0$, ինչը և պահանջվում էր ապացուցել:

Նշենք, որ հարաբերականության հատուկ տեսությունում քացի կովարիանտից օգտագործվում է նաև ինվարիանտ արտահայտությունը, որը վերաբերում է Լորենցի ծևափոխությունների դեպքում չծևափոխվող մեծություններին (լույսի արագություն, մասմիկի զանգված, ինտերվալ և այլն): Այդպիսի մեծությունները կոչվում են նաև լորենցյան սկալյարներ:

Վերջում շնորհակալություն եմ հայտնում իմ գործընկերներ պրոֆ. Ա. Կիրակոսյանին և դոց. Գ. Ալավերդյանին, որոնք ծանոթացան բնագրին և արեցին խնդրագրական բնույթի օգտակար դիտողություններ:

Այսային պրոցեսների տեսությամ և ֆիզիկայի ամրիոն

Ստացվելէ 29.04.2005

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Einstein A. – Ann. Phys., 1905, v. 17, p. 891–921.
2. Michelson A.A. – Amer. Journ. of Science (3), 1881, v. 22, p. 20.
Michelson A.A. and Morley E.W. – Там же, 1887, v. 34, p. 333.
3. Lorentz H.A. – Amst. Versl., 1892, № 1, p. 74.
4. Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. М.: Гос. изд. тех.-теор. литературы, 1956.
5. Lorentz H.A. – Amst. Proc., 1904, v. 6, p. 809; 1904, v. 12, p. 986.
6. Poincare H. C.R. Acad. Sci. Paris, 1905, v. 140, 1504.
7. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972.
8. De Sitter W. – Amst. Proc., 1913, v. 15, p. 1297.
9. Minkowski H. – Math. Ann., 1910, v. 68, p. 472.

Ю. Л. ВАРТАНЯН

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Резюме

Обзор посвящается столетию основания специальной теории относительности. В статье, которая имеет научно-познавательный, методологический характер, приведены основные положения, которые легли в основу этой теории.

Yu. L. VARTANYAN

SPECIAL PRINCIPLE OF RELATIVITY

Summary

The review is dedicated to the centenary of creation of special theory of relativity. It concerns the basic statements of this theory. The article has a scientific cognitive and methodological character.

Математика

УДК 517. 91/93

М. О. АРАБЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ОДНОГО ВЫРОЖДАЮЩЕГОСЯ
ОПЕРАТОРА**

В работе рассматривается задача на собственные значения для системы уравнений, некоторые коэффициенты которых имеют несуммируемую особенность. Вводятся специальные весовые функциональные пространства, для них доказываются теоремы вложения.

Исследуются вопросы существования и единственности решения краевой задачи. Доказывается существование решения задачи на собственные значения.

1. Введение. В предлагаемой работе рассматривается следующая задача на собственные значения:

$$(Lu)_1 = (rDW'')'' + ((vD' - D/r)W')' + (f'\varphi)' = \lambda r h \rho W, \quad (1)$$

$$(Lu)_2 = (ar\varphi')' - (a/r + va')\varphi - f'W' = 0, \quad (2)$$

где $r \in (0, b)$, $W(r)$, $\varphi(r)$ – искомые, а $f(r)$, $h(r)$ – заданные функции от r . $D(r) = Eh^3(r)/(12(1-v^2))$, $a(r) = 1/(Eh(r))$, где E , v , $b = const$, $E > 0$, $b > 0$, $0 < v < 1$, $h(r) > 0$, $\rho(r) > 0$.

Краевые условия имеют следующий вид:

$$W'|_{r=0} = 1/r [(rDW'')' + (vD' - D/r)W']|_{r=0} = 0, \quad (3)$$

$$W'|_{r=b} = W'|_{r=b} = 0.$$

Задача (1)–(3) сравнительно мало изучена. Сложность ее изучения заключается в том, что некоторые коэффициенты уравнений имеют несуммируемую особенность.

В некоторых работах рассматриваются оптимизационные задачи, но не изучаются вопросы о существовании и единственности решения краевой задачи и о существовании решения задачи на собственные значения [1, 2].

2. Весовые пространства. Теоремы вложения. Обозначим через $L_{1,loc}[0, b]$ пространство локально суммируемых функций на любом отрезке, содержащемся строго внутри отрезка $[0, b]$.

Введем весовое гильбертово пространство $H_r^1[0, b]$ со скалярным

произведением и нормой: $\langle u, v \rangle_{H_r^1} = \int_0^b (ru'v' + uv/r) dr$, $\|v\|_{H_r^1} = (\langle u, v \rangle_{H_r^1})^{1/2}$.

Докажем следующие теоремы вложения.

Теорема 1. Имеет место следующее вложение $H_r^1[0, b] \subset H^1[\delta, b]$, и справедлива оценка

$$\|v\|_{H^1[\delta, b]} \leq C_1 \|v\|_{H_r^1[0, b]} \quad (4)$$

для любой функции $v \in H_r^1[0, b]$, где $C_1 = (\max(1/\delta, b))^{1/2}$, $\delta > 0$.

◀ Для доказательства заметим, что $v^2 \leq v^2 b/r$, $v'^2 \leq v'^2 r/\delta$ $\forall r \in [\delta, b]$.

Отсюда в силу того, что $\int_\delta^b (v^2 b/r + v'^2 r/\delta) dr < +\infty$ с учетом свойства интеграла Лебега (см. [3]), следуют $v \in H^1[\delta, b]$ и оценка (4). ►

Теорема 2. Любая функция $v \in H_r^1[0, b]$ может быть отождествлена с непрерывной на $[0, b]$ функцией, причем

$$\max_{[0, b]} |v(r)| \leq C_2 \|v\|_{H_r^1}, \quad v(0) = 0. \quad (5)$$

◀ Пусть $v \in H_r^1[0, b]$. Тогда в силу теоремы 1 $v \in H^1[\delta, b]$. Отсюда функцию $v(r)$ можно отождествлять с непрерывной на $[\delta, b]$ функцией. Заметим, что

$$|v^2(r) - v^2(b)| = \left| \int_r^b (v^2)' dr \right| = \left| \int_r^b 2vv' dr \right| \leq \int_r^b (v^2/\xi + \xi v'^2)' d\xi \leq \|v\|_{H_r^1[0, b]}^2. \quad (6)$$

Из оценки (6) следует, что $\int_r^b 2vv' d\xi$ абсолютно непрерывен [3], а отсюда следует существование предела $\lim_{r \rightarrow 0} \int_r^b 2vv' d\xi = \lim_{r \rightarrow 0} (v^2(r) - v^2(b))$. Так как $v \in C[\delta, b]$, то заключаем, что существует и $\lim_{r \rightarrow 0} v(r)$. Тогда $v(r)$ непрерывна.

Из оценок (4), (6) имеем

$$\max |v^2(r)| \leq \|v\|_{H_r^1[0, b]}^2 + v^2(b) \leq \|v\|_{H_r^1[0, b]}^2 + C \|v\|_{[b/2, b]}^2 \leq (1 + CC_1^2) \|v\|_{H_r^1[0, b]}^2,$$

где $C = \max(1/b, b)$ из теоремы вложения $H^1[0, b]$ в $C[0, b]$. Тем самым оценка (5) доказана, причем $C_2 = (1 + CC_1^2)^{1/2}$.

Теперь установим, что $v(0) = 0$. Пусть $v(0) = a \neq 0$. Тогда легко заметить, что $\int_0^\delta v^2(r)/r dr$ будет расходиться. Получили противоречие. Отсюда заключаем, что $v(0) = 0$. ►

Через $M[0, b]$ обозначим пространство $C^\infty[0, b] \cap \{\text{функции, финитные}$

на левом конце отрезка $[0, b]$. Справедлива следующая лемма.

Лемма 1. Пространство $M[0, b]$ плотно в пространстве $H_r^1[0, b]$.

◀ Пусть $v \in H_r^1[0, b]$. По теореме 1, для любой $\delta > 0$ функция $v(r) \in H^1[\delta/2, b]$. Но тогда в силу плотности пространства $C^\infty[\delta/2, b]$ в пространстве $H^1[\delta/2, b]$ [4] существует последовательность $\{v_n(r)\}_{n=1}^\infty \in C^\infty[\delta/2, b]$ такая, что

$$\|v - v_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (7)$$

Определим следующие функции: $w_n(r) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r \leq \delta, \\ v_n(2\delta)(r-\delta)/\delta, & \delta \leq r \leq 2\delta, \\ v_n(r), & 2\delta \leq r \leq b. \end{cases}$

Заметим, что $w_n(r) \in H^1[0, b]$. Аналогично доказанному выше существует последовательность $\{z_{n_m}\}_{m=1}^\infty \in C^\infty[0, b]$ такая, что

$$\|w_n - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, b]} \rightarrow 0 \text{ при } m \rightarrow \infty \quad (8)$$

для любого фиксированного n . Причем $z_{n_m}(r) = 0$ при $0 \leq r \leq \delta/2$.

Докажем, что $z_{n_m}(r)$ – искомые. Легко заметить, что $z_{n_m}(r) \in H_r^1[0, b]$.

Имеем

$$\begin{aligned} \|v - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, b]} &\leq \|v - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, \delta/2]}^2 + 4\|v - v_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2 + 4\|w_n - z_{n_m}\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2 + \\ &\quad + 4\|v_n - w_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Оценим четвертое слагаемое правой части (9):

$$\begin{aligned} \|v_n - w_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2 &\leq 2\|v_n\|_{H_r^1[\delta/2, 2\delta]}^2 + 2\|v_n(2\delta)(r-\delta)/\delta\|_{H_r^1[\delta, 2\delta]}^2 \leq 4\|v\|_{H_r^1[\delta/2, 2\delta]}^2 + \\ &\quad + 4\|v - v_n\|_{H_r^1[\delta/2, 2\delta]}^2 + 10(v^2(2\delta) + (v(2\delta) - v_n(2\delta))^2). \end{aligned} \quad (10)$$

В силу известной теоремы вложения при малых δ имеем

$$|v(2\delta) - v_n(2\delta)| \leq \max(\delta, 1/\delta)^{1/2} \|v - v_n\|_{H_r^1[\delta, 2\delta]} = \|v - v_n\|_{H_r^1[\delta, 2\delta]} / \delta^{1/2}.$$

Отсюда с учетом (9), (10) получим

$$\begin{aligned} \|v - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, b]}^2 &\leq 16\|v\|_{H_r^1[0, 2\delta]}^2 + 20\|v - v_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2 + 40v^2(2\delta) + \\ &\quad + 1/\delta \|v - v_n\|_{H_r^1[\delta, 2\delta]}^2 + 4\|w_n - z_{n_m}\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2. \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом абсолютной непрерывности интеграла Лебега и доказанного выше равенства $v(0) = 0$ имеем $\forall \varepsilon > 0 \exists \delta_0$ такое, что $\forall \delta : 0 < \delta \leq \delta_0$

$$\|v\|_{H_r^1[0, 2\delta]}^2 < \varepsilon \quad \text{и} \quad v^2(2\delta) < \varepsilon. \quad (12)$$

Зафиксируем одно из таких δ . В силу (7) выберем такое $N_0(\delta, \varepsilon)$,

что $\forall n \geq N_0$

$$\|v - v_n\|_{H_r^1[\delta/2, b]}^2 < \varepsilon\delta. \quad (13)$$

Зафиксируем одно из n , $n \geq N_0$. В силу (8) можно выбрать $M_0(n, \delta, \varepsilon)$ такое, что $\forall m \geq M_0$ $\|w_n - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, b]}^2 < \varepsilon\delta$.

Отсюда и из (11)–(13) получим $\|v - z_{n_m}\|_{H_r^1[0, b]}^2 < (144 + 24\delta b)\varepsilon$. ▶

Также вводятся весовые гильбертовы пространства $H_r^2[0, b]$, $\tilde{H}_r^2[0, b]$, $H_r^3[0, b]$ с соответствующими скалярными произведениями:

$$\begin{aligned} \langle u, v \rangle_{H_r^2} &= \int_0^b (ru''v'' + u'v'/r + uv) dr, \quad \langle u, v \rangle_{\tilde{H}_r^2} = \int_0^b (ru''v'' + u'v' + uv/r^2) dr, \\ \langle u, v \rangle_{H_r^3} &= \int_0^b (ru'''v''' + u''v'' + u'v'/r^2 + uv) dr. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$H_r^2[0, b] = \{v : v, v', v'' \in L_{1,loc}[0, b] \text{ и } \|v\|_{H_r^2}^2 = \int_0^b (rv''^2 + v'^2/r + v^2) dr < +\infty\},$$

$$\tilde{H}_r^2[0, b] = \{v : v, v', v'' \in L_{1,loc}[0, b], \|v\|_{\tilde{H}_r^2}^2 = \int_0^b (rv''^2 + v'^2 + v^2/r^2) dr < +\infty\},$$

$$H_r^3[0, b] = \{v : v, v', v'', v''' \in L_{1,loc}[0, b], \|v\|_{H_r^3}^2 = \int_0^b (rv'''^2 + v''^2 + v'^2/r^2 + v^2) dr < +\infty\}.$$

Аналогично лемме 1 и теоремам 1, 2 доказываются следующие леммы и теоремы.

Лемма 2. Пространства $H_r^2[0, b]$, $\tilde{H}_r^2[0, b]$, $H_r^3[0, b]$ полные.

Теорема 3. Имеет место следующее вложение $H_r^2[0, b] \subset H_r^2[\delta, b]$ и справедлива оценка $\|v\|_{H_r^2[\delta, b]} \leq C_1 \|v\|_{H_r^2[0, b]}$ для любой функции $v \in H_r^2[0, b]$, где $C_1 = (\max(1/\delta, b))^{1/2}$, $\delta > 0$.

Теорема 4. Любая функция $v \in H_r^2[0, b]$ может быть отождествлена с функцией, имеющей непрерывную производную, причем

$$\max_{[0, b]} (|v'(r)| + |v(r)|) \leq C_3 \|v\|_{H_r^2}, \quad v'(0) = 0.$$

Обозначим через $K[0, b]$ пространство $C^\infty[0, b] \cap \{\text{функции, производные которых финитны на левом конце отрезка } [0, b]\}$.

Лемма 3. Пространство $H_r^2[0, b]$ есть замыкание пространства $K[0, b]$.

Лемма 4. Шар $S = \{u(r) : u(r) \in \tilde{H}_r^2[0, b], \|u\|_{\tilde{H}_r^2} \leq R\}$ предкомпактен в $H_r^1[0, b]$.

$$\blacktriangleleft \text{ Имеем } \int_0^b \left(\sqrt{r+h} u'(r+h) - \sqrt{r} u'(r) \right)^2 dr = \int_0^b \left[\int_r^{r+h} \left(\sqrt{\xi} u'(\xi) \right)^2 d\xi \right]^2 dr = \\ = \int_0^b \int_r^{r+h} \left(\sqrt{\xi} u''(\xi) + u'(\xi) / (2\sqrt{\xi}) \right)^2 d\xi dr \leq \left(2bh + \frac{1}{2} \int_0^b \ln \left(1 + \frac{h}{r} \right) dr \right) R^2 \rightarrow 0.$$

Далее, $\int_0^b r u'^2 dr \leq b \int_0^b u'^2 dr \leq bR^2$ при $h \rightarrow 0$, $\forall u \in S$.

Равностепенная непрерывность по норме L_2 и равномерная ограниченность множества $\{\sqrt{r} u'(r)\}_{u \in S}$ доказаны. Тогда по теореме Рисса (см. [4]) из этого множества можно выделить такую сходящуюся подпоследовательность, что

$$\int_0^b r (u'_m - u'_n)^2 dr = \int_0^b (\sqrt{r} u'_m - \sqrt{r} u'_n)^2 dr \rightarrow 0 \text{ при } m, n \rightarrow \infty. \quad (14)$$

Обозначим через $S_1 = \{u_n(r)\}_{n=1}^\infty$. Аналогично доказанному выше можно установить существование такой сходящейся подпоследовательности из S_1 ,

что $\int_0^b (u_{n_k} - u_{n_l})^2 / r dr \rightarrow 0$ при $k, l \rightarrow \infty$. Отсюда с учетом (14) имеем

$$\|u_{n_k} - u_{n_l}\|_{H_r^1} \rightarrow 0 \text{ при } k, l \rightarrow \infty. \blacksquare$$

Аналогично доказываются следующие леммы.

Лемма 6. Шар $S = \{u(r) : u(r) \in H_r^3[0, b], \|u\|_{H_r^3} \leq R\}$ предкомпактен в $H_r^2[0, b]$.

Лемма 7. Шары $S = \{u(r) : u(r) \in H_r^1[0, b], \|u\|_{H_r^1} \leq R\}$ и

$S_2 = \{u(r) : u(r) \in H_r^2[0, b], \|u\|_{H_r^2} \leq R\}$ предкомпактны в $L_2[0, b]$.

3. Существование и единственность обобщенного решения краевой задачи. Рассмотрим следующую краевую задачу:

$$(Lu)_1 = (rDW'')'' - ((vD' - D/r)W')' + (f'\varphi)' = p_1, \\ (Lu)_2 = (ar\varphi')' - (a/r + v)a'\varphi - f'W' = p_2 \quad (15)$$

при краевых условиях (3), где $Lu = ((Lu)_1, (Lu)_2)$, $u = (w, \varphi)$. Обозначим через V следующее линейное подпространство:

$$V = \{v : v = (v_1, v_2), v_1 \in H_r^2, v_2 \in H_r^1, v_1(b) = v'_1(b) = 0\}.$$

Определим норму на V : $\|v\|_V = \left(\|v_1\|_{H_r^2}^2 + \|v_2\|_{H_r^1}^2 \right)^{1/2}$.

На пространстве V рассмотрим билинейную форму

$B(u, v) = \int_0^b [rDu'_1v'_1 + (D - vD'r)u'_1v'_1/r - f'u'_2v'_2 + aru'_2v'_2 + (a + va'r)u_2v_2/r + f'u'_1v_2] dr - \alpha vv'_2 \Big|_0^b$, порожденную дифференциальным выражением и краевыми условиями (3) задачи (15).

Определение. Функция $u \in V$ называется обобщенным решением задачи (15), с условиями (3), если

$$B(u, v) = \langle p_1, v_1 \rangle_{L_2} - \langle p_2, v_2 \rangle_{L_2} \quad \forall v \in V. \quad (16)$$

В следующей теореме устанавливается существование решения задачи (16).

Теорема 5. Пусть $D(r), D(r) - vD'(r)r$ и $a'(r) \in L_\infty[0, b]$, $f'(r) \in L_1[0, b]$, $D(r) \geq D_0 > 0$, $D(r) - vD'(r)r \geq D_{10} > 0$, $a(r) \geq a_0 > 0$. Тогда для любой $p = (p_1, p_2)$, $p_1, p_2 \in L_2[0, b]$, задача (16) имеет единственное решение $u \in V$, причем верна оценка

$$\|u\|_V \leq \alpha^{-1} (\|p_1\|^2 + \|p_2\|^2)^{1/2}. \quad (17)$$

Решение u удовлетворяет краевым условиям $u_1(b) = u'_1(b) = u'_1(0) = u_2(0) = 0$ в классическом смысле.

◀ Из полноты пространств H_r^2, H_r^1 и оценки теоремы 4 и следует замкнутость пространства V . Покажем теперь, что билинейная форма $B(u, v)$ V -эллиптична, т.е.

$$B(v, v) \geq \alpha \|v\|_V^2 \quad \forall v \in V, \quad (18)$$

где $\alpha = \min(D_0, D_{10}/2, 4D_{10}/b^3, (1 - \varepsilon)a_0, 1 - v^2/\varepsilon)$, а ε – такое число, что $v^2 < \varepsilon < 1$. Имеем

$$B(v, v) = \int_0^b [rDv''_1^2 + (D - vD'r)v'_1^2/r + arv'_2^2 + (a + va'r)v_2^2/r] dr - \alpha vv'_2 \Big|_0^b. \quad (19)$$

Преобразуем некоторые члены $B(v, v)$.

$$\begin{aligned} & \int_0^b [arv'_2^2 + (a + va'r)v_2^2/r] dr - \alpha vv'_2 \Big|_0^b = \int_0^b [arv'_2^2 + (a + va'r)v_2^2/r - a'vv'_2 - 2avv'_2] dr \geq \\ & \geq \int_0^b [(1 - \varepsilon)arv'_2^2 + a(1 - v^2/\varepsilon)v_2^2/r] dr. \end{aligned} \quad (20)$$

Далее, $v_1(r) = - \int_0^r v'_1(\xi) d\xi$. Отсюда

$$\int_0^b v_1^2 dr \leq \int_0^b \left(\int_0^b \int_0^b |\xi| d\xi \int_0^b |v'_1|^2 / |\xi| d\xi \right) dr \leq b^3 / 2 \int_0^b |v'_1|^2 / r dr. \quad (21)$$

Из (19)–(21) выберем ε такое, чтобы $v^2 < \varepsilon < 1$ и получим (18). Легко доказать, что $|B(u, v)| \leq M_1 \|u\|_V \|v\|_V$. Аналогично можно доказать, что линейный функционал $\langle p_1, v_1 \rangle_{L_2} - \langle p_2, v_2 \rangle_{L_2}$ ограничен на V . Тогда, по лемме Лакса–

Мальграмма [5] существует единственное решение задачи (16) и справедлива оценка (17). Последнее утверждение теоремы следует из теоремы 4. ▶

4. Существование собственных чисел и обобщенных собственных функций задачи на собственные значения.

Определение. Функцию $u \in V$, $u \neq 0$, и число λ назовем обобщенной собственной функцией и собственным числом задачи (15) с условиями (3), если выполняется следующее равенство:

$$B(u, v) = \lambda \langle rh\rho u_1, v_1 \rangle_{L_2} \quad \forall v \in V. \quad (22)$$

Теорема 6. Пусть $D(r)$, $D(r) - vD'(r)r$, $a'(r)$, $h(r)$ и $\rho(r) \in L_\infty[0, b]$, $f'(r) \in L_1[0, b]$, $D(r) \geq D_0 > 0$, $D(r) - vD'(r)r \geq D_{10} > 0$, $a(r) \geq a_0 > 0$, $h(r) \geq h_0 > 0$, $\rho(r) \geq \rho_0 > 0$. Тогда существует последовательность собственных чисел задачи (21) $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k, \dots$, где $\lambda_k \rightarrow +\infty$, $k \rightarrow +\infty$, $\lambda_k > 0$. Каждому λ_k соответствует конечное число линейно независимых собственных функций, принадлежащих V . Система $\{u_{1k}\}_{k=1}^\infty$ первых координат собственных функций составляет полную ортонормированную систему с весом $rh\rho$. Для любого $u_1 \in L_2$ имеет место разложение

$$u_1 = \sum_{k=1}^{\infty} a_k u_{1k}, \quad \int_0^b \left(u_1 - \sum_1^N a_k u_{1k} \right) rh\rho \, dr \rightarrow 0 \text{ при } N \rightarrow \infty. \quad (23)$$

◀ Возьмем любое $\psi \in L_2[0, b]$. Тогда условие

$$B(u, v) = \langle rh\rho \psi, v_1 \rangle_{L_2} \quad \forall v \in V, \quad (24)$$

полученное из (16) при $p = (\sqrt{rh\rho}\psi, 0)$ в силу теоремы 5, определяет функцию $u \in V$. Тем самым определен оператор $G: \psi \in L_2[0, b] \rightarrow u = G\psi \in V$, причем верна оценка

$$\|u\|_V = \|G\psi\|_V \leq \alpha^{-1} \|\sqrt{rh\rho}\psi\|_{L_2} \leq M_1 \|\psi\|_{L_2}. \quad (25)$$

Докажем, что оператор $F_1\psi = \sqrt{rh\rho}(G\psi)_1$, как оператор, отображающий $L_2[0, b] \rightarrow L_2[0, b]$, компактный и самосопряженный. В (24) подставим $v = (v_1, 0)$ и $v = (0, -v_2)$. Полученные равенства сложим. В результате имеем

$$B_1(u, v) = \langle rh\rho \psi, v_1 \rangle_{L_2} \quad \forall v \in V, \quad (26)$$

где

$$B_1(u, v) = \int_0^b \left[rDu_1''v_1'' + (D - vD'r)u_1'v_1'/r - f'u_2v_1' - aru_2'v_2' - (a + va'r)u_2v_2/r - f'u_1'v_2 \right] dr + avu_2v_2|_0^b.$$

В отличие от $B(u, v)$ форма $B_1(u, v)$ симметрична, т.е. $B_1(u, v) = B_1(v, u)$. Таким образом, решение задачи (24) $G\psi$ является решением задачи (26). Верно и обратное, решение задачи (26) будет решением задачи (24).

Оператор F_1 можно представить в виде

$$F_1 = \sqrt{r h \rho} I \cdot (G\psi)_1, \quad (27)$$

где I – оператор вложения $H_r^2[0, b]$ в $L_2[0, b]$. По лемме 7 оператор I компактный. Далее, оператор $(G)_1$ в силу (25) ограниченный. Но тогда оператор $I \cdot (G)_1$ тоже компактный [3]. Отсюда и из (27) следует, что и F_1 – компактный.

Из симметричности и ограниченности оператора F_1 , определенного на всем $L_2[0, b]$, следует его самосопряженность [3].

Рассмотрим вспомогательную задачу на собственные значения

$$F_1 \psi = \mu \psi. \quad (28)$$

Справедливы следующие леммы.

Лемма 8. Существует последовательность собственных чисел $\mu_1, \dots, \mu_k, \dots$, $\mu_k \rightarrow 0$, $k \rightarrow \infty$, $\mu_k > 0$, задачи (28). Каждое собственное число имеет конечную кратность. Соответствующая последовательность собственных функций ψ_k является полной ортонормированной системой в $L_2[0, b]$.

◀ Покажем, что если $F_1 \psi = 0$, то $\psi = 0$. Из того, что $\sqrt{r h \rho} (G\psi)_1 = 0$, заключаем, что $(G\psi)_1 = 0$. Подставим в (24) $v = u = G\psi$. Имеем

$$\int_0^b (aru_2^2 + (a + va'r)u_2^2/r) dr - \alpha v u_2^2 \Big|_0^b = 0.$$

Отсюда в силу (18) при $v = (0, u_2)$ получим $\alpha \|u_2\|_{H_r^1}^2 \leq 0$, т.е. $u_2 \equiv 0$. Таким образом, $u = (u_1, u_2) \equiv 0$. Из (26) имеем $\langle r h \rho \psi, v_1 \rangle_{L_2} = 0 \quad \forall v \in V$. Докажем, что тогда $\psi = 0$. В силу того, что $v_1(b) = v_1(0) = v_1'(b) = 0$, получим

$$0 = \int_0^b \sqrt{r h \rho} \psi v_1 dr = \int_0^b \left(\int_0^r (\sqrt{\xi h \rho} \psi) v_1 \right) dr = \int_0^b \left(\int_0^r \int_0^z \sqrt{\xi h \rho} \psi d\xi dz + C \right) v_1 dr. \quad (29)$$

Доказав, что $(v_1, 0) \in V$, подставим в (29) $v_1(r) = \int_0^r \sqrt{\xi h \rho} \psi d\xi dz + C$ и

получим $\int_0^b \left(\int_0^r \int_0^z \sqrt{\xi h \rho} \psi d\xi dz + C \right)^2 dr = 0$ или, что то же самое, $\sqrt{r h \rho} \psi = 0$

$\forall r \in [0, b]$.

Таким образом, если $F_1 \psi = 0$, то $\psi = 0$. Применяя к задаче (28) теорию уравнений с компактными самосопряженными операторами [3] и учитывая тот факт, что $F_1 \psi = 0$, имеем $\psi = 0$. ►

Лемма 9. Пусть μ – собственное число, а ψ – собственная функция задачи (28), тогда $\lambda = 1/\mu$ и $u = G\psi$ являются соответственно собственным числом и собственной функцией задачи (24).

$$\blacktriangleleft \text{ В самом деле, } B(u, v) = B(G\psi, v) = \left\langle \sqrt{rh\rho} \psi, v_1 \right\rangle_{L_2} = \\ = 1/\mu \left\langle rh\rho(G\psi)_1, v_1 \right\rangle_{L_2} = \left\langle rh\rho u_1, v_1 \right\rangle_{L_2} \quad \forall v \in V. \quad \blacktriangleright$$

Лемма 10. Пусть λ – собственное число, а u – собственная функция задачи (24), тогда $\mu = 1/\lambda$ и $\psi = \sqrt{rh\rho}u_1$ являются соответственно собственным числом и собственной функцией задачи (28).

Продолжим доказательство теоремы 6.

Из лемм 8 и 9 следует существование собственных чисел и собственных функций задачи (22). Докажем, что $\lambda_k > 0$. Это следует из того, что

$$\alpha \|u\|_V^2 \leq B(u, u) = \lambda \left\langle rh\rho u_1, u_1 \right\rangle_{L_2}.$$

Выполнение (23) следует из лемм 8 и 10. ►

Кафедра математических методов и моделирования

Поступила 13.10.2004.
после доработки – 24.02.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Ааркциян Б.Г., Гнунин В.Ц., Оганесян А.О. Проектирование оболочек вращения минимальной массы. Сб. научных трудов, посвященных 60-летию ЕГУ, 1981.
2. Ааркциян Б.Г., Атоян Л.А. – Прикладная математика, ЕГУ, 1984, № 3, с. 48–55.
3. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1976.
4. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. М.: Наука, 1977.
5. Съярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач. М.: Мир, 1980.

Մ. Հ. ԱՐԱԲՅԱՆ

ՄԻ ՎԵՐԱՍԵՐՎՈՂ ՕՊԵՐԱՏՈՐԻ ՍՊԵԿՏՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ամփոփում

Աշխատանքում դիտարկվում է ոչ հանրագումարելի գործակիցներով հավասարումների համակարգի սեփական արժեքների խնդիրը։ Ներմուծվում են հասուլ կշռային ֆունկցիոնալ տարածություններ, որոնց համար ապացուցվում են ներդրման թեորեմներ։

Ուսումնասիրվում է եզրային խնդիրի գոյության և միակության հարցը, ապացուցվում է սեփական արժեքների խնդիրի լուծման գոյությունը։

M. H. ARABYAN

ON AN EIGENVALUE PROBLEM

Summary

In the paper an eigenvalue problem for a system of equations with unsummable coefficients is discussed. To solve the problem special weight functional spaces are introduced. For these spaces embedding theorems are proved.

The existence and uniqueness of a boundary value problem is considered. The existence of eigenvalue problem solution is proved.

Математика

УДК 517.948.25

Т. Н. АРУΤՅՈՆՅԱՆ, Գ. Գ. ՍԱԱԿՅԱՆ

ОБ ОДНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ
С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

В работе доказываются счетность собственных значений и полнота системы собственных функций для одной краевой задачи в частных производных.

§1. Некоторые предварительные понятия. Пусть $H_r = (L^2[0, \ell_r], C^2)$, $r = 1, 2$, – гильбертовы пространства двухкомпонентных вектор-функций $f^r(x_r) = (f_1^r(x_r), f_2^r(x_r))$, $x_r \in (0, \ell_r)$, со скалярным произведением

$$(f^r, g^r)_r = \int_0^{\ell_r} (f_1^r(x_r) \overline{g_1^r(x_r)} + f_2^r(x_r) \overline{g_2^r(x_r)}) dx_r, \quad r = 1, 2. \quad (1.1)$$

Обозначим через H тензорное произведение пространств $H_1 \otimes H_2$. Элементами H являются всевозможные тензорные произведения произвольных двух вектор-функций $f^1(x_1) = (f_1^1(x_1), f_2^1(x_1)) \in H_1$ и $f^2(x_2) = (f_1^2(x_2), f_2^2(x_2)) \in H_2$, определяемые в H как четырехмерные вектор-функции

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2) &= f^1(x_1) \otimes f^2(x_2) = \\ &= (f_1^1(x_1) f_1^2(x_2), f_1^1(x_1) f_2^2(x_2), f_2^1(x_1) f_1^2(x_2), f_2^1(x_1) f_2^2(x_2)) = \\ &= (f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2), f_3(x_1, x_2), f_4(x_1, x_2)). \end{aligned}$$

Скалярное произведение в H определяется по формуле

$$(f, g)_H = \int_0^{\ell_1} \int_0^{\ell_2} \sum_{i=1}^4 f_i(x_1, x_2) \overline{g_i(x_1, x_2)} dx_1 dx_2.$$

Предполагается, что H пополнено в его собственном скалярном произведении. Известно, что при этом H будет гильбертовым пространством, изоморфным (см., напр., [1], с. 67) пространству $L^2(I; C^4)$, где $I = [0, \ell_1] \times [0, \ell_2]$.

Определение 1. Система функций $y_k(x_1, x_2)$ вида $y_k(x_1, x_2) = y_k(x_1) \otimes y_k(x_2)$ называется полной в H , если для любого $f \in H$ из

условия $(f, y_k)_H = 0$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) следует, что $f(x) \equiv 0$ п.в.

§2. Формулировка задачи и основных результатов. Рассматривается следующая краевая задача в прямоугольнике $I = [0, \ell_1] \times [0, \ell_2]$:

$$\begin{cases} A(x_1) \frac{\partial u}{\partial x_1} - B(x_2) \frac{\partial u}{\partial x_2} + C(x_1, x_2)u = \mu K(x_1, x_2)u(x), \\ u(\ell_1, x_2) = u(0, x_2), \quad x_2 \in [0, \ell_2], \\ u(x_1, \ell_2) = u(x_1, 0), \quad x_1 \in [0, \ell_1], \end{cases} \quad (2.1)$$

где $A, B, C, K \in M^{4,4}$ – непрерывные матрицы порядка 4×4 , $u(x) = u(x_1, x_2) \in M^{4,1}$ – неизвестная вектор-функция, μ – комплексный параметр.

Определение 2. Значение параметра μ , при котором краевая задача (2.1) имеет нетривиальное решение $u(x_1, x_2, \mu)$ ($\neq 0$), называется собственным значением, а соответствующее ему решение u называется собственной функцией.

Обозначим $S_0 = -S \otimes S$, где $S = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$. Имеет место

Теорема. Если

$$\begin{aligned} A(x_1) &= A_1(x_1) \otimes E, \quad B(x_2) = E \otimes A_2(x_2), \quad C(x_1, x_2) = C_1(x_1) \otimes E - E \otimes C_2(x_2), \\ K(x) &= K_1(x_1) \otimes E - E \otimes K_2(x_2), \end{aligned} \quad (2.2)$$

где A_r, C_r, K_r ($r = 1, 2$) – вещественные непрерывные на $[0, \ell_r]$ матрицы порядка 2×2 , E – единичная матрица, причем матрицы A_r вида $\begin{pmatrix} a & b \\ b & -a \end{pmatrix}$, матрицы C_r, K_r вида $\begin{pmatrix} m & n \\ -n & m \end{pmatrix}$ и оператор $\Delta_0 = S_0(AB)^{-1}K$ удовлетворяет условию $(\Delta_0 h, h)_H \geq \gamma \|h\|^2$, $\gamma > 0$, для любого $h \in H$, то краевая задача (2.1) имеет счетное число собственных значений, которые все действительны, а соответствующие собственные функции можно пронормировать так, чтобы они образовывали Δ_0 -ортонормированную и полную в $L^2(I)$ систему.

§3. Доказательство теоремы. Предположим, что $y_r(x_r) = (y_r^1(x_r), y_r^2(x_r))$, $z_r(x_r) = (z_r^1(x_r), z_r^2(x_r))$, $r = 1, 2$, – C^2 -значные вектор-функции, непрерывные на отрезке $[0, \ell_r]$, $r = 1, 2$. Имеет место

Лемма 1. Из тождества

$$z_1(x_1) \otimes y_2(x_2) = y_1(x_1) \otimes z_2(x_2), \quad (x_1, x_2) \in [0, \ell_1] \times [0, \ell_2], \quad (3.1)$$

следует, что существует такое λ , что

$$z_i(x_i) = \lambda y_i(x_i), \quad i = 1, 2. \quad (3.2)$$

Доказательство. Воспользовавшись определением тензорного произведения для вектор-функций, запишем равенство (3.1) в виде

$$\begin{aligned} & \left(z_1^1(x_1)y_2^1(x_2), z_1^1(x_1)y_2^2(x_2), z_1^2(x_1)y_2^1(x_2), z_1^2(x_1)y_2^2(x_2) \right) = \\ & = \left(y_1^1(x_1)z_2^1(x_2), y_1^1(x_1)z_2^2(x_2), y_1^2(x_1)z_2^1(x_2), y_1^2(x_1)z_2^2(x_2) \right). \end{aligned}$$

Отсюда следуют тождества

$$z_1^1(x_1)y_2^1(x_2) = y_1^1(x_1)z_2^1(x_2),$$

$$z_1^1(x_1)y_2^2(x_2) = y_1^1(x_1)z_2^2(x_2),$$

$$z_1^2(x_1)y_2^1(x_2) = y_1^2(x_1)z_2^1(x_2),$$

$$z_1^2(x_1)y_2^2(x_2) = y_1^2(x_1)z_2^2(x_2),$$

или, предположив, что $y_i^j(x_i) \neq 0$, $i, j = 1, 2$, получим

$$\frac{z_1^1(x_1)}{y_1^1(x_1)} = \frac{z_2^1(x_2)}{y_2^1(x_2)}, \quad \frac{z_1^1(x_1)}{y_1^2(x_1)} = \frac{z_2^2(x_2)}{y_2^2(x_2)}, \quad \frac{z_1^2(x_1)}{y_1^2(x_1)} = \frac{z_2^1(x_2)}{y_2^1(x_2)}, \quad \frac{z_1^2(x_1)}{y_1^1(x_1)} = \frac{z_2^2(x_2)}{y_2^2(x_2)}.$$

Отсюда найдем, что

$$\frac{z_1^1(x_1)}{y_1^1(x_1)} = \frac{z_1^2(x_1)}{y_1^2(x_1)} = \frac{z_2^1(x_2)}{y_2^1(x_2)} = \frac{z_2^2(x_2)}{y_2^2(x_2)}. \quad (3.3)$$

Зафиксировав какое-то значение x_1 из отрезка $[0, \ell_1]$, получим, что для всех $x_2 \in [0, \ell_2]$ имеют место равенства

$$\frac{z_1^1(x_1)}{y_1^1(x_1)} = \frac{z_1^2(x_1)}{y_1^2(x_1)} = \frac{z_2^1(x_2)}{y_2^1(x_2)} = \frac{z_2^2(x_2)}{y_2^2(x_2)} = \text{const} = \lambda.$$

Тогда из соотношения (3.3) будет следовать, что

$$\frac{z_1^1(x_1)}{y_1^1(x_1)} = \frac{z_1^2(x_1)}{y_1^2(x_1)} = \frac{z_2^1(x_2)}{y_2^1(x_2)} = \frac{z_2^2(x_2)}{y_2^2(x_2)} = \lambda$$

для любых $x_i \in [0, \ell_r]$ ($r = 1, 2$), откуда будем иметь

$$z_i(x_i) = \lambda y_i(x_i), \quad i = 1, 2. \quad (3.4)$$

Нетрудно проверить, что соотношения (3.2) имеют место и в случае равенства нулю одной из компонент $y_i(x_i)$ или $z_i(x_i)$, $i = 1, 2$.

Лемма 1 доказана.

Лемма 2. Границную задачу (2.1) при условиях (2.2) можно свести к следующей двупараметрической задаче Дирака:

$$\begin{cases} S \frac{dy_r(x_r)}{dx_r} + G_r(x_r) y_r(x_r) = \sum_{s=1}^2 \lambda_s A_{rs}(x_r) y_s(x_r), & r = 1, 2, \\ y_r(\ell_r) = y_r(0), & r = 1, 2, \end{cases} \quad (3.5)$$

где

$$G_1 = SA_1^{-1}C_1, \quad G_2 = SA_2^{-1}C_2, \quad A_{11} = SA_1^{-1}, \quad A_{12} = SA_1^{-1}K_1, \quad A_{21} = SA_2^{-1}, \quad A_{22} = SA_2^{-1}K_2. \quad (3.7)$$

Верно и обратное.

Доказательство. Будем искать решения задачи (2.1) в виде $y(x_1, x_2) = y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)$, где $y_r(x_r)$ – двухкомпонентная вектор-функция, удовлетворяющая условиям

$$1. \quad y'(x_r) \in AC[0, \ell_r].$$

$$2. \quad D_r y' \equiv S \frac{dy'}{dx_r} + G_r(x_r) y' \in L^2[0, \ell_r].$$

Подставив значение y в систему (1.1) и учитывая свойства тензорных произведений (см., напр., [2]), найдем

$$(A_1(x_1) \otimes E) \left(\frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} \otimes y_2(x_2) \right) - (E \otimes A_2(x_2)) \left(y_1(x_1) \otimes \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} \right) +$$

$$+ (C_1(x_1) \otimes E - E \otimes C_2(x_2)) y_1(x_1) \otimes y_2(x_2) = \mu (K_1(x_1) \otimes E - E \otimes K_2(x_2)) y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)$$

или

$$A_1(x_1) \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} \otimes y_2(x_2) - y_1(x_1) \otimes A_2(x_2) \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + C_1(x_1) y_1(x_1) \otimes y_2(x_2) -$$

$$- y_1(x_1) \otimes C_2(x_2) y_2(x_2) = \mu K_1(x_1) y_1(x_1) \otimes y_2(x_2) - \mu y_1(x_1) \otimes K_2(x_2) y_2(x_2).$$

Отсюда найдем

$$\begin{aligned} & \left(A_1(x_1) \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + C_1(x_1) y_1(x_1) - \mu K_1(x_1) y_1(x_1) \right) \otimes y_2(x_2) = \\ & = y_1(x_1) \otimes \left(A_2(x_2) \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + C_2(x_2) y_2(x_2) - \mu K_2(x_2) y_2(x_2) \right). \end{aligned}$$

Из полученных соотношений, согласно лемме 1, будет следовать, что существует такое число λ , что

$$\begin{cases} A_1(x_1) \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + C_1(x_1) y_1(x_1) - \mu K_1(x_1) y_1(x_1) = \lambda y_1(x_1), \\ A_2(x_2) \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + C_2(x_2) y_2(x_2) - \mu K_2(x_2) y_2(x_2) = \lambda y_2(x_2). \end{cases}$$

Полученную систему можно записать в виде

$$\begin{cases} A_1(x_1) \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + C_1(x_1) y_1(x_1) = (\lambda E + \mu K_1(x_1)) y_1(x_1), \\ A_2(x_2) \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + C_2(x_2) y_2(x_2) = (\lambda E + \mu K_2(x_2)) y_2(x_2). \end{cases}$$

Пусть $S = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$. Нетрудно проверить, что матрицы A_1 и A_2 – невырожденные и, следовательно, существуют A_1^{-1} и A_2^{-1} . Тогда, умножив первое

уравнение слева на SA_1^{-1} , а второе на SA_2^{-1} , получим

$$\begin{cases} S \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + SA_1^{-1}(x_1) C_1(x_1) y_1(x_1) = (\lambda SA_1^{-1}(x_1) + \mu SA_1^{-1}(x_1) K_1(x_1)) y_1(x_1), \\ S \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + SA_2^{-1}(x_2) C_2(x_2) y_2(x_2) = (\lambda SA_2^{-1}(x_2) + \mu SA_2^{-1}(x_2) K_2(x_2)) y_2(x_2). \end{cases} \quad (3.8)$$

Обозначим

$$G_1 = SA_1^{-1}C_1, G_2 = SA_2^{-1}C_2, A_{11} = SA_1^{-1}, A_{12} = SA_1^{-1}K_1, A_{21} = SA_2^{-1}, A_{22} = SA_2^{-1}K_2, \quad (3.9)$$

$$\lambda_1 = \lambda, \quad \lambda_2 = \mu. \quad (3.10)$$

Система (3.8) запишется в этом случае в виде двупараметрической системы Дирака, а именно,

$$S \frac{dy_r(x_r)}{dx_r} + G_r(x_r)y_r(x_r) = \sum_{s=1}^2 \lambda_s A_{rs}(x_r)y_s(x_r), \quad r = 1, 2. \quad (3.11)$$

Докажем теперь обратное. Пусть $y_r(x_r)$ ($r = 1, 2$) – решение r -го уравнения системы (3.11). Тогда имеем

$$\begin{cases} S \frac{dy_1}{dx_1} + G_1 y_1 = (\lambda_1 A_{11} + \lambda_2 A_{12}) y_1, \\ S \frac{dy_2}{dx_2} + G_2 y_2 = (\lambda_1 A_{21} + \lambda_2 A_{22}) y_2. \end{cases} \quad (3.12)$$

Подставив значения G_i , A_{ij} , λ_i ($i, j = 1, 2$) из (3.9), (3.10), получим

$$\begin{cases} S \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + SA_1^{-1}(x_1)C_1(x_1)y_1(x_1) = (\lambda SA_1^{-1}(x_1) + \mu SA_1^{-1}(x_1)K_1(x_1))y_1(x_1), \\ S \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + SA_2^{-1}(x_2)C_2(x_2)y_2(x_2) = (\lambda SA_2^{-1}(x_2) + \mu SA_2^{-1}(x_2)K_2(x_2))y_2(x_2). \end{cases}$$

Умножив первое уравнение слева на $-A_1 S$, а второе на $-A_2 S$ и учитывая то, что $S^2 = -E$, найдем

$$\begin{cases} A_1(x_1) \frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} + C_1(x_1)y_1(x_1) = (\lambda E + \mu K_1(x_1))y_1(x_1), \\ A_2(x_2) \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} + C_2(x_2)y_2(x_2) = (\lambda E + \mu K_2(x_2))y_2(x_2). \end{cases} \quad (3.13)$$

Далее, умножив первое равенство (3.13) тензорно справа на $Ey_2(x_2)$, а второе слева на $Ey_1(x_1)$, найдем

$$\begin{aligned} & \left((A_1(x_1) \otimes E) \left(\frac{\partial y_1(x_1)}{\partial x_1} \otimes y_2(x_2) \right) + (C_1(x_1) \otimes E)(y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)) \right) = \\ & = (\lambda E \otimes E + \mu K_1(x_1) \otimes E)(y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)), \\ & \left((E \otimes B_2(x_2)) \left(y_1(x_1) \otimes \frac{\partial y_2(x_2)}{\partial x_2} \right) + (E \otimes C_2(x_2))(y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)) \right) = \\ & = (\lambda E \otimes E + \mu E \otimes K_2(x_2))(y_1(x_1) \otimes y_2(x_2)) \end{aligned}$$

или

$$\begin{cases} A(x_1) \frac{\partial y(x)}{\partial x_1} + C_1(x_1) \otimes Ey(x) = (\lambda E \otimes E + \mu K_1(x_1) \otimes E)y(x), \\ B(x_2) \frac{\partial y(x)}{\partial x_2} + E \otimes C_2(x_2)y(x) = (\lambda E \otimes E + \mu E \otimes K_2(x_2))y(x). \end{cases} \quad (3.14)$$

Вычитая теперь из первого равенства (3.14) второе и учитывая обозначения (3.9), найдем

$$A(x_1) \frac{\partial y(x)}{\partial x_1} - B(x_2) \frac{\partial y(x)}{\partial x_2} + C(x)y(x) = \mu K(x)y(x).$$

Нетрудно проверить, что из краевых условий задачи (2.1) вытекают условия (3.6) и наоборот.

Лемма 2 доказана.

Заметим, что собственные функции задач (2.1) (см. [2], с. 10) и (3.5)–(3.6) совпадают.

В силу условий теоремы, согласно лемме 2, задачу (2.1) можно свести к следующей двупараметрической задаче Дирака:

$$\begin{cases} S \frac{dy_r(x_r)}{dx_r} + G_r(x_r)y_r(x_r) = \sum_{s=1}^2 \lambda_s A_{rs}(x_r)y_s(x_r), \\ y_r(\ell_r) = y_r(0), \quad r = 1, 2, \end{cases} \quad (3.15)$$

где G_r и A_{rs} ($r, s = 1, 2$) определяются из соотношений (3.7), причем нетрудно проверить, что для указанных в условии теоремы видов матриц A_r , C_r и K_r будем иметь $A_r^* = A_{rs}$, $G_r^* = G_s$, $r, s = 1, 2$.

Далее имеем $\Delta_0 = A_{11} \otimes A_{22} - A_{12} \otimes A_{21} = SA_1^{-1} \otimes SA_2^{-1} K_2 - SA_1^{-1} K_1 \otimes SA_2^{-1} = = (SA_1^{-1} \otimes SA_2^{-1})(E \otimes K_2) - (SA_1^{-1} \otimes SA_2^{-1})(K_1 \otimes E) = (SA_1^{-1} \otimes SA_2^{-1})(E \otimes K_2 - K_1 \otimes E) = = -(S \otimes S)(A_1 \otimes A_2)^{-1} K = S_0(AB)^{-1} K$.

Тогда, согласно условиям теоремы, а также теоремам 1.1, 2.1 (из. [3], с. 10–12), задача (3.5)–(3.6), а следовательно и (2.1), будет иметь счетное множество вещественных собственных значений; собственные функции, соответствующие различным собственным значениям, будут Δ_0 -ортогональны, причем система собственных функций задачи (3.5)–(3.6), а значит и задачи (2.1), полна в пространстве H (см. [3], теорема 2.2) и, следовательно (в силу изоморфности пространств H и $L^2(I)$), в $L^2(I)$. Теорема доказана.

ЕГУ, АпГУ

Поступила 29.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Рид М., Саймон Б. Методы современной математической физики. Т. 1. Функциональный анализ. М.: Мир, 1977.
2. Саакян Г.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2001, т. 2, с. 14–21.
3. Саакян Г.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2002, т. 1, с. 9–13.

Տ. Ն. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Գ. Հ. ՍԱՀԱԿՅԱՆ

ՄԱՄՆԱԿԱՆ ԱԾԱՆՑՅԱԼՆԵՐՈՎ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ՀԱՄԱՐ ՄԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ԽՆԴՐԻ ՍԱՍԻՆ

Ամփոփում

Մասնակի ածանցյալներով մի եզրային խնդրի համար ապացուցվում են սեփական արժեքների հաշվելիությունը և սեփական ֆունկցիաների լրիվությունը:

T. N. HARUTUNIAN, G. H. SAHAKYAN

ON A SPECTRAL PROBLEM FOR A SYSTEM OF PARTIAL
DIFFERENTIAL EQUATIONS

Summary

The accounting of the eigenvalues and the completeness of the eigenfunctions has been proved for a boundary problem with partial derivatives.

Математика

УДК 518.519

А.А. ДАНИЕЛЯН

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ СВОЙСТВО ВРЕМЕН ОЖИДАНИЯ МОДЕЛИ $G|G|1|\infty$

Рассматриваются стационарные функции распределения W и W' времен ожидания модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине *FIFO*, являющиеся пределами по времени актуального и виртуального времен ожидания. Установлено следующее экстремальное свойство. Для всех $x \in (0, +\infty)$ справедливы строгие неравенства $W(x) > W^*(x) > \hat{W}(x)$ в случае непуассоновского входящего потока, где \hat{W} – стационарная функция распределения времен ожидания в случае пуассоновского входящего потока.

1⁰. Рассматривается следующая модель $G|G|1|\infty$ очередей. В одноканальную систему обслуживания с ожиданием в моменты $\{t_n\}$, где $0 = t_0 \leq t_1 \leq t_2 \dots$, поступают одиночные вызовы, пронумерованные в порядке поступления числами 1, 2, 3, ... Пусть $u_n = t_n - t_{n-1}$, $n \geq 1$, и v_n – время обслуживания n -го вызова. Последовательности $\{u_n\}$ и $\{v_n\}$ независимы и образуют последовательности независимых одинаково распределенных (НОР) случайных величин (СВ) с функциями распределения (ФР) A и B соответственно.

Предположения.

1. $A(+0)=0$, $B(+0)=0$. Условие $A(+0)=0$ влечет $P(t_0 < t_1 < t_2 < \dots) = 1$, где P – знак вероятности. Условие $B(+0)=0$ означает, что вероятность “мгновенного” обслуживания равна нулю.

2. $0 < \alpha_1 = Mu_1 < +\infty$, $0 < \beta_1 = Mv_1 < +\infty$, где M – знак математического ожидания. Тогда загрузка $\rho_1 = (\beta_1 / \alpha_1) \in R^+ = (0, +\infty)$.

3. Случай $P(u_1 = \alpha_1) = P(v_1 = \beta_1) = 1$ исключен из рассмотрения.

4. A и B – неарифметические ФР.

Характеристики. $w(t)$, $t \geq 0$, – виртуальное время ожидания в момент t . w_n , $n \geq 1$, – время ожидания n -го вызова.

Известно [1], что для $x \in R^+$ при дисциплине FIFO существуют пределы $W^*(x) = \lim_{t \rightarrow +\infty} P(w(t) < x)$, $W(x) = \lim_{n \rightarrow +\infty} P(w_n < x)$, которые при $\rho_1 < 1$ являются собственными ФР, называемыми стационарными ФР времен ожидания. При этом, вообще говоря, они не совпадают и связаны формулой Такача [1]

$$W^*(x) = 1 - \rho_1 + \rho_1 P(w + \hat{v} < x), \quad x \in R^+, \quad (1)$$

где w и \hat{v} – независимые СВ с ФР W , и

$$\hat{B}(x) = \frac{1}{\beta_1} \int_0^x (1 - B(u)) du. \quad (2)$$

В настоящей работе уточняется следующий известный факт [1].

Теорема 1. В модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине FIFO и $\rho_1 < 1$ имеем $W \equiv W^*$ тогда и только тогда, когда

$$A(x) = 1 - \exp(-(1/\alpha_1)x), \quad x \in R^+. \quad (3)$$

Уточнение формулируется следующим образом.

Теорема 2. В модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине FIFO и $\rho_1 < 1$ одновременно для всех $x \in R^+$

$$\text{либо } W(x) > W^*(x) > \hat{W}(x), \quad (4)$$

$$\text{либо } W(x) = W^*(x) = \hat{W}(x), \quad (5)$$

$$\text{где } \hat{W}(x) = (1 - \rho_1) \sum_{k \geq 0} \rho_1^k \hat{B}^{k*}(x), \quad x \in R^+, \quad (6)$$

\hat{B}^{k*} – k -кратная свертка \hat{B} , $k \geq 2$, $\hat{B}^{0*} \equiv 1$, $\hat{B}^{1*} \equiv \hat{B}$.

Теорема 1 является следствием теоремы 2, поскольку формула (6), известная как формула Коэна, в модели $M|G|1|\infty$ представляет собой стационарную ФР времен ожидания.

С другой стороны, теорема 2 характеризует экстремальное свойство стационарных ФР времен ожидания в модели $G|G|1|\infty$ в классе ФР A последовательности $\{u_n\}$, удовлетворяющих предположениям 1–4.

Доказательство теоремы 2 основано на формуле Такача (1) и на трех следующих вспомогательных леммах.

2⁰. Основные неравенства. Справедлива следующая

Лемма 1. В модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине FIFO и $\rho_1 < 1$ для $x \in R^+$ справедливы неравенства

$$W(x) \geq W^*(x) \geq \hat{W}(x). \quad (7)$$

Доказательство. Пусть $N(t)$, $t \geq 0$, – число поступивших за $[0, t]$ в модель вызовов, $M(t) = N(t) + 1$. Тогда из известных равенств для времен ожидания

$$w_{n+1} = \max(0, w_n + v_n - u_{n+1}), \quad n \geq 1, \quad w(t) = \max(0, w_{N(t)} + v_{N(t)} - (t - t_{N(t)})), \quad t \geq 0,$$

на событии $\{N(t) > 0\}$ выводим оценку

$$w(t) \geq w_{M(t)}. \quad (8)$$

Из усиленного закона больших чисел для $\{N(t) : t \geq 0\}$ [2] следует

$$P\left\{\lim_{t \rightarrow +\infty} N(t) = +\infty\right\} = 1.$$

Поэтому из-за неубывания последовательности $\{P(w_n < x)\}$ при фиксированном $x \in R^+$ из (8) выводим

$$W^*(x) = \lim_{t \rightarrow +\infty} P(w(t) < x) \leq \lim_{t \rightarrow +\infty} P(w_{M(t)} < x) = \lim_{n \rightarrow +\infty} P(w_n < x) = W(x).$$

Из первого неравенства (7) следует неравенство

$$P(w + \hat{v} < x) \geq P(w^* + \hat{v} < x), \quad x \in R^+, \quad (9)$$

где СВ w и \hat{v} , w^* и \hat{v} независимы, а w и w^* имеют ФР W и W^* соответственно.

Далее, из (1), (9) и первого неравенства (7) при $x \in R^+$ и $\rho_1 < 1$ находим

$$W(x) \geq 1 - \rho_1 + \rho_1 P(w + \hat{v} < x). \quad (10)$$

Аналогично при $x \in R^+$ и $\rho_1 < 1$ имеем

$$W^*(x) \geq 1 - \rho_1 + \rho_1 P(w^* + \hat{v} < x). \quad (11)$$

Неравенства (10), (11) допускают обобщение. Именно, при $x \in R^+$, $\rho_1 < 1$ и целом $n \geq 1$

$$W(x) \geq (1 - \rho_1) \sum_{k=0}^{n-1} \rho_1^k \hat{B}^{k*}(x) + \rho_1^n P\left(w + \sum_{i=1}^n \hat{v}_i < x\right) \quad (12)$$

((12) справедливо при замене W и w на W^* и w^* соответственно). Здесь $\{\hat{v}_n\}$ – последовательность НОР СВ с ФР \hat{B} , а w , w^* не зависят от $\{\hat{v}_n\}$.

Неравенство (12) и его аналог сохраняются при $n \rightarrow +\infty$, что влечет за собой (7).

3⁰. Первое уточнение. Справедлива следующая

Лемма 2. Если в модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине FIFO и $\rho_1 < 1$ неравенство $W^*(x) > \hat{W}(x)$ выполнено при некотором $\hat{x} \in R^+$, то оно сохраняется и при $x \in [\hat{x}, +\infty)$.

Доказательство. ФР \hat{B}^{n*} , $n \geq 1$, абсолютно непрерывна, а ее плотность $g_n > 0$ на $[0, n\rho_1]$. Действительно,

$$g_n(x) = \iint_{D_n(x)} \prod_{k=1}^n (1 - B(x_k)) dx_k,$$

где $D_n(x) = \{(x_1, \dots, x_n) : x_k \geq 0, k = \overline{1, n}, \sum x_k = x\}$.

Из (1) и (6) вытекает существование плотности у W^* и \hat{W} . Поэтому

найдется $\varepsilon > 0$ такое, что $W^*(x) > \hat{W}(x)$ при $x \in [\hat{x}, \hat{x} + \varepsilon]$. Покажем, что это неравенство верно и для $x \in [\hat{x} + \varepsilon, +\infty)$. Из аналога (12) для W^* , выбрав целые $m \geq n \geq 1$ из условия $(n-1)\beta_1 < \hat{x} < \hat{x} + \varepsilon \leq m\beta_1$ при $x \in [\hat{x} + \varepsilon, +\infty)$, получаем

$$\begin{aligned} W^*(x) &\geq (1 - \rho_1) \sum_{k=0}^{m-1} \rho_1^k \hat{B}^{k*}(x) + \rho_1^m \left(\int_0^{\hat{x}} \int_{\hat{x}}^{\hat{x}+\varepsilon} \int_{\hat{x}+\varepsilon}^{+\infty} \right) W^*(y) g_m(x-y) dy > \\ &> (1 - \rho_1) \sum_{k=0}^{m-1} \rho_1^k \hat{B}^{k*}(x) + \rho_1^m \int_0^x \hat{W}(y) g_m(x-y) dy = \\ &= (1 - \rho_1) \sum_{k=0}^{m-1} \rho_1^k \hat{B}^{k*}(x) + \rho_1^m \hat{B}^{m*}(x) + \hat{W}(x) = \hat{W}(x). \end{aligned} \quad (13)$$

В (13) приняты во внимание (6), (7) и строгое неравенство $W^*(y) > \hat{W}(y)$ при $y \in [\hat{x}, \hat{x} + \varepsilon]$.

4⁰. Второе уточнение. Лемма 2 обосновывает с учетом неравенства [3]

$$p_0 = W(+0) \geq W^*(+0) = 1 - \rho_1$$

(равенство имеет место тогда и только тогда, когда выполнено (3)) следующее равенство:

$$0 \leq \underline{x} = \min \{x > 0 : W^*(x) > \hat{W}(x)\} = \max \{x \geq 0 : W^*(x) = \hat{W}(x)\} \leq +\infty. \quad (14)$$

При этом, по аксиоме непрерывности, $W^*(\underline{x}) = \hat{W}(\underline{x})$.

Введенное число \underline{x} используется для следующего уточнения леммы 1.

Лемма 3. В модели $G|G|1|\infty$ при дисциплине FIFO и $\rho_1 < 1$ неравенства (4) справедливы при $x \in (\underline{x}, +\infty)$, а равенства (5) – при $x \in (0, \underline{x})$. При этом, если $\underline{x} \in R^+$, то в (5) $x \in (0, \underline{x})$.

Доказательство. Установим равенство $W(x) = W^*(x)$ при $x \in (0, \underline{x})$.

Выберем целое $n \geq 1$ из условия $(n-1)\beta_1 \leq \underline{x} < n\beta_1$. Тогда

$$W^*(x) = 1 - \rho_1 + \rho_1 W^*(x) * \hat{B}(x), \quad x \in (0, \underline{x}).$$

Сравнивая это равенство с (1), заключаем:

$$W(x) * \hat{B}(x) = W^*(x) * \hat{B}(x), \quad x \in (0, \underline{x}),$$

или

$$(W(x) - W^*(x)) * \hat{B}^{n*}(x) = \int_0^x (W(x-y) - W^*(x-y)) g_n(y) dy = 0. \quad (15)$$

Утверждение следует из первого неравенства (7), из $g_n > 0$ на $[0, n\beta_1]$ и из (15). Теперь из (14) следует (5) при $x \in (0, \underline{x})$.

Установим неравенство (4) при $x \in (\underline{x}, +\infty)$. Для $x \in (\underline{x}, +\infty)$ из (1) имеем

$$W(x) - W^*(x) = W(x) - (1 - \rho_1) - \rho_1 W(x) * \hat{B}(x) = \rho_1 W(x) * (1 - \hat{B}(x))(W(x) - 1).$$

Отсюда из неравенств

$$W(x) > W^*(x), \quad W(x) * (1 - \hat{B}(x)) \geq \hat{W}(x) * (1 - \hat{B}(x))$$

получаем

$$W(x) - W^*(x) > \rho_1 \hat{W}(x) * (1 - \hat{B}(x)) + (1 - \rho_1)(\hat{W}(x) - 1) = \hat{W}(x) - (1 - \rho_1) - \rho_1 \hat{W}(x) * \hat{B}(x). \quad (16)$$

Подставляя в правую часть (16) выражение для \hat{W} из (6), выводим лемму 3.

5⁰. Доказательство теоремы 2. Допустим в (14) $x \in R^+$. Устремляя в (5) $x \downarrow 0$, где $x \in (0, \underline{x})$ (см. лемму 3), получаем $p_0 = W(+0) = W^*(+0) = 1 - \rho_1$, что выполняется только в случае (3). Но тогда $W(x) = W^*(x) = \hat{W}(x)$ при всех $x \geq 0$. Следовательно, $\underline{x} = +\infty$. Полученное противоречие доказывает, что в лемме 3 либо $\underline{x} = 0$, либо $\underline{x} = +\infty$.

При таком уточнении леммы 3 приходим к теореме 2.

Кафедра теории вероятностей и
математической статистики

Поступила 05.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания. М.: Высшая школа, 1982.
2. Боровков А.А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. М.: Наука, 1972.
3. Штойян Д. Качественные свойства и оценки стохастических моделей. М.: Мир, 1979.

Ա. Ա. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ

ՍՊԱՍՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՆԵՐԻ ԷՔՍՏՐԵՄԱԼ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆ
 $G|G|1|\infty$ ՄՈԴԵԼՈՒՄ

Ամփոփում

$G|G|1|\infty$ մոդելում *FIFO* հերթակարգի դեպքում դիտարկվում են սպասման ժամանակների ստացիոնար բաշխման ֆունկցիաները՝ W -ն և W^* -ն, որոնք համապատասխանաբար ակտուալ և վիրտուալ սպասման ժամանակների սահմաններն են ըստ ժամանակի:

Նրանց համար ոչ պուասինյան մտնող հոսքի դեպքում ապացուցված է հետևյալ էքստրեմալ հատկությունը :

Բոլոր $x \in (0, +\infty)$ արժեքների համար $W(x) > W^*(x) > \hat{W}(x)$, որտեղ
 \hat{W} -ն սպասման ժամանակների ստացիոնար բաշխման ֆունկցիան է պուա-
սոնյան մտնող հոսքի պայմաններում:

A. A. DANIELYAN

EXTREMAL PROPERTY OF WAITING TIMES IN $G/G/1/\infty$ MODEL

Summary

In the present paper stationary distribution functions W and W^* of waiting times, which are limits for actual and virtual waiting times across the time axis, in the $G/G/1/\infty$ model under *FIFO* discipline are examined.

The following extremal property is proved. For all $x \in (0, +\infty)$ in the case of non-Poissonian entering stream of demands the strict inequalities $W(x) > W^*(x) > \hat{W}(x)$ are valid, where \hat{W} is the waiting times' stationary distribution function in the case of the Poissonian entering stream.

Математика

УДК 519.21

Э. А. ДАНИЕЛЯН, В. К. САГАТЕЛЯН

**ОДНА МИНИМАКСНАЯ ЗАДАЧА НА КЛАССЕ СТАРЕЮЩИХ
ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Рассмотрено правило предупредительных замен элементов функционирующей системы через случайное время. Функция распределения отказов системы неизвестна, однако она принадлежит к определенному классу функций с известными начальными моментами. Задача сводится к игре с моментными ограничениями. Найдено оптимальное правило предупредительных замен.

§1. Введение. Построение оптимального правила предупредительных замен элементов устройств – задача теории надежности. Часто отказ элемента приводит к экономическим потерям. Тогда целесообразна замена элемента до того, как он слишком «состарится». Замены обычно применяются к элементам со стареющими функциями распределения (ФР) времени «жизни». Элемент заменяется либо после отказа, либо через период времени T после установки. Пусть T – случайная величина, что естественно, например, для систем, которые работают в течение определенного цикла без перерыва. Опишем правила замены в таких системах [1].

С правилом замен связано несколько процессов восстановления (ПВ). Вначале пусть элементы заменяются по мере их отказа. Тогда промежутки времени между заменами $\{X_k\}_{k=1}^{\infty}$ – независимые одинаково распределенные случайные величины (СВ) с ФР F , т.е. образуют ПВ. Через $\{Y_k\}_{k=1}^{\infty}$ обозначим ПВ с ФР G , который представляет собой последовательность СВ – длин интервалов между успешными предупредительными заменами, не связанными с аварийными отказами в системе.

Определим третий процесс интервалов $\{Z_k = \min\{X_k, Y_k\}\}_{k=1}^{\infty}$ между заменами, где последние вызваны либо аварийными отказами, либо предупредительными заменами в соответствии с процедурой по ФР G .

Определим еще один процесс $\{V_k\}_{k=1}^{\infty}$, положив

$$V_k = \begin{cases} 1, & Z_k = X_k, \text{ } k\text{-ое восстановление происходит из - за аварийного отказа,} \\ 0 & \text{в прочих случаях.} \end{cases}$$

Тогда

$$E[V_1] = P[X_1 \leq Y_1] = \int_0^{\infty} F(x) dG(x) \quad (1)$$

есть вероятность отказа, происходящего раньше предупредительной замены, где E – знак математического ожидания.

Итак, нахождение оптимального правила предупредительных замен свелось к нахождению ФР G , минимизирующей функционал (1).

К этому же функционалу приводит следующая задача. Пусть G – ФР безотказной работы некоторой системы, например пакета компьютерных программ. Здесь $G(x)$ – вероятность того, что за время x система безотказна. Через $F(x)$ обозначим ФР времени выполнения некоторой задачи этого класса, т.е вероятность выполнения задачи за время меньше x . Рассмотрим функционал

$$P_0 = \int_0^{\infty} G(x) dF(x) = 1 - \int_0^{\infty} F(x) dG(x). \quad (2)$$

Фактически P_0 есть вероятность выполнения задачи. Нахождение ФР G , максимизирующей P_0 , равносильно минимизации функционала (1).

Ниже рассмотрена задача минимизации функционала (1) при определенных условиях.

Обычно явный вид ФР F и G неизвестен. Известны лишь классы, к которым они принадлежат, и несколько начальных моментов. При этом в теории надежности естественно предположение: F – стареющая ФР, т.е. $F(x) = 1 - e^{-f(x)}$, $x \geq 0$, где $f(x)$ – выпуклая функция.

§2. Вспомогательная лемма. Удобным аппаратом решения экстремальных задач с моментными ограничениями служит метод альтернации [2].

Лемма. Пусть $(1, x, x^2, F(x))$ – чебышевская система функций на $[a, b]$.

Тогда минимум функционала $\int_a^b F(x) dG(x)$ на классе стареющих ФР G при известных первых двух моментах $\int_a^b x dG(x) = c_1$ и $\int_a^b x^2 dG(x) = c_2$ – достигается на функции

$$G_0(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\infty < x < a, \\ 1 - \exp[-\lambda_1(x - x_1)] & \text{при } x_1 \leq x < b, \\ 1 & \text{при } b \leq x < +\infty. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь в точке b ФР G_0 имеет скачок λ_2 . При этом $x_1, \lambda_1, \lambda_2$ находятся из равенств:

$$e^{-\lambda_1(b-x_1)} = \lambda_2, \quad \frac{1}{\lambda_1}(1 - \lambda_2) + x_1 = c_1, \quad \frac{2}{\lambda_1}(b\lambda_2 + x_1 + \frac{1}{\lambda_1}(1 - \lambda_2)) + x_1^2 = c_2. \quad (4)$$

Доказательство. Применим метод альтернации (см. [2], дополнение, §1.2), т.е. для стареющих ФР при заданных двух начальных моментах минимизирующую ФР ищем в множестве I_{3^-} вида (3).

Рассмотрим уравнение $\int_a^b xdG(x) = c_1$. Пусть G_0 имеет скачок в точке b ,

тогда

$$c_1 = \int_a^b xdG_0(x) = \int_{x_1}^b xd(1 - e^{-\lambda_1(x-x_1)}) + b\lambda_2 = b(1 - e^{-\lambda_1(b-x_1)}) - b + x_1 - \frac{1}{\lambda_1}e^{-\lambda_1(b-x_1)} + \frac{1}{\lambda_1} + b\lambda_2,$$

отсюда $c_1 = \frac{1}{\lambda_1}(1 - e^{-\lambda_1(b-x_1)}) + x_1$. Так как функция G_0 имеет скачок λ_2 в точке

b , то $\lambda_2 + G_0(b-0) = 1 \Rightarrow \lambda_2 = e^{-\lambda_1(b-x_1)}$. Из уравнения $\int_a^b x^2 dG(x) = c_2$ имеем

$$c_2 = \int_{x_1}^b x^2 d(1 - e^{-\lambda_1(x-x_1)}) + b^2 \lambda_2 = b^2(1 - \lambda_2) - b^2 + x_1^2 + b^2 \lambda_2 + 2 \int_{x_1}^b x e^{-\lambda_1(x-x_1)} dx.$$

Учитывая вид λ_2 , получим систему уравнений (4).

§3. Результат. Во многих задачах теории надежности ФР F неизвестна. Однако известны ее несколько первых моментов и класс функций, к которому она принадлежит. Как отмечалось в [1], в таком случае естественна минимаксная оценка функционала (1). При этом ФР F и G считаем сконцентрированными на $[0,1]$ без ограничения общности. Однако минимаксная оценка имеет смысл только в случае равенства двойных экстремумов:

$$\max_G \min_F \int_0^1 F(x) dG(x) = \min_F \max_G \int_0^1 F(x) dG(x).$$

Например, минимаксная оценка на множестве всех ФР, сконцентрированных на $[0,1]$, не имеет смысла.

Действительно, с одной стороны, $\min_F \max_G \int_0^1 F(x) dG(x) = \min_F \max_{x \in [0,1]} F(x) = \min_F F(1) = 1$. С другой стороны, $\max_G \min_F \int_0^1 F(x) dG(x) = 1 - \min_F \max_G \int_0^1 F(x) dG(x) = 1 - \min_F \max_{x \in [0,1]} G(x) = 1 - \min_G G(1) = 1 - 1 = 0$. Как известно, вопросы существования и равенства двойных экстремумов рассматриваются в теории антагонистических игр. Поэтому минимаксная оценка может интерпретироваться в терминах игры с Природой [3].

Рассмотрим антагонистическую игру Конструктора с Природой на единичном квадрате, в которой Природа выбирает ФР F , максимизирующую вероятность отказа системы, а Конструктор – ФР G , минимизирующую эту вероятность.

Правило предупредительной замены элементов эффективно в случае, когда ФР отказов и правил замены – стареющие ФР [1]. Обозначим через

V_{c_1, c_2} множество стареющих ФР с фиксированными моментами – математическим ожиданием c_1 и вторым моментом c_2 . При этом ФР из V_{c_1, c_2} являются чебышевским продолжением системы $(1, x, x^2)$.

Теорема. В игре $\Gamma = \left\langle V_{c_1, c_2}, V_{c'_1, c'_2}, H(F, G) = \int_0^1 F(x)dG(x) \right\rangle$ существует ситуация равновесия. Оптимальные стратегии игроков F_0 и G_0 имеют вид

$$G_0(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1, \\ 1 - e^{-\lambda_1(x-x_1)}, & x_1 \leq x < 1, \\ 1, & x \geq 1; \end{cases} \quad F_0(x) = \begin{cases} 0, & x < x'_1, \\ 1 - e^{-\lambda'_1(x-x'_1)}, & x'_1 \leq x < 1, \\ 1, & x \geq 1. \end{cases} \quad (5)$$

Доказательство. Как известно [3], существование ситуации равновесия эквивалентно равенству двойных экстремумов:

$$\max_{F \in V_1} \min_{G \in V_2} \int_0^1 F(x)dG(x) = \min_{G \in V_2} \max_{F \in V_1} \int_0^1 F(x)dG(x), \text{ где } V_1 = V_{c_1, c_2}, V_2 = V_{c'_1, c'_2}. \quad (6)$$

При этом оптимальные стратегии игроков являются точками соответствующих внешних экстремумов. Рассмотрим $\max_{F \in V_1} \min_{G \in V_2} \int_0^1 F(x)dG(x)$. Согласно

лемме, $\min_{G \in V_2} \int_0^1 F(x)dG(x) = \int_0^1 F(x)dG_0(x)$, где G_0 не зависит от F и имеет вид

(5). Следовательно, справедливо (6). Интегрируя по частям, получим

$$\max_{F \in V_1} \int_0^1 F(x)dG_0(x) = \max_{F \in V_1} \left(1 - \int_0^1 G_0(x)dF(x) \right) = 1 - \min_{F \in V_1} \int_0^1 G_0(x)dF(x).$$

Легко видеть, что $G''_0 > 0$ в области интегрирования, тогда $(1, x, x^2 G_0(x))$ – чебышевская система функций. Поэтому применима лемма.

Следовательно, минимум функционала $\int_0^1 G_0(x)dF(x)$ достигается на ФР F_0 , где F_0 имеет такой же вид, что и G_0 , однако с другими параметрами (см. (5)).

Рассмотрим теперь $\min_{G \in V_2} \max_{F \in V_1} \int_0^1 F(x)dG(x)$. Дословно повторяя предыдущие рассуждения, получим: $\min_{G \in V_2} \max_{F \in V_1} \int_0^1 F(x)dG(x) = \int_0^1 G_0(x)dF_0(x)$. Таким обра-

зом, $\max_{F \in V_1} \min_{G \in V_2} \int_0^1 F(x)dG(x) = \min_{G \in V_2} \max_{F \in V_1} \int_0^1 F(x)dG(x) = \int_0^1 F_0(x)dG_0(x)$, т.е. в игре Γ

существует ситуация равновесия и оптимальные стратегии игроков имеют вид (5). Теорема доказана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. М.: Советское радио, 1969.
2. Danielian E. Optimization of Functionals on Classes of Distributions with Moments' Constraints. Part 2. Nonlinear Case. Finland: TICSP, Series # 18, 2003.
3. Оуэн Г. Теория игр. М.: Мир, 1971.

Ե. Ա. ԴԱՆԻԵԼՅԱՆ, Վ. Կ. ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ

ՄԻ ՄԻՆԻՄԱԶԱՅԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐ ԾԵՐԱՑՈՂ ԲԱՇԽԱՍԱՆ
ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ ԴԱՄԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Ուսումնասիրված է գործող համակարգի տարրերի նախազգուշական փոխանակումների կարգը պատահական ժամանակից հետո: Համակարգի խափանման քաշխման ֆունկցիան հայտնի չէ, սակայն այն պատկանում է ֆունկցիաների որոշակի դասին՝ հայտնի սկզբնական մոմենտներով: Խնդիրը հանգեցվում է ֆիքսված մոմենտներով խաղին Բնության հետ: Գտնված է նախազգուշական փոխանակումների օպտիմալ կարգը:

E. A. DANIELIAN, V. K. SAGHATELYAN

ON ONE MINIMAX PROBLEM ON THE CLASS OF DISTRIBUTION FUNCTIONS INCREASING HAZARD RATE

Summary

Policy of preventive replacement of functioning system's elements at random moments is considered. It is assumed that distribution function of system's failures is unknown. However, it belongs to the certain class of functions first moments of which are known. The problem is reduced to the game with moments' constraints. As a result, the optimal policy of preventive replacements is found.

Математика

УДК 512.57

С. С. ДАВИДОВ

ЛИНЕЙНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИНАРНЫХ АБЕЛЕВЫХ АЛГЕБР

В работе изучается строение бинарных абелевых алгебр путем сведения их к известным алгебраическим образованиям – моноидам. Найдены условия, при которых бинарная абелевая алгебра имеет линейное представление, т.е. существует коммутативный моноид, через операцию и эндоморфизмы которого выражается каждая операция абелевой алгебры.

Абелевые алгебры изучались разными авторами (Сад, Стейн, Тойода, Брак, Медоч, Белоусов, Курош, Смит, Романовска, Кепка, Ежек, Мовсисян и др.) [1–5] под различными названиями: энтропийная, медиальная, бикоммутативная, бисимметричные алгебры. Абелевые алгебры связаны с понятием энтропии в теории информации [5] и находят приложение в кибернетике, экономике, физике и биологии.

Бинарная алгебра (Q, Σ) имеет линейное представление, если существуют коммутативный моноид $Q(+, 0)$ и системы его эндоморфизмов $\{f_x | X \in \Sigma\}, \{g_x | X \in \Sigma\}$ такие, что каждая операция $X \in \Sigma$ может быть представлена в виде $X(x, y) = f_x(x) + g_x(y) + e_x$ для всех $x, y \in Q$, причем $f_x f_y = f_y f_x, g_x g_y = g_y g_x, f_x g_y = g_y f_x, e_x \in Q$ для всех $X, Y \in \Sigma$. Линейное представление алгебры (Q, Σ) будем обозначать через $Q(+, 0, f_x, g_x, e_x)$. Линейное представление называется выпуклым, если $e_x = 0$ для всех $X \in \Sigma$.

Бинарная алгебра (Q, Σ) называется абелевой, если она удовлетворяет сверхточности $X(Y(x, y), Y(u, v)) = Y(X(x, u), X(y, v))$.

Для $A \in \Sigma$ и $a \in Q$ обозначим через $L_{A,a}(R_{A,a})$ левую (правую) трансляции алгебры (Q, Σ) , т.е. отображения $L_{A,a} : x \rightarrow A(a, x)(R_{A,a} : x \rightarrow A(x, a))$.

Предложение. Пусть (Q, Σ) – абелевая алгебра, удовлетворяющая котоцдству $X(b, a) = Y(b, a)$. Кроме того, существуют $A \in \Sigma$ и $c, d \in Q$ такие, что $a = A(a, c), b = A(b, c)$ и трансляции $R_{A,a}, L_{A,a}$ – биекции. Тогда

существует линейное представление $Q(+, 0, f_x, g_x, e_x)$, удовлетворяющее свойствам:

1) e_x – обратимый элемент $Q(+)$ для любого $X \in \Sigma$;

2) $0 = A(b, a)$;

3) $x + y = A(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y))$ для всех $x, y \in Q$.

Доказательство. Положим $x + y = A(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y))$, $0 = A(b, a)$.

Тогда

$$\begin{aligned} x + 0 &= x + A(b, a) = A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(A(b, a))\right) = \\ &= A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}L_{A,b}(a)\right) = A\left(R_{A,a}^{-1}(x), a\right) = R_{A,a}R_{A,a}^{-1}(x) = x. \end{aligned}$$

Аналогично показывается, что $0 + x = x$. Далее, пусть

$$r = A\left(x, L_{A,b}^{-1}\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(y), z\right)\right)\right), s = A\left(R_{A,a}^{-1}\left(A\left(x, L_{A,b}^{-1}(y)\right)\right), z\right).$$

Существуют элементы $t, u \in Q$, удовлетворяющие равенствам $A(b, u) = b$ и $A(b, t) = d$. Имеем

$$A(r, a) = A(r, A(a, c)) = A\left(A(x, a), A\left(L_{A,b}^{-1}\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(y), z\right)\right), c\right)\right),$$

$$A(s, a) = A(s, A(a, c)) = A\left(A\left(x, L_{A,b}^{-1}(y)\right), A(z, c)\right) = A\left(A(x, z), A\left(L_{A,b}^{-1}(y), c\right)\right).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} A(b, A(r, a)) &= A\left(A\left(A(b, t), A(b, u)\right), A(r, a)\right) = \\ &= A\left(A\left(A(b, t), A(x, a)\right), A\left(A(b, u), A\left(L_{A,b}^{-1}\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(y), z\right)\right), c\right)\right)\right) = \\ &= A\left(A\left(A(b, t), A(x, a)\right), A\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(y), z\right), A(u, c)\right)\right) = \\ &= A\left(A\left(A\left(b, R_{A,a}^{-1}(y)\right), A(t, z)\right), A\left(A(x, a), A(u, c)\right)\right) = \\ &= A\left(A\left(A\left(b, R_{A,a}^{-1}(y)\right), A(x, a)\right), A\left(A(t, z), A(u, c)\right)\right) = \\ &= A\left(A\left(A(b, x), y\right), A\left(A(t, z), A(u, c)\right)\right). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(b, A(s, a)) &= A\left(A\left(A(b, t), A(b, u)\right), A(s, a)\right) = \\ &= A\left(A\left(A(b, t), A(x, z)\right), A\left(A(b, u), A\left(L_{A,b}^{-1}(y), c\right)\right)\right) = \\ &= A\left(A\left(A(b, x), A(t, z)\right), A\left(y, A(u, c)\right)\right) = A\left(A\left(A(b, x), y\right), A\left(A(t, z), A(u, c)\right)\right). \end{aligned}$$

Поэтому $A(b, A(s, a)) = A(b, A(r, a))$, и поскольку трансляции $R_{A,a}, L_{A,b}$

инъективны, то $r = s$. Подставляя $x = R_{A,a}^{-1}(u_1)$, $y = u_2$, $z = L_{A,b}^{-1}(u_3)$ в равенство $r = s$, получим $u_1 + (u_2 + u_3) = (u_1 + u_2) + u_3$.

Из равенств

$$\begin{aligned} & A\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(A(b,x)), L_{A,b}^{-1}(A(b,y))\right), a\right) = \\ & = A\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(A(b,x)), y\right), A(a,c)\right) = A(A(b,x), A(y,c)) = \\ & = A(A(b,y), A(x,c)) = A\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(A(b,y)), x\right), A(a,c)\right) = \\ & = A\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(A(b,y)), L_{A,b}^{-1}(A(b,x))\right), a\right) \end{aligned}$$

с учетом сюръективности трансляций $R_{A,a}, L_{A,b}$ следует коммутативность $Q(+)$. Таким образом, $Q(+, 0)$ будет коммутативным моноидом.

Из сверхтождества абелевости имеем равенство

$$X(A(u,a), A(b,v)) = A(X(u,b), X(a,v))$$

или

$$X(R_{A,a}(u), L_{A,b}(v)) = A(R_{X,b}(u), L_{X,a}(v)).$$

Подставляя в него $u = R_{A,a}^{-1}(x)$, $v = L_{A,b}^{-1}(y)$, получаем

$$X(x, y) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) + L_{A,b}L_{X,a}L_{A,b}^{-1}(x). \quad (1)$$

Положим для каждого $X \in \Sigma$

$$i_X = A(b, X(a, a)), \quad j_X = A(X(b, b), a)$$

и покажем, что они обратимы в $Q(+)$. Существуют элементы $p, q \in Q$ такие, что $A(p, a) = b$ и $A(q, a) = a$. Поэтому

$$\begin{aligned} & A(X(p, q), a) + A(b, X(a, a)) = R_{A,a}X(p, q) + L_{A,b}X(a, a) = \\ & = A(X(p, q), X(a, a)) = X(A(p, a), A(q, a)) = X(b, a) = A(b, a) = 0. \end{aligned}$$

Аналогично существуют элементы $u, v \in Q$ такие, что $A(b, u) = b$, $A(b, v) = a$ и $A(X(b, b), a) + A(b, X(u, v)) = 0$.

Введем обозначение для каждого $X \in \Sigma$:

$$f_X(x) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) - j_X. \quad (2)$$

Покажем, что f_X – эндоморфизм полугруппы $Q(+, 0)$.

$$\begin{aligned} & R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x+y) + i_X = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x+y) + L_{A,b}X(a, a) = \\ & = A\left(R_{X,b}R_{A,a}^{-1}A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y)\right), X(a, a)\right) = A\left(X\left(R_{A,a}^{-1}A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y)\right), b\right), X(a, a)\right) = \\ & = X\left(A\left(R_{A,a}^{-1}A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y)\right), a\right), A(b, a)\right) = X\left(A\left(R_{A,a}^{-1}(x), L_{A,b}^{-1}(y)\right), A(b, a)\right) = \end{aligned}$$

$$= A\left(X\left(R_{A,a}^{-1}(x), b\right), X\left(L_{A,b}^{-1}(y), a\right)\right) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) + L_{A,b}R_{X,a}L_{A,b}^{-1}(y).$$

Таким образом,

$$R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x+y) + i_x = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) + L_{A,b}R_{X,a}L_{A,b}^{-1}(y). \quad (3)$$

Возьмем в равенстве (3) $x=0=A(b,a)$, получим

$$R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(y) + i_x = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}A(b,a) + L_{A,b}R_{X,a}L_{A,b}^{-1}(y)$$

или

$$L_{A,b}R_{X,a}L_{A,b}^{-1}(y) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}A(b,a) + L_{A,b}R_{X,a}L_{A,b}^{-1}(y). \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), будем иметь

$$R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x+y) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) + R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(y) - j_x. \quad (5)$$

Теперь, с учетом (5) имеем

$$\begin{aligned} f_x(x+y) &= R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x+y) - j_x = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(x) + \\ &+ R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}(y) - j_x - j_x = f_x(x) + f_x(y); \\ f_x(0) &= f_x A(b,a) = R_{A,a}R_{X,b}R_{A,a}^{-1}R_{A,a}(b) - j_x = \\ &= R_{A,a}R_{X,b}(b) - j_x = A(X(b,b), a) - j_x = j_x - j_x = 0. \end{aligned}$$

Аналогично существуют обратимые элементы $k_x = A(b, X(a, a))$ полугруппы $Q(+)$ такие, что отображения

$$g_x(x) = L_{A,b}L_{X,a}L_{A,b}^{-1}(x) - k_x \quad (6)$$

будут эндоморфизмами монида $Q(+, 0)$.

Положим $e_x = j_x + k_x$, тогда e_x будет обратимым элементом для всех $X \in \Sigma$, и из формул (1), (2), (6) получим

$$X(x, y) = f_x(x) + g_x(y) + e_x \quad (7)$$

для всех $X \in \Sigma$ и всех $x, y \in Q$.

Покажем, что для всех $X, Y \in \Sigma$ выполняется равенство

$$X(e_Y, e_Y) = Y(e_X, e_X). \quad (8)$$

Действительно,

$$\begin{aligned} e_x &= j_x + k_x = A(X(b, b), a) + A(b, X(a, a)) = R_{A,a}X(b, b) + L_{A,b}X(a, a) = \\ &= A(X(b, b), X(a, a)) = X(A(b, a), A(b, a)) = X(0, 0), \end{aligned}$$

поэтому

$$X(e_Y, e_Y) = X(Y(0, 0), Y(0, 0)) = Y(X(0, 0), X(0, 0)) = Y(e_X, e_X).$$

Кроме того, $X(e_Y, e_Y)$ будут обратимыми элементами в полугруппе $Q(+)$ для всех $X, Y \in \Sigma$. В самом деле, если t_Y – обратный элемент для e_Y , то

$$\begin{aligned} X(e_Y, e_Y) + X(t_Y, t_Y) - e_X - e_X &= f_X e_Y + g_X e_Y + e_X + f_X t_Y + \\ &+ g_X t_Y + e_X - e_X - e_X = f_X(e_Y + t_Y) + g_X(e_Y + t_Y) = f_X(0) + g_X(0) = 0. \end{aligned}$$

Теперь, используя гомоморфность f_x, g_x , равенство (8) и обратимость $X(e_r, e_r)$, будем иметь

$$\begin{aligned} X(Y(0, x), Y(0, 0)) &= Y(X(0, 0), X(x, 0)), \\ f_x(f_r 0 + g_r x + e_r) + g_x(f_r 0 + g_r 0 + e_r) + e_x &= f_r(f_x 0 + g_x 0 + e_x) + \\ &\quad + g_r(f_x x + g_x 0 + e_x) + e_r, \\ f_x f_r 0 + f_x g_r x + f_x e_r + g_x f_r 0 + g_x g_r 0 + g_x e_r + e_x &= \\ = f_r f_x 0 + f_r g_x 0 + f_r e_x + g_r f_x x + g_r g_x 0 + g_r e_x + e_r, \\ f_x g_r x + f_x e_r + g_x e_r + e_x &= g_r f_x x + f_r e_x + g_r e_x + e_r, \\ f_x g_r x + X(e_r, e_r) &= g_r f_x x + Y(e_x, e_x), \end{aligned}$$

следовательно, $f_x g_r = g_r f_x$.

Аналогично проверяются равенства $f_x f_r = f_r f_x, g_x g_r = g_r g_x$ для всех $X, Y \in \Sigma$. Предложение доказано.

Теорема 1. Пусть (Q, Σ) – абелевая алгебра. Тогда следующие условия эквивалентны:

- 1) существует линейное представление $Q(+, 0, f_x, g_x, e)$ такое, что f_A, g_A – автоморфизмы (Q, Σ) для некоторого $A \in \Sigma$ и e – обратимый элемент $Q(+)$;
- 2) существуют элемент $a \in Q$ и операция $A \in \Sigma$ такие, что алгебра (Q, Σ) удовлетворяет котождеству $X(a, a) = Y(a, a)$ и трансляции $R_{A,a}, L_{A,a}$ – биекции.

Доказательство. Предположим, что алгебра (Q, Σ) имеет линейное представление. Положим $a = 0$, тогда в (Q, Σ) выполняется котождество $X(a, a) = Y(a, a)$, т.к. $X(0, 0) = f_x 0 + g_x 0 + e = f_r 0 + g_r 0 + e = Y(0, 0)$.

Далее, т.к. f_A и g_A – биекции, то таковыми будут и трансляции $R_{A,0}, L_{A,0}$. Обратно, полагая в предложении $a = b$, получим линейное представление $Q(+, 0, f_x, g_x, e_x)$ алгебры (Q, Σ) , для которого f_A и g_A будут биекциями. Остается показать, что для любых $X, Y \in \Sigma$ будет иметь место равенство $e_x = e_y$. Действительно,

$$\begin{aligned} e_x &= j_x + k_x = A(X(a, a), a) + A(a, X(a, a)) = R_{A,a}X(a, a) + L_{A,a}X(a, a) = \\ &= R_{A,a}Y(a, a) + L_{A,a}Y(a, a) = A(Y(a, a), a) + A(a, Y(a, a)) = j_y + k_y = e_y. \end{aligned}$$

Теорема доказана.

Теорема 2. Пусть (Q, Σ) – абелевая алгебра. Тогда следующие условия эквивалентны:

- 1) существует выпуклое линейное представление $Q(+, 0, f_x, g_x)$ такое, что f_A, g_A – автоморфизмы для некоторого $A \in \Sigma$;
- 2) существуют элемент $a \in Q$ и операция $A \in \Sigma$ такие, что $A(a, a) = a$ и трансляции $R_{A,a}, L_{A,a}$ – биекции.

Доказательство следует из предложения.

Кафедра алгебры и геометрии

Поступила 26.05.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Мовсисян Ю.М. – УМН, 1998, т. 53, с. 61–114.
2. Jezek J., Kepka T. Medial groupoids. Praha, 1983.
3. Курош А.Г. Общая алгебра. М.: Наука, 1974.
4. Romanovska A.B., Smith J.D.H. Modes. Singapore: World Scientific, 2002.
5. Smith J.D.H. – Math. Proc. Cambridge Philos. Soc., 1990, v. 108, p. 435–443.

Ս. Ս. ԴԱՎԻԴՈՎ

ԵՐԿՏԵՂ ԱԲԵԼՅԱՆ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱՆԵՐԻ ԳԾԱՅԻՆ ՆԵՐԿԱՅԱՑՈՒՄՆԵՐ

Ամփոփում

Հոդվածում ուսումնասիրվում են երկտեղ աբելյան հանրահաշվները դրանք հայտնի հանրահաշվական կառուցվածքների հետ համապելու եղանակով: Գտնված են պայմաններ, որոնց դեպքում երկտեղ աբելյան հանրահաշիվը ունի գծային ներկայացում, այսինքն՝ գոյություն ունի տեղափոխելի մոնոիդ, որի գործողությունով և էնդոմորֆիզմների միջոցով արտահայտվում են աբելյան հանրահաշվի բոլոր գործողությունները:

S. S. DAVIDOV

LINEAR REPRESENTATION OF BINARY ABELIAN ALGEBRAS

Summary

In the present paper binary abelian algebras are studied by bringing them to known algebraic structures such as monoids. We have found conditions when binary abelian algebra has a linear representation i.e. every operation of abelian algebra can be expressed by operation and endomorphisms of commutative monoid.

Физика

УДК 537.8

Т. А. АРУТИОНОЯН

ПРОБЛЕМА СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ И СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ
В ТОРОИДАЛЬНОМ РЕЗОНАТОРЕ

В работе рассматривается проблема определения электромагнитных полей и проводится сравнительный анализ различных методов определения собственных значений и собственных функций в тороидальном резонаторе. Рассматриваются три метода определения собственных частот в тороидальном резонаторе: равномерный коротковолновый асимптотический метод, в котором достигается частичное разделение переменных в уравнении Гельмгольца внесением искусственной неоднородности с тороидальной симметрией и с учетом решения этого уравнения строятся равномерные коротковолновые асимптотические решения уравнений Максвелла; метод последовательных приближений, основанный на теории возмущений; численный метод, использующий программный пакет FEMLAB, т.е. метод конечных элементов. Собственные частоты тороидального резонатора определяются этими тремя методами и сравниваются. Показано, что численные результаты с большой точностью совпадают друг с другом для больших торов.

Тороидальный резонатор находит применение в различных схемах физики заряженных частиц и в ускорительной физике. С другой стороны, он является хорошим макетом для исследований электромагнитных свойств системы «токамак».

Для определения собственных частот в тороидальном резонаторе рассмотрим три различных приближенных метода: равномерный коротковолновый асимптотический метод (РКА) [1], метод последовательных приближений (МПП) [2] и метод конечных элементов (FEMLAB) [3]. В статье сначала коротко излагаются все три метода, потом проводится сравнение численных значений, полученных этими методами.

1. Тороидальная система координат и равномерный коротковолновый асимптотический метод. Тороидальные координаты (τ, σ, φ) связаны с декартовыми координатами соотношениями [4]:

$$x = \frac{ash \tau}{ch \tau - \cos \sigma} \cos \varphi, \quad y = \frac{ash \tau}{ch \tau - \cos \sigma} \sin \varphi, \quad z = \frac{a \sin \sigma}{ch \tau - \cos \sigma}. \quad (1)$$

В этой системе поверхности $\tau = const$ описывают торы с «большими» радиусами $R = a \operatorname{cth} \tau_1$ и радиусами поперечного сечения («малыми» радиусами)

$r_0 = a/\sinh \tau_1$, поверхности $\sigma = \text{const}$ – сферы, центры которых расположены на оси z , а поверхности $\varphi = \text{const}$ – полуплоскости, проходящие через ось z (рис.1). Постоянная a описывает тороидальную систему координат и связана с радиусами R и r_0 соотношением $a = \sqrt{R^2 - r_0^2}$.

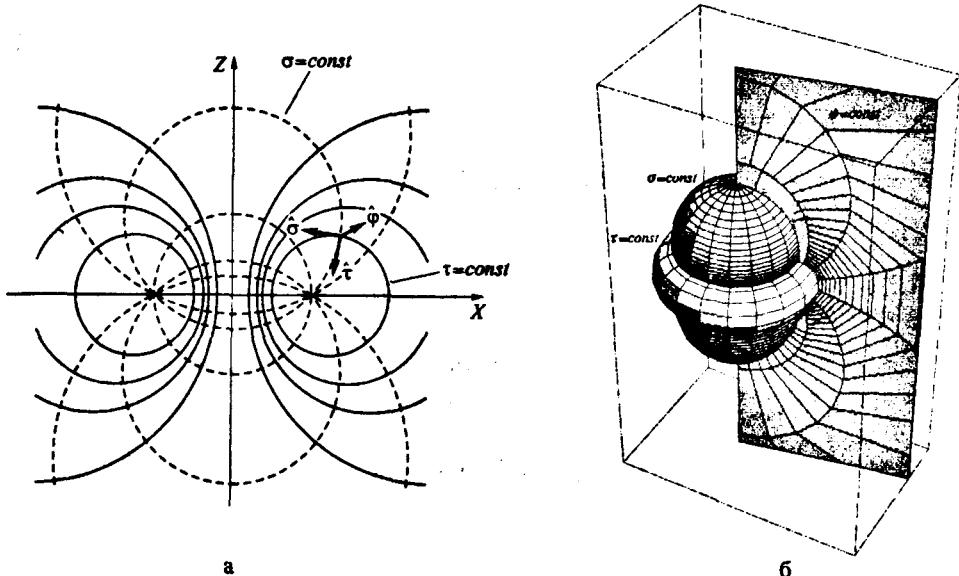


Рис. 1. Координатные линии (а) и поверхности (б) тороидальной системы координат.

Коэффициенты Ламэ в этой системе имеют следующий вид:

$$h_r = h_\sigma = \frac{a}{\cosh \tau - \cos \sigma}, \quad h_\varphi = \frac{a \sinh \tau}{\cosh \tau - \cos \sigma}, \quad (2)$$

а уравнение Гельмгольца

$$\nabla^2 u + k^2 \epsilon \mu u = 0 \quad (3)$$

записывается в виде

$$p^2 \frac{\partial^2 u}{\partial \sigma^2} - p \sin \sigma \frac{\partial u}{\partial \sigma} + p^2 \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + (p^2 \coth \tau - p \sinh \tau) \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{p^2}{\sinh^2 \tau} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} + k^2 a^2 \epsilon \mu u = 0, \quad (4)$$

где $k = 2\pi f/c$ – волновое число, c – скорость света, f – частота тороидального резонатора.

Если предположить, что тороид наполнен неоднородным диэлектриком с проницаемостью вида

$$\epsilon(\tau, \sigma) = p^2 / \sinh^2 \tau \quad (\mu = 1), \quad (5)$$

где $p = p(\tau, \sigma) = \cosh \tau - \cos \sigma$, то в этом уравнении сразу разделяется часть, зависящая от переменной φ [1]:

$$u = g(\tau, \sigma) \exp(-im\varphi). \quad (6)$$

В декартовой системе координат зависимость (5) имеет простой вид:

$$\epsilon = \frac{a^2}{x^2 + y^2},$$

т.е. диэлектрическая проницаемость постоянна на цилиндрах $x^2 + y^2 = \text{const}$. Конечно, такую зависимость легко реализовать в ограниченной части пространства, в нашем случае – в поперечном сечении тора.

Последующее частичное разделение переменных достигается представлением функции g в виде

$$g(\tau, \sigma) = \sin \frac{\sigma}{2} \sqrt{\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma} f_1(\tau) f_2(\sigma). \quad (7)$$

Тогда получим функцию тора $f_1(\tau) = P_{p-1/2}^{i\sqrt{(ka)^2-m^2}}(\operatorname{ch} \tau)$, а $f_2(\sigma)$ – суть ультрасферические многочлены Гегенбауера, $f_2(\sigma) = C_{2p-1}^1 \left(\cos \frac{\sigma}{2} \right)$ [5], т.е.

(6) запишется в виде

$$u = \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{1/2} P_{p-1/2}^{i\sqrt{(ka)^2-m^2}}(\operatorname{ch} \tau) C_{2p-1}^1 \left(\cos \frac{\sigma}{2} \right) \exp(-im\varphi). \quad (8)$$

Как было показано в [1], для больших торов компоненты полей могут быть представлены в асимптотическом виде:

$$\begin{aligned} E_r &= -\frac{C}{(ka)^2} \left(1 - \frac{m^2}{(ka)^2} \right)^{-1/2} \operatorname{sh} \tau \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{1/2} \frac{df_1(\tau)}{d\tau} f_2(\sigma) \frac{df_3(\varphi)}{d\varphi}, \\ E_\sigma &= -\frac{C}{(ka)^2} \left(1 - \frac{m^2}{(ka)^2} \right)^{-1/2} \operatorname{sh} \tau \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{1/2} f_1(\tau) \frac{df_2(\sigma)}{d\sigma} \frac{df_3(\varphi)}{d\varphi}, \\ E_\varphi &= -C \left(1 - \frac{m^2}{(ka)^2} \right)^{1/2} \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{1/2} f_1(\tau) f_2(\sigma) f_3(\varphi), \\ H_r &= \frac{iC}{ka} \left(1 - \frac{m^2}{(ka)^2} \right)^{-1/2} \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{3/2} f_1(\tau) \frac{df_2(\sigma)}{d\sigma} f_3(\varphi), \\ H_\sigma &= -\frac{iC}{ka} \left(1 - \frac{m^2}{(ka)^2} \right)^{-1/2} \sin \frac{\sigma}{2} (\operatorname{ch} \tau - \cos \sigma)^{3/2} \frac{df_1(\tau)}{d\tau} f_2(\sigma) f_3(\varphi), \\ H_\varphi &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

с граничными условиями

$$P_{p-1/2}^{i\sqrt{(ka)^2-m^2}}(\operatorname{ch} \tau) \Big|_{\tau=\tau_1} = 0 \quad (10)$$

на стенках тороида. Выражения для H -типов волн получаются из (9) путем замен $E \rightarrow H/\sqrt{\epsilon}$ и $H \rightarrow -\sqrt{\epsilon}E$ [1]. Граничные условия для H -типов волн имеют вид

$$\frac{dP_{p-1/2}^{i\sqrt{(ka)^2-m^2}}(\operatorname{ch} \tau)}{d\tau} \Big|_{\tau=\tau_1} = 0. \quad (11)$$

2. Геометрооптическое представление и определение собственных частот методом равномерной коротковолновой асимптотики (РКА). Как было сказано выше, для больших торов ($r_0/R \ll 1$ или $\tau_1 \gg 1$) можно использовать равномерный коротковолновый асимптотический вид функции тора [6]. В этом приближении геометрооптические лучи формируют тороидальные каустические поверхности с радиусом

$$r_c = \frac{p}{k} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4p^2}\right) / \left(1 - \left(\frac{m}{ka}\right)^2\right)}, \quad (12)$$

которые не коаксиальны с главным тором $\tau = \tau_1$.

Когда $ka > m$, эта каустика находится внутри тора, а при $ka < m$ она расположена вне тора, т.е. для этих значений m в тороиде не будут существовать колебания, т.к. объем тороида оказывается расположенным в каустической тени. Таким образом, значения m ограничиваются значениями ka .

Когда $ka \gg 1$, функцию тора можно аппроксимировать по формуле [6]:

$$P_{p-1/2}^{\sqrt{(ka)^2-m^2}}(\operatorname{ch}\tau) \approx \left[\sqrt{\beta(\tau)} \operatorname{sh}\tau \right]^{-1/2} C \cos \left(k \int_{\tilde{\tau}}^{\tau_1} \sqrt{\beta(\tau)} d\tau - \frac{\pi}{4} \right), \quad (13)$$

где $\beta(\tau) = \frac{(ka)^2 - m^2}{\operatorname{sh}^2 \tau} - \left(p^2 - \frac{1}{4} \right)$, $C = \text{const}$, $\tilde{\tau}$ – координаты каустической тороидальной поверхности.

Тогда граничные условия для E -типа волн примут следующий вид:

$$\int_{\tilde{\tau}}^{\tau_1} \frac{\sqrt{(ka)^2 - m^2}}{\operatorname{sh}^2 \tau} - \left(p^2 - \frac{1}{4} \right) d\tau = \frac{\pi}{2} \left(\frac{3}{2} + 2n \right), \quad \text{где } n = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

Интегрирование последнего выражения приводит к следующему трансцендентному уравнению:

$$I = \sqrt{p^2 - \frac{1}{4}} \left\{ \operatorname{sh} \tilde{\tau} \left[\ln \left(\sqrt{\frac{\operatorname{sh}^2 \tilde{\tau}}{\operatorname{sh}^2 \tau_1}} - 1 + \operatorname{sh} \tilde{\tau} \sqrt{\frac{1}{\operatorname{sh}^2 \tau_1} + 1} \right) - \ln \operatorname{ch} \tilde{\tau} \right] - \operatorname{arth} \sqrt{\frac{\operatorname{sh}^2 \tilde{\tau} - \operatorname{sh}^2 \tau_1}{\operatorname{ch} \tau_1}} \right\} - \frac{\pi}{2} \left(\frac{3}{2} + 2n \right) = 0, \quad (15)$$

которое позволяет определить собственные частоты тороида для данных m , n и p . Сначала для фиксированных p и n определяется каустическая поверхность $\operatorname{sh} \tilde{\tau}$, подстановка которой в уравнение каустики позволяет получить частоты, соответствующие значениям p и m :

$$f_{pnm} = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{m^2 + \left(p^2 - \frac{1}{4} \right) \operatorname{sh}^2 \tilde{\tau}}. \quad (16)$$

3. Методы последовательных приближений и конечных элементов. В этих методах используется квазисферическая система координат (r, θ, ϕ) , связанная с декартовыми координатами соотношениями

$$x = R(1 - \rho \cos \vartheta) \cos \varphi, \quad y = R(1 - \rho \cos \vartheta) \sin \varphi, \quad z = R\rho \sin \vartheta, \quad (17)$$

$$0 \leq r \leq R, \quad 0 \leq \vartheta \leq 2\pi, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad \rho = r/R.$$

Координатные поверхности $r = const$ описывают коаксиальные торы, $\vartheta = const$ – конусы, а $\varphi = const$ – полуплоскости, проходящие через ось z . Коэффициенты Ламэ этой системы координат равны:

$$h_r = 1, \quad h_\vartheta = r, \quad h_\varphi = R(1 - \rho \cos \vartheta) = Rh. \quad (18)$$

С помощью метода последовательных приближений показывается, что в тороидальном резонаторе собственные частоты могут быть представлены в виде [2]

$$f_{pnm} = \frac{c}{2\pi r_0} \sqrt{\chi_{pn}^2 + (0,75 + m^2)\rho_0^2 + \left[\frac{0,75 + m^2}{2} \left(1 \pm \frac{\delta_{1p}}{2} \right) + \frac{4m^2}{\chi_{pn}^2} \right] \rho_0^4 + \dots}, \quad (19)$$

где χ_{pn} – n -й корень функций Бесселя p -го порядка, δ_{1p} – символ Кронекера, m – азимутальное квантовое число, n – радиальное квантовое число, а r соответствует числу полуволн, укладывающихся в окружности в поперечном сечении тороида, $\rho_0 = r_0/R$. В настоящей работе мы ограничимся поправкой ρ_0^2 на кривизну тороидального резонатора. Далее будем искать электромагнитное поле в виде

$$\mathbf{E}, \mathbf{H}(r, \vartheta, \varphi) = \mathbf{E}, \mathbf{H}(r, \vartheta) \exp(-im\varphi). \quad (20)$$

Подставляя (20) в уравнения Максвелла, можем показать, что в тороидальном резонаторе существуют волны E - и H -типа. При этом продольная компонента $E_\varphi(r, \vartheta, \varphi)$ удовлетворяет следующему волновому уравнению [3, 7]:

$$\frac{\partial^2 E_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1 - 2\rho_0 \cos \vartheta}{rh} \frac{\partial E_\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_\varphi}{\partial \vartheta^2} + \frac{\sin \vartheta}{rR(1 - 2\rho_0 \cos \vartheta)} \frac{\partial E_\varphi}{\partial \vartheta} + \left(k^2 - \frac{m^2}{R^2 h^2} \right) E_\varphi = 0, \quad (21)$$

в котором переменные не разделяются. Это уравнение можно решить численным методом с помощью программного пакета FEMLAB, который использует метод конечных элементов для решения уравнений с частными производными. Для этого надо задать вид области, в которой решается данная задача, а также уравнение на программном языке. Пакет FEMLAB [3] использует декартовую или цилиндрическую систему координат. В данном случае удобно использовать цилиндрическую систему (r, φ, z) . Представим тор в виде окружности с радиусом r_0 , вращающейся на расстоянии R от оси OZ . В пакете общий вид волнового уравнения следующий:

$$\nabla \times (-c \nabla u - au + \gamma) + au + \beta \times \nabla u = d_a \lambda u, \quad (22)$$

где $\nabla = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \\ \frac{\partial}{\partial \vartheta} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{pmatrix}$. Если искать поле в виде $E_\varphi(r, \varphi, z) = E_\varphi(r, z) \exp(-im\varphi)$ и

подставить в (22) $c=r$, $a=m^2/r$, $\beta=\gamma=0$, $\alpha=2$, $d_a=r$, то получим уравнение

$$\frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial u}{\partial r} + 2 \frac{\partial u}{\partial r} + r \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \left(k^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) r u = 0, \quad (22a)$$

которое соответствует уравнению (21) в цилиндрической системе координат, если ограничиться рассмотрением приближений больших торов. В этом уравнении $u(r, \phi, z) = \frac{E_\phi(r, \phi, z)}{r}$. Решая уравнение (22а) для E -типа волн, получим как собственные частоты тороидального резонатора, так и собственные функции.

4. Численные результаты и сравнение трех методов. В качестве примера рассмотрим тороидальные резонаторы с «большим» радиусом $R=1\text{м}$ и «малыми» радиусами $r_0=0,1\text{м}$ и $r_0=0,01\text{м}$.

Очевидно, что для первого тора $\operatorname{ch} \tau_1 = 10$, а для второго $\operatorname{ch} \tau_1 = 100$. Сначала решаем уравнение (15) графически. На рис. 2 приведены зависимости I от $\operatorname{sh} \tilde{\tau}$ (а) и от радиуса (б) для $r_0=0,1\text{м}$, $n=1$ и $p=0$. В этом случае радиус каустики $r_c=0,033\text{м}$, а $\operatorname{sh} \tilde{\tau} \approx 29,95$. Подставляя последнее в (16), находим частоты, соответствующие значениям m для заданного p .

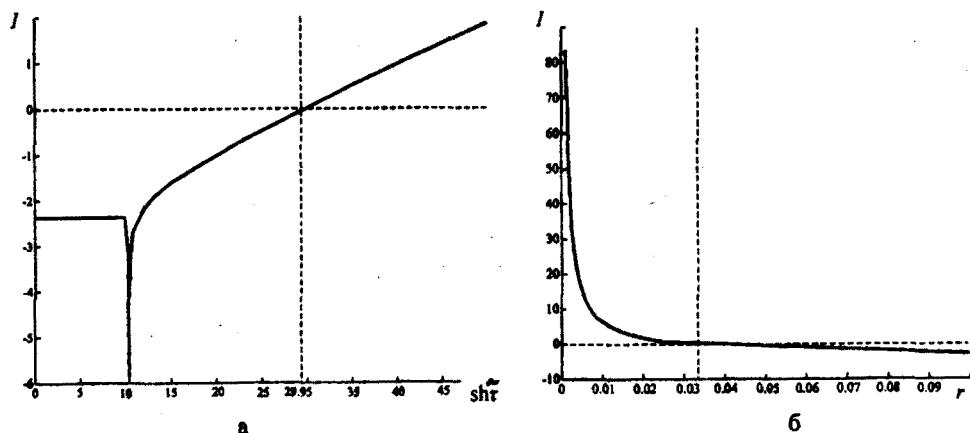


Рис. 2. Зависимость I от $\operatorname{sh} \tilde{\tau}$ (а) и от r (б).

На рис. 3 приведены распределение компоненты E_ϕ в плоскости XOZ и ее зависимость от координат в разных сечениях по z методом конечных элементов. Вычислим удовлетворяющие уравнению (22а) E_ϕ .

В таблицах 1 и 2 приведены численные значения собственных частот для $p=0$, $n=1, 2$ и $m=0-6$. Имеется в виду, что в методе РКА случай $p=1$ соответствует случаю $p=0$ (МПП, FEM), а $n=0$ – случаю $n=1$ (МПП, FEM).

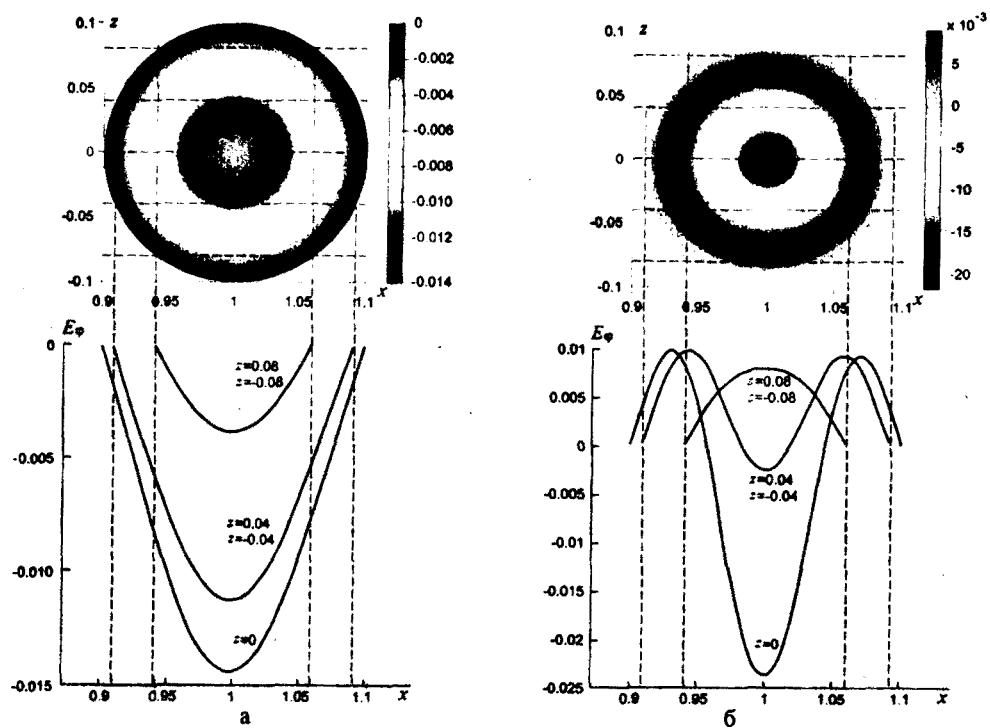


Рис. 3. Распределение компоненты E_ϕ в плоскости XOZ и ее зависимость от координат в сечениях $z = 0, \pm 0,04, \pm 0,08$ тороида с $R = 1\text{м}$ и $r_0 = 0,1\text{м}$ для частот f_{010} (а), f_{020} (б).

Таблица 1

Собственные частоты (в ГГц) тороида с $R=1\text{м}$ и $r_0=0,1\text{м}$

m	f_{01m}^{FEM}	f_{01m}^{MPII}	f_{10m}^{PKA}	m	f_{02m}^{FEM}	f_{02m}^{MPII}	f_{11m}^{PKA}
0	1,1490	1,1482	1,2384	0	2,6340	2,6360	2,6822
1	1,1500	1,1491	1,2394	1	2,6353	2,6364	2,6826
2	1,1529	1,1526	1,2421	2	2,6374	2,6377	2,6839
3	1,1579	1,1577	1,2468	3	2,6390	2,6399	2,6860
4	1,1647	1,1607	1,2532	4	2,6413	2,6429	2,6890
5	1,1735	1,1733	1,2615	5	2,6447	2,6468	2,6929
6	1,1841	1,1826	1,2715	6	2,6496	2,6515	2,6976

Таблица 2

Собственные частоты (в ГГц) тороида с $R=1\text{м}$ и $r_0=0,01\text{м}$

m	f_{01m}^{FEM}	f_{01m}^{MPII}	f_{10m}^{PKA}	m	f_{02m}^{FEM}	f_{02m}^{MPII}	f_{11m}^{PKA}
0	11,4743	11,5199	12,1285	0	26,3383	26,3856	26,6388
1	11,4744	11,5207	12,1286	1	26,3384	26,3857	26,6388
2	11,4747	11,5203	12,1288	2	26,3385	26,3858	26,6389
3	11,4752	11,5208	12,1293	3	26,3387	26,3860	26,6392
4	11,4759	11,5215	12,1296	4	26,3390	26,3863	26,6395
5	11,4768	11,5224	12,1308	5	26,3394	26,3867	26,6399
6	11,4779	11,5234	12,1318	6	26,3399	26,3872	26,6403

Результаты, полученные тремя методами, отличаются друг от друга не более чем на 7%.

Заключение. Проведенное исследование показывает, что результаты, полученные различными приближенными методами, оказываются устойчивыми. Это говорит в пользу того, что найденные собственные значение (собственные частоты) и собственные функции (поля), определенные асимптотически, составляют полный набор, следовательно, могут быть использованы при решении задач по излучению заряженной частицы и сгустков, движущихся в торOIDальном резонаторе.

В конце приношу благодарность проф. Э.Д. Газазяну за постановку задачи и руководство работой, а также д.ф.-м.н. М.И. Иваняну и к.ф.-м.н. В.Г. Кочаряну за полезные советы.

Кафедра теории волновых процессов и физики

Поступила 25.02.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Газазян Э.Д., Иванян М.И., Тер-Погосян А.Д. – Изв. НАН Армении. Физика, 1994, т. 29, № 4, с. 141.
2. Газазян Э.Д., Кочарян В.Г., Оксузян Г.Г. Препринт ЕФИ-1145(22)-89, 1989.
3. Арутюнян Т.А. – Изв. НАН Армении. Физика, 2005, т. 40, № 2, с. 109–114.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1968.
5. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамович и И. Стиган. М.: Наука, 1979.
6. Газазян Э.Д. Препринт ЕФИ-1092(55)-88, 1988.
7. Арутюнян Т.А., Калантарян Д.К. – Изв. НАН Армении. Физика, 2005, т. 40, № 4, с. 244–247.

S. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ՍԵՓԱԿԱՆ ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ԵՎ ՍԵՓԱԿԱՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՆԵՐԻ
ԽՆԴԻՐԸ ՏՈՐՈՒԴԱՅԻՆ ՈԵԶՈՆԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄ**

Ամփոփում

Աշխատանքում դիտարկվում է տորոիդային ռեզոնատորներում էլեկտրամագնիսական դաշտերի որոշման խնդիրը, ինչպես նաև բերվում են տարրեր մեթոդներով սեփական արժեքների և սեփական ֆունկցիաների որոշման համեմատական վերլուծությունները: Օգտագործվել են երեք տարրեր մեթոդներ. հավասարաչափ կարճալիքային նոտարկային մեթոդը, որտեղ Հելմհոլցի հավասարման մեջ փոփոխականները մասնակի անջատվում են, երբ տորոիդը արհեստականորեն լցնում են անհամասեռ միջավայրով, ապա կառուցվում են Մաքսվելի հավասարումների հավասարաչափ կարճալիքային մոտարկային լուծումները; հաջորդական նոտարությունների մեթոդ՝ հիմնված գրգռումների տեսության վրա; FEMLAB ծրագրային փաթեթի

կիրառումով թվային մեթոդ, այսինքն՝ վերջավոր տարրերի մեթոդը։ Այսուհետև որոշվում են տորոիդային ռեզոնատորի սեփական հաճախությունները այս երեք մեթոդներով։ Ցույց է տրվում, որ մեծ տորերի համար ստացված արդյունքները մեծ ճշողությամբ համընկնում են։

T. A. HARUTYUNYAN

THE PROBLEM OF OWN VALUES AND OWN FUNCTIONS IN THE TOROIDAL CAVITY

Summary

In this work the problem of definition of electromagnetic fields in the toroidal cavity is discussed and is given the analysis of the comparison of the own values and the own functions obtained by different methods. Three methods are discussed to define the own frequencies in the toroidal cavity – the uniform short wave asymptotic method, where the variables are separated partially in the Helmholtz equation when the toroid is filled by an inhomogeneous medium with a toroidal symmetry and then are constructed the uniform short wave asymptotic solutions of Maxwell equations, then the successful approximate method based on the perturbation theory and at last a digital method by the package FEMLAB using the finite element method (FEM). Then it is defined the own frequencies of the toroidal cavity by these three methods. It is shown that the results show a good coincidence for the large torus.

Физика

УДК 577.3

А. А. КАЗАРЯН, Е. Б. ДАЛЯН, С. Г. АРУΤЮНЯН, Т. В. ЧАЛИКЯН

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ TAIPyP(4) И
AgTAIPyP(4) С poly(rG)poly(rC), poly(rI)poly(rC) И poly(rA)poly(rU)

Методами кругового дихроизма и флуоресценции исследовано взаимодействие новых мезо-тетра-(4N-аллилпиридил)порфирина (TAIPyP(4)) и его Ag-содержащей производной AgTAIPyP(4) с poly(rG)poly(rC), poly(rI)poly(rC) и poly(rA)poly(rU). Показано, что TAIPyP(4)-порфирины связываются с poly(rG)poly(rC) двумя способами – интеркаляционно и по внешнему типу связывания с предпочтением первого, а с poly(rA)poly(rU) имеет место только внешнее связывание. С poly(rI)poly(rC) происходит как внешнее связывание, так и интеркаляция. В отличие от безметального, Ag-содержащий металлопорфирин связывается со всеми полинуклеотидами только внешне. По интенсивности взаимодействия с данными порфиринами полинуклеотиды можно расположить в следующий ряд: poly(rI)poly(rC) \geq poly(rA)poly(rU) $>$ poly(rG)poly(rC).

Введение. Порфирины и их металлокомплексы являются активно исследуемыми соединениями. Многие порфирины проявляют противовирусную, противогрибковую и антибактериальную активность, а благодаря своей способности избирательно накапливаться в опухолевых клетках, они успешно используются в онкологии [1]. Предполагается, что биологическая активность порфиринов определяется типом их взаимодействия с нуклеиновыми кислотами (НК). Поэтому исследование этого взаимодействия позволит понять механизмы, лежащие в основе их биологической активности.

С другой стороны, поскольку порфирины весьма чувствительны к окружающей среде, их используют как «зонды» для регистрации изменений структуры и конформационных параметров нуклеиновых кислот (например, при фолдинге РНК) [2].

Установлено, что существует три способа связывания порфиринов с НК: интеркаляция, внешний упорядоченный (с образованием протяженных стопок из порфиринов) и внешний неупорядоченный [3, 4]. Исследование комплексов порфирин–ДНК показало, что для интеркаляции необходимо существование плоской конформации порфирина (т.е. с ограниченной эффективной толщиной). Внешнее же связывание типично для порфиринов с аксиальными лигандами и (или) с большими боковыми радикалами [4].

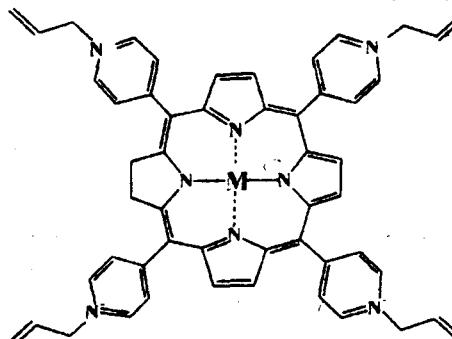
В данной работе исследовано взаимодействие мезо-тетра-(4N-аллилпиридилил)порфирина (TAIPyP(4)) и его новой Ag-содержащей производной (AgTAIPyP(4)) с синтетическими РНК-полимерными дуплексами. Эти порфирины как биологический объект проявляют сильно выраженные антисептические свойства. Они не менее интересны и с молекулярной точки зрения, поскольку их боковые группы содержат кратную связь, благодаря которой жесткие периферийные радикалы слабо деформируются. С учетом того факта, что порфирины, содержащие Ag в центре, практически не изучены, актуальность проведенных в настоящей работе исследований становится очевидной.

Материалы и методы. TAIPyP(4) и AgTAIPyP(4) (см. схему) были синтезированы на кафедре фармакологической химии ЕМГУ по методике [3].

РНК-дуплексы poly(rG)poly(rC) и poly(rI)poly(rC) приобретены у «Sigma-Aldrich» (Канада), а однонитевые poly(rA) и poly(rU) полимеры – у «Amersham Pharmacia Biotech» (Канада). Концентрация полинуклеотидов определялась спектрофотометрически с использованием следующих коэффициентов экстинкции: $\epsilon_{260}=7500 M^{-1} cm^{-1}$ для poly(rG)poly(rC), $\epsilon_{266}=5250 M^{-1} cm^{-1}$ для poly(rI)poly(rC) и $\epsilon_{260}=6970 M^{-1} cm^{-1}$ для poly(rA)poly(rU).

Исследования проводились в буфере 0,1BPSE ($0,6 mM Na_2HPO_4 + 0,2 mM NaH_2PO_4 + 18,5 mM NaCl + 0,1 mM EDTA$).

Эксперименты по титрованию проводились в диапазоне относительных концентраций порфирина $r=C_{\text{пар}}/C_{\text{пар осн.}}$ от 0 до 0,5, вплоть до агрегации и выпадения в осадок полученного комплекса. Использовались микролитчиства (по 4 мкл) порфирина, взятые из маточного раствора, содержащего $0,5 \cdot 10^{-3} M$ порфирина.



Диапазон концентраций полинуклеотидов составлял $6 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 10^{-6} M$ (пар оснований).

Спектры поглощения регистрировались на спектрометре AVIV14 DS UV/VIS, спектры кругового диахромизма (КД) – на спектрополяриметре AVIV 62 DS, спектры флуоресценции – на флуорометре AVIV ATP 105 (AVIV Associates, Lakewood, NJ). Все эксперименты проводились при температуре $25^\circ C$.

Результаты. Данные, полученные ранее для водорастворимого порфирина TMPyP, показывают, что КД-спектр комплекса порфирин–полинуклеотид характеризуется двумя полосами: 210–310 нм – УФ-полоса, совпадающая с КД-полосой полинуклеотидов, и 380–500 нм – полоса индуцированного порфиринами КД в видимой области, где полинуклеотиды не поглощают [5]. Появление индуцированной полосы КД объясняется двумя причинами: либо воздействием асимметричной среды, в которую попадет порфирин при связывании со спиральным полинуклеотидом, либо асимметричностью упаковки порфиринов на спиральном полинуклеотиде как на матрице [5, 6]. Анализ индуцированной полосы КД позволяет сделать вывод о характере взаимо-

действия и, следовательно, о типе связывания порфирина с ДНК. На основании такого анализа считается установленным, что отрицательный индуцированный спектр КД свидетельствует об интеркаляционном характере связывания порфирина с полинуклеотидом, тогда как положительный или консервативный спектр указывает на преимущественно внешнее связывание [4, 7, 8]. Считается также, что высокоинтенсивный консервативный индуцированный спектр может быть следствием внешней стопкообразной упаковки порфиринов на матрице полинуклеотида [9, 10]. Механизм связывания порфиринов зависит от GC-содержания НК. Многочисленные исследования показали, что TMPyP и некоторые его производные предпочитают интеркаляцию в GC-богатых участках и внешнее связывание в AT-последовательностях ДНК и РНК [4, 7, 8, 10].

На рис. 1 показаны спектры КД комплексов TAIPyP(4)-полинуклеотид (а) и AgTAIPyP(4)-полинуклеотид (б) при одинаковой относительной концентрации порфиринов $r=0,3$ (для удобства сравнения полученных данных).

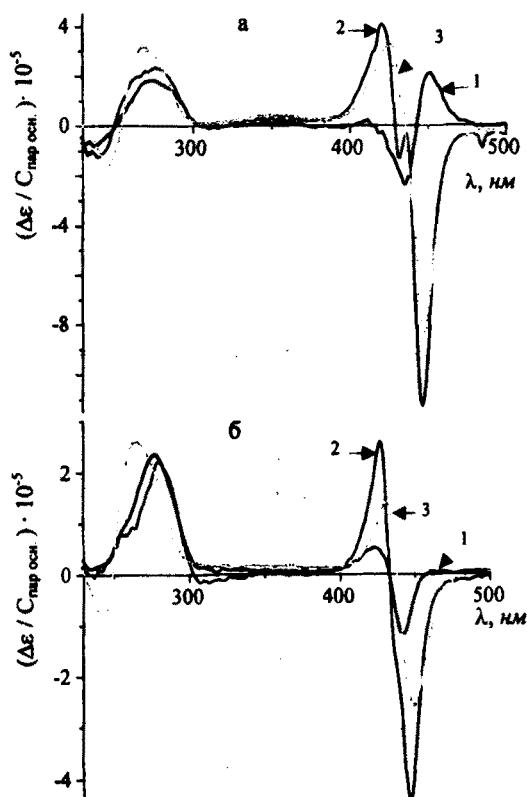


Рис. 1. Спектры КД комплексов TAIPyP(4) (а) и AgTAIPyP(4) (б) с poly(rG)poly(rC) (1), poly(rI)poly(rC) (2) и poly(rA)poly(rU) (3) при относительной концентрации $r=0,3$.

Полосы не наблюдается (рис. 1, б). Величина пиков у комплекса AgTAIPyP(4)-poly(rG)poly(rC) хотя и меньше, чем у комплексов с poly(rI)poly(rC) и poly(rA)poly(rU), однако положения максимумов почти совпадают.

Для исследования зависимости КД-спектров от концентрации порфирина были проведены эксперименты по титрованию полинуклеотидов порфи-

Очевидно, что кривые взаимодействия этих порфиринов с разными полинуклеотидами различаются не только количественно, но и качественно. Так, например, индуцированная полоса комплекса TAIPyP(4)-poly(rI)poly(rC) отличается аномально высоконтенсивным отрицательным пиком на 445 нм (рис. 1, а). Пики индуцированной полосы комплекса TAIPyP(4)-poly(rA)poly(rU) несколько смещены и менее интенсивны. У КД-спектра комплекса TAIPyP(4)-poly(rG)poly(rC) наблюдается инверсия индуцированной полосы, что свидетельствует о том, что способ связывания с этим полинуклеотидом принципиально отличается от остальных. В то же время, у AgTAIPyP(4) инверсии индуцированной по-

ринами (рис. 2, а и б).

Из приведенных данных видно, что кривые, соответствующие комплексам TAlPyP(4) с poly(rG)poly(rC), отличаются от остальных следующим:

- слабой индуцированной полосой КД при относительных концентрациях порфирина от 0 до 0,25 с последующей инверсией пиков (при $r > 0,25$);
- выходом на насыщение при относительно большом $r \geq 0,38$.

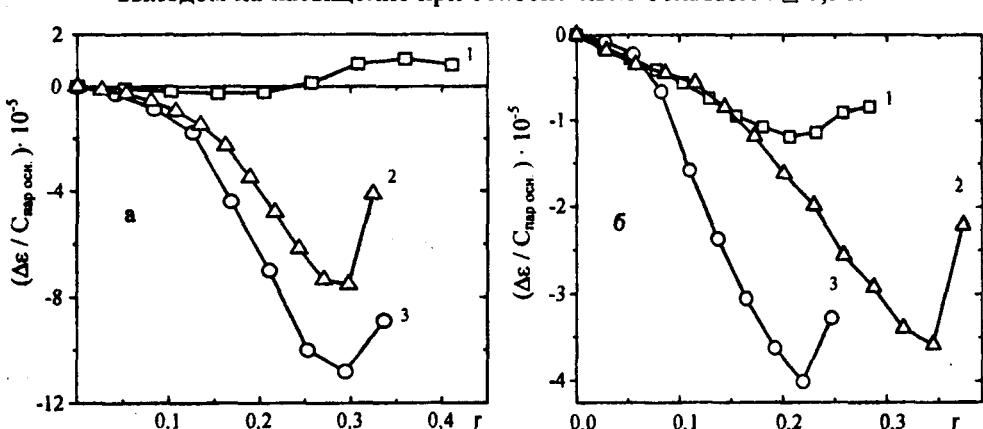


Рис. 2. Кривые зависимости КД комплексов при 447 нм от относительной концентрации порфиринов TAlPyP(4) (а) и AgTAlPyP(4) (б). Обозначения следующие: 1 – с poly(rG)poly(rC), 2 – с poly(rI)poly(rC), 3 – с poly(rA)poly(rU) (кривые приведены для одинаковых концентраций полинуклеотидов).

Как указано выше, знак КД определяется способом связывания. Из рис. 2, а следует, что TAlPyP(4) связывается с poly(rG)poly(rC) несколькими способами. Предполагается, что при $r=0-0,2$ преобладает внешнее связывание, которое выходит на насыщение, и начиная с $r=0,25$ преобладающим механизмом связывания становится интеркаляция. Второй способ предоставляет дополнительные места связывания на poly(rG)poly(rC), вследствие чего выход на насыщение происходит при относительно большой $r \geq 0,38$.

Для всех других комплексов интеркаляция если и возможна, то не является преобладающим типом связывания. Так, аномально интенсивные консервативные полосы КД у комплексов порфиринов с poly(rI)poly(rC) и poly(rA)poly(rU) свидетельствуют о внешнем типе связывания, при котором образуются протяженные стопки порфиринов на матрице РНК. При этом стопки порфиринов, повторяя спиральную структуру полинуклеотидов, сами образуют псевдоспираль, что приводит к значительному увеличению интенсивности полос КД [8]. Возможно, преобладание высокointенсивной отрицательной полосы у комплексов TAlPyP(4)–poly(rI)poly(rC) над положительной полосой свидетельствует о наличии интеркаляции как параллельного механизма связывания. В пользу этой гипотезы говорит также отсутствие 2-амино группы у IC, что уменьшает стерические ограничения для порфиринов и делает этот участок более доступным для интеркаляции [7, 11].

У комплексов полинуклеотидов с Ag-содержащим порфирином интенсивность пиков КД (рис. 2, б) в несколько раз меньше, что может быть след-

ствием меньшей константы связывания. По всей видимости, аксиальные лиганды этого порфирина не только препятствуют интеркаляции, но и мешают образованию внешних стопок.

Для проверки сделанных предположений нами были проведены аналогичные эксперименты методом флуоресценции. Длина волны возбуждающего света определялась предварительным сканированием (400нм для TAIPyP(4) и 418нм для AgTAIPyP(4)). TAIPyP(4) и AgTAIPyP(4) имеют пик флуоресценции в интервале 600–800нм. При комплексообразовании с НК интенсивность этого пика уменьшалась, что свидетельствовало о тушении флуоресценции у связанного порфирина.

На рис. 3, а и б приведены зависимости интенсивности флуоресценции f при 666нм от относительной концентрации r порфиринов. Из приведенных данных видно, что, в отличие от безметального порфирина, у AgTAIPyP(4) наблюдается соизмеримость интенсивностей спектров флуоресценции, что, по всей видимости, свидетельствует об идентичности типа связывания у этих комплексов. Предположение о том, что, в отличие от TAIPyP(4), аксиальные лиганды AgTAIPyP(4) мешают интеркаляции и приводят к единственному возможному типу взаимодействия – внешнему связыванию, согласуется с этими результатами.

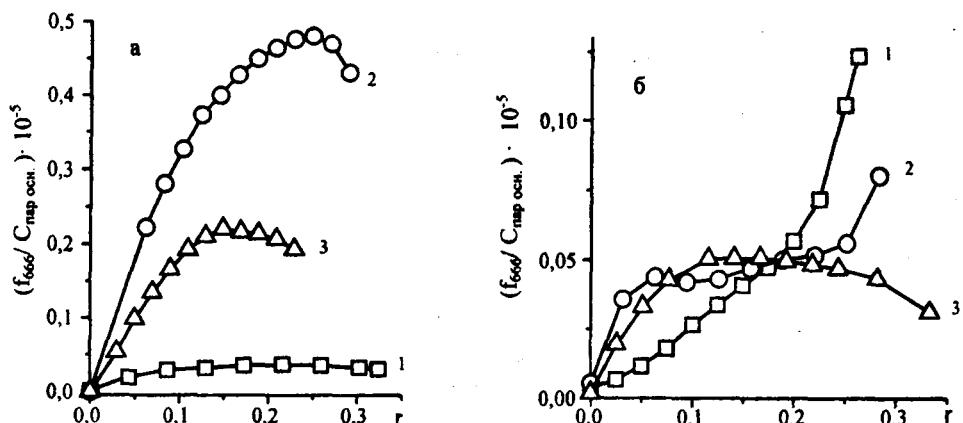


Рис. 3. Зависимость интенсивности флуоресценции при 666нм для комплексов TAIPyP(4) (а) и AgTAIPyP(4) (б) с poly(rG)poly(rC) (1), poly(rI)poly(rC) (2) и poly(rA)poly(rU) (3) от r .

Обработка полученных данных показала, что, как и в случае со спектрами КД, результаты, полученные для комплексов TAIPyP(4)–poly(rG)poly(rC), резко отличаются от остальных. Интенсивность флуоресценции этого комплекса на порядок слабее, чем у других. У комплексов AgTAIPyP(4) с полинуклеотидами интенсивности спектров флуоресценции соизмеримы друг с другом, но на порядок меньше, чем у комплексов с TAIPyP(4).

Таким образом, данные, полученные методом флуоресценции, подтверждают выводы, сделанные на основании изучения спектров КД исследуемых комплексов.

В заключение отметим следующую закономерность: по интенсивности взаимодействия с обоими порфиринаами полинуклеотиды можно расположить

в следующий ряд: poly(rI)poly(rC)≥poly(rA)poly(rU)>poly(rG)poly(rC), что, по всей видимости, является следствием аналогичного соотношения между соответствующими константами связывания.

Работа выполнена при поддержке грантов NATO LST.CLG. 979777, ISTC #A-301.2 и CRDF #12027.

Кафедра молекулярной физики

Поступила 05.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Bown S.G., Tralau C.J., Smith P.D., Akdemir D., Wieman T.J. – J. Cancer, 1986 , v. 54, № 1, p. 43–52.
2. Celander D.W., Nussbaum J.M. – Biochemistry, 1996, v. 35, p. 12061–12069.
3. Fiel R.J., Howard J.C., Mark E.H., Datta-Gupta N. – Nucl.Acid. Res., 1976, v. 6, № 9, p. 3093–3118.
4. Pasternak R.F. – Chirality, 2003, v. 15, p. 329–332.
5. Tamiaki H., Matsumoto N., Tsukube H. – Tetrahedron Lett., 1997, v. 38, p. 4239–4242.
6. Tamiaki H., Unno S., Takeuchi E., Tameshige N., Shinoda S., Tsukube H. – Tetrahedron Lett., 2003, v. 59, p. 10477–10483.
7. Uno T., Hamasaki K., Tanigawa M., Shimabayashi S. – Inorg. Chem., 1997, v. 36, p. 1676–1683.
8. Lee S., Lee Y.-A., Lee H.M., Kim D.H. – Biophysical Journal, 2002, v. 83, p. 371–381.
9. Lee Y.-A., Lee S., Lee H.M., Lee C.-S., Kim S.K. – The Japanese Biochemical Society, 2003, v. 133, p. 343–349.
10. Pasternack R.F., Goldsmith J.I., Szep S., Gibbs E.J. – Biophysical Journal, 1998, v. 75, p. 1024–1031.
11. Uno T. et al. – Biochemistry, 2002, v. 41, p. 13059–13066.

Ա. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ե. Բ. ԴԱԼՅԱՆ, Ս. Գ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Տ.Վ. ՉԱԼԻԿՅԱՆ

ՄԵԶՈ-ՏԵՏՐԱ-(4N-ԱԼԻԼՊիՐիԴիԼ) ՊՈՐՖիՐԻՆՆԵՐԻ ՀԵՏ
poly(rI)poly(rC)-ի, poly(rA)poly(rU)-ի ԵՎ poly(rG)poly(rC)-ի
ՓՈԽԱՁԴԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ամփոփում

Ծրջանային դիբուխզմի և ֆլուորեսցենցիայի մեթոդներով ուսումնասիրվել է TAIPyP(4)-ի և AgTAIPyP(4)-ի փոխազդեցությունը poly(rI)poly(rC), poly(rA)poly(rU), poly(rG)poly(rC) պոլիմուկլեինաքրուների հետ: Մետաղ չպարունակող պորֆիրինները կապվում են GC-պոլիմուկլեինաքրուների հետ երկու մեխանիզմով՝ ինտերկալյացիոն և արտաքին կապման՝ առաջինի գերակայությամբ, իսկ AU-պոլիմուկլեինաքրուների հետ կապվում են միայն արտաքինապես: IC- պոլիմուկլեինաքրուների հետ փոխազդեցությունը տեսի է ունենալ և արտաքին, և ինտերկալյացիոն մեխանիզմներով: Ի տարբերություն դրան, Ag պարունակող մետաղապորֆիրինները կապվում են միայն արտաքինապես բոլոր ուսումնասիրված պոլիմուկլեինաքրուների հետ: Հստ պորֆիրինների հետ փոխազդեցության ինտենսիվության՝ պոլիմուկլեինաքրուները կարելի է ներկայացնել հետևյալ շարքով. poly(rI)poly(rC)≥
≥poly(rA)poly(rU)>poly(rG)poly(rC):

A. A. GHAZARYAN, Ye. B. DALYAN, S. G. HAROUTIUNIAN, T. V. CHALIKIAN

SPECTRAL STUDIES OF INTERACTION OF MESO-TETRA-(4N-
-ALLYLPYRIDYL)PORPHYRINS WITH poly(rG)poly(rC), poly(rI)poly(rC)
AND poly(rA)poly(rU)

Summary

The interaction of TAIPyP(4) and AgTAIPyP(4) with poly(rG)poly(rC), poly(rI)poly(rC) and poly(rA)poly(rU) was studied by the CD and fluorescence spectral changes. Nonmetalloporphyrins bind to poly(rG)poly(rC) with two modes, preferring the intercalation to the external mode. They bind to poly(rA)poly(rU) preferentially in an outside manner and bind to poly(rI)poly(rC) in two types of binding modes. In contrast Ag-containing metalloporphyrin bind with the studied RNAs via outside mode. By the intensity of the interaction with porphyrins the studied RNAs can be placed in the following order: poly(rI)poly(rC) \geq poly(rA)poly(rU) > poly(rG)poly(rC).

Физика

УДК 551.508.4:621.384.3

Г. К. МСРЯН

**СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ
ПО ИНФРАКРАСНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ НЕКОТОРЫХ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ**

Приводятся результаты спектрометрических измерений инфракрасной (ИК) прозрачности атмосферы. По эмпирическим зависимостям рассчитаны концентрации паров воды и углекислого газа на горизонтальных трассах длиной 1500м. Дистанционным ИК-спектральным анализом установлено, что в газовых промышленных выбросах в атмосферу преобладают газы CO, CO₂, группа углеводородов, SO₂ и N₂O. Оценены относительные количества выбрасываемых газов по отношению к группе CO-CO₂.

В экологических исследованиях земной атмосферы весьма важное значение имеют измерения количества водяных паров и углекислого газа, а также дистанционный спектральный анализ горячих газовых промышленных выбросов. На основе экспериментальных данных, полученных при измерении спектральной прозрачности атмосферы в области длин волн от 2,5 до 5,5мкм, где находятся сильные полосы поглощения паров воды (2,7мкм) и углекислого газа (4,3мкм), и с помощью существующих эмпирических зависимостей между спектральной прозрачностью и количеством поглощающих молекул (величиной осажденного слоя) можно определить концентрации паров H₂O и CO₂ на участке измерений.

2. Краткое описание эксперимента. Общепризнанным методом измерения ИК-спектральной прозрачности атмосферы на больших расстояниях является получение спектра конкретного точечного ИК-источника с внешней модуляцией излучения, сигналы от которого малы по сравнению с вкладом излучения фона. Преимущество этого метода заключается в том, что дрейф и флуктуации излучения фона не влияют на окончательные результаты измерений. Эксперименты проведены с помощью разработанного нами универсального спектрорадиометра УСР-А, описанного в [1], где подробно проанализирована методика энергетической градуировки прибора, а также методика измерения излучения точечных и протяженных ИК-источников. Получены соответствующие соотношения между спектральной градуировочной

характеристикой $k(\lambda)$ спектрорадиометра и интересующим нас спектральным контрастом точечного ИК-источника $W(\lambda)$:

$$W(\lambda) = \frac{\Delta S(\lambda) \omega l^2}{k(\lambda) \tau(\lambda, l) A}, \quad (1)$$

где $\Delta S(\lambda)$ – разность между сигналами «источник+фон» и «фон», ω – телесный угол спектрорадиометра (Змрад), l – расстояние от исследуемого источника до спектрорадиометра, $\tau(\lambda, l)$ – спектральная прозрачность атмосферы на расстоянии l , A – площадь излучающей поверхности источника.

Экспериментальные работы по измерениям прозрачности атмосферы в области длин волн от 2,5 до 5,5 мкм проводились в средних широтах европейской части России в летний период. Источник АЧТ 1270К и внешний модулятор (прерыватель излучения) были установлены на расстоянии $l_1 = 1500\text{м}$ от прибора УСР-А. Внутренний прерыватель (опорный модулятор) спектрорадиометра был отключен. Опорный сигнал внешнего модулятора, переданный по радиосвязи, и сигнал от источника через спектрорадиометр подавались на вход усилителя для синхронного детектирования. Выходной сигнал представлял собой разность между спектром «источник+фон» и спектром фона, т.е. $\Delta S(\lambda)$. Отметим, что одновременно измерялись текущие метеорологические параметры атмосферы (температура, давление и отн. влажность воздуха).

При помощи измерения $W(\lambda)$ источника на ближней дистанции ($l_2 = 200\text{м}$, где можно принять $\tau(\lambda, l) = 1$) и соотношения (1) были получены значения спектральной прозрачности атмосферы для горизонтальной трассы длиной 1500 м, которые приведены на рис. 1 (крестики). Сплошной линией представлена расчетная кривая $\tau(\lambda, l)$ по данным [2].

3. Результаты измерений и обсуждение. На основе многочисленных практических измерений поглощения водяных паров в атмосфере Эльдера и Стронга (см. [3]) была предложена следующая эмпирическая формула для расчета спектральной прозрачности $\tau(\lambda)$ на горизонтальных трассах в атмосфере для высот 2–3 км:

$$\tau(\lambda) = t_0 - k_1 \lg \omega_{H_2O}, \quad (2)$$

где ω_{H_2O} – величина осажденного слоя поглощающих водяных паров (см), t_0 и k_1 – некоторые эмпирические постоянные для рассматриваемых длин волн. С помощью соотношения (2), данных [3] и на основе наших измерений $\tau(\lambda)$ на участках спектра 1,9–2,7 мкм и 2,7–4,3 мкм для ω_{H_2O} нами получены значения 4,5 и 9,5 мм соответственно, что в среднем для трассы с $l = 1500\text{м}$ составляет 7,0 мм. Это значение согласуется с данными, полученными в результате синхронных измерений метеорологических параметров, по которым

$\omega_{H_2O} = 7,5 \text{мм}$ [3]. Именно для этого значения ω_{H_2O} на рис. 1 приведена расчетная кривая пропускания атмосферы.

По результатам многолетних теоретических и экспериментальных исследований установлены эмпирические зависимости (рассмотренные в [2]) между пропусканием атмосферы τ и количеством поглощающих молекул газа CO_2 для длины волны $4,3 \mu\text{м}$. С помощью измеренных нами значений $\tau(\lambda)$ и

по данным [2] получено усредненное значение

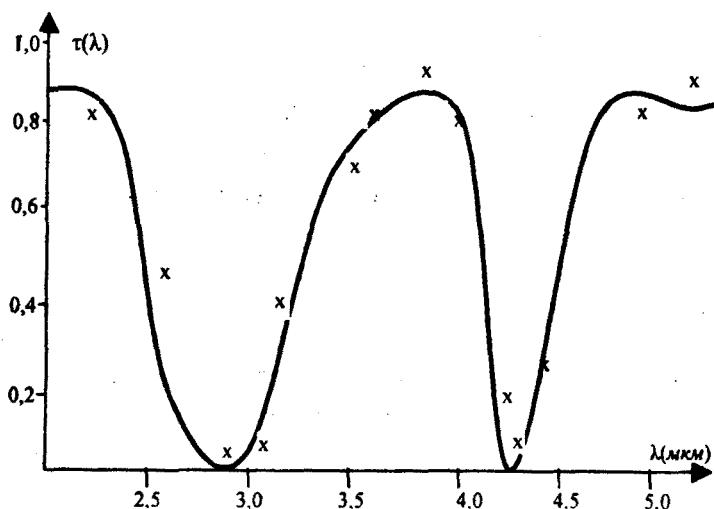


Рис. 1. Спектральная прозрачность атмосферы на горизонтальной трассе длиной 1500м, сплошная линия – расчеты по [2], x – результаты наших измерений.

$\omega_{CO_2} = 4,2 \text{см}$ на горизонтальной трассе 1500м.

Полученное при наших измерениях значение объемной концентрации атмосферного CO_2 оказалось порядка 0,028%, что находится в хорошем согласии с данными [3].

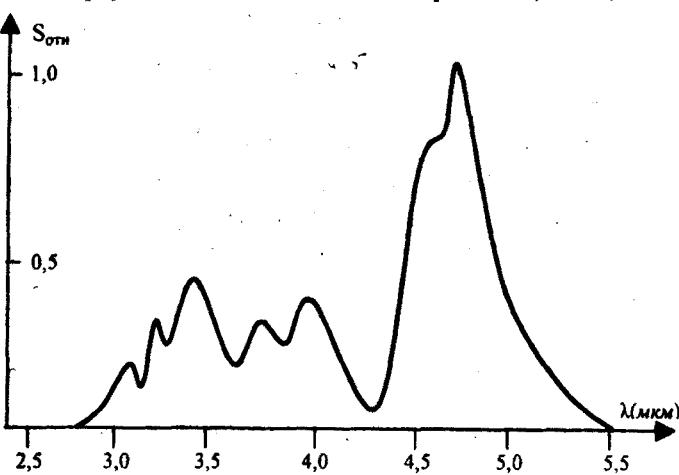


Рис. 2. Усредненная спектрограмма высокотемпературного промышленного газового выброса с расстояния 3км.

ная по данным более 20-и измерений, приведена на рис. 2. На ней отчетливо выделяются эмиссионные полосы молекул $\text{SO}_2(4,2 \mu\text{м})$, $\text{N}_2\text{O}(3,9 \mu\text{м})$, $\text{CO}(4,7 \mu\text{м})$, $\text{CO}_2(4,8 \mu\text{м})$, паров $\text{H}_2\text{O}(3,2 \mu\text{м})$ и группы углеводородов ($3,5 \mu\text{м}$). Отметим, что вследствие низкого спектрального разрешения ($\approx 3\%$) полосы углеводородов (CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_8) объединены в

одну с максимумом на $\lambda = 3,5\text{мкм}$. Однако их интегральную интенсивность можно сравнить с интенсивностью полос CO–CO₂ (на $\lambda = 4,7 - 4,8\text{мкм}$), что с точки зрения качественного спектрального анализа имеет большое значение для контроля газовой загрязненности атмосферы, т.к. они являются основными продуктами сгорания. На полученной спектрограмме резко выделяется полоса поглощения атмосферного CO₂ на $\lambda = 4,3\text{мкм}$ [3].

Спектральная область измерений от 3 до 5мкм нами выбрана не случайно. Во-первых, она является одним из «окон прозрачности» атмосферы, во-вторых, малые газовые примеси, такие как углеводороды, SO₂, N₂O и др., имеют более или менее интенсивные колебательно-вращательные спектры именно в этом диапазоне длин волн [3]. При температуре пламени около 2000K эмиссионные полосы CO, CO₂ и паров воды сливаются и спектр становится непрерывным в области длин волн от 2 до 4мкм. Однако при температурах ниже 2000K эти полосы разделяются, что и наблюдается в наших экспериментах. Сравнение длины волны максимального излучения в полученных спектрах с законами излучения абсолютно черного тела показывает, что оптимальная температура для исследования промышленных газовых выбросов находится в интервале 500–600K. Относительное содержание выбрасываемых за единицу времени в атмосферу газов (по отношению к группе CO–CO₂) оценивалось с помощью отношений интегральных интенсивностей полос отдельных газов. Расчеты показывают, что содержание выбрасываемых углеводородов в 2–3 раза превышает таковое для SO₂, N₂O, что, в свою очередь, в 4 раза меньше, чем содержание группы CO–CO₂.

Общепринятый к настоящему времени метод исследования атмосферных газовых загрязнений [4–6] основан на спектрометрических измерениях газовых выбросов в лабораторных условиях в отобранных пробах. Несмотря на сравнительно высокие спектральные разрешения таких измерений, они по оперативности уступают дистанционным спектрометрическим исследованиям, изложенным в настоящей работе.

Таким образом, разработанная нами методика и примененная аппаратура предоставляют возможность проведения оперативной и качественной оценки содержания разных газов в горячих промышленных выбросах в атмосферу с помощью пассивного спектрального изучения в областях длин волн от 3 до 5мкм, а также и от 8 до 14мкм [1].

Кафедра оптики

Поступила 28.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Asatryan R.S., Epremian R.A, Msryan G.K and al. – Intern. Journ. of IR and MM Waves, 2003, v. 24, № 6, p. 1035–1046.
2. Асатрян Р.С. Оптоэлектронные методы исследований полей излучения. Автореферат дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. ЕГУ, 2000, 18с.
3. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. М.: Сов. Радио, 1966.

4. Ахмеджанов Р.А., Гаврилова М.А., Радищев Д.Б., Яценков В.В. – Приборы и техника эксперимента, 1997, № 1, с.165–171.
5. Рылов В.А. – Приборы и системы управления, 1999, № 9, с. 17–19.
6. Попов А.А., Пыжнев В.Ю., Сергеев С.К. и др. – Там же, 1999, № 9, с. 3–17.

Գ. Կ. ՄՏՐՅԱՆ

ՄԹՆՈԼՈՐՏԻ ՈՐՈԾ ԵԿՈԼՈԳԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՍԵՏՐԵՐԻ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ՍՊԵԿՏՐԱԼ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԸ ԵՎ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Ամփոփում

Բերված են մթնոլորտի ինֆրակարմիր թափանցիկության սպեկտրաչափական արդյունքները 1500մ երկարությամբ հորիզոնական դիտագծերի համար: Էմպիրիկ առնչություններից հաշվարկված են ջրային գոլորշիների և ածխաթթու գազի խտությունները դիտագծի երկայնքով: Հեռահար (3կմ հեռավորությունից) ինֆրակարմիր սպեկտրալ վերլուծության միջոցով հաստատված է, որ մթնոլորտ արտանետված արդյունաբերական տար գազերում գերակշռում են CO , CO_2 գազերը, ածխաջրածինների խումբը, ինչպես նաև SO_2 և N_2O միացությունները: Գնահատված են արտանետվող գազերի հարաբերական քանակությունները $\text{CO}-\text{CO}_2$ խմբի նկատմամբ:

G. K. MSRYAN

SPECTROMETRIC MEASUREMENTS AND PROCESSING OF THE INFORMATION ON INFRARED RESEARCHES OF SOME ATMOSPHERE'S ECOLOGICAL PARAMETERS

Summary

The results of spectrometric measurements of the infrared (IR) atmospheric transparency and industrial hot gas ejections in the wave range from 2,5 to 5,5 μm , are presented. By empirical dependences between atmosphere's IR spectral transparency and quantities of absorbing molecules is counted the concentrations of water vapour and carbonic gas on the horizontal path of length 1500m. By distant (on the distance 3km) IR spectral analysis it is established, that in industrial gas ejections in atmosphere dominate the gases CO , CO_2 , hydrocarbon group, SO_2 and N_2O . Relative quantities of ejected gases to the $\text{CO}-\text{CO}_2$ group are estimated.

Химия

УДК 668.395.6 (088.8) *

С. К. ГРИГОРЯН, М. Л. ЕРИЦЯН, Г. С. ГРИГОРЯН, К. М. ЕРИЦЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ КЛЕЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ НИЗКО-
ТЕМПЕРАТУРНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ**

С целью получения клеев на основе эпоксидных смол, используемых в различных отраслях промышленности, в частности для склеивания металлических материалов и пластмасс, исследованы сложные системы, состоящие из эпоксидных смол, аминокомплексов металлов и гидропероксидов. В качестве отвердителей использованы соли металлов, гидропероксид кумола и аминоспирты. Приведен предполагаемый механизм изучаемого процесса, составы и физико-химические данные синтезированных клеев.

Кинетические исследования систем аминоспирты–ионы металлов (II)–гидропероксиды в водных растворах привели к выводу, что комплексы ионов металлов (Co(II) , Cu(II) , Ni(II) и др.) с аминоспиртами (триэтаноламин, диэтаноламин и др.) в водной среде вызывают каталитический распад алифатических и ароматических гидропероксидов кумола и третбутила параллельно с непосредственной реакцией между аминоспиртом и гидропероксидом. При этом в реакционной системе образуются различные промежуточные и стабильные продукты, проявляющие адгезивные свойства также, как и исходные компоненты [1]. Ранее нами были рассмотрены [2, 3] возможности использования вышеуказанных каталитических систем для отверждения клеевых композиций на основе эпоксидных смол, модифицированных полимеризационноспособными каучуками. Имея ввиду эти данные, особенно каталитические свойства аминоспиртовых комплексов ионов металлов (II), мы использовали указанные системы в качестве отвердителей для синтеза клеев различного состава и получили приемлемые результаты.

Исследованиями установлено, что использованные нами каталитические системы, по сравнению с известными аналогами [4–6], при относительно невысоких температурах значительно ускоряют процесс отверждения эпоксидных смол и клеев на их основе и дают довольно хорошие результаты прочности на сдвиг склеенных субстратов из стали СТ-3 (см. табл.). На наш взгляд, ускоряющими агентами отверждения эпоксидных систем являются не только комплексы металлов Cu(II) , Ni(II) , Mn(II) с аминоспиртами, но и соли или алкоголяты этих металлов, а также гидропероксиды и некоторые продукты, образующиеся в процессе реакций. В других работах [7, 8] также описыва-

лась роль катализитической активности ацетатов металлов переменной валентности в процессе ускорения отверждения kleев на основе эпоксидных смол.

Составы kleев и их прочностные показатели

Компоненты kleев	ГИПК-217	Содержание kleевых композиций, мас. %,								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Эпоксидная смола										
ЭД-20	26,5	64,0	65,0	65,0	29,5	—	63,0	41,7	—	63,2
ЭД-16	—	—	—	—	—	86,2	—	—	63,7	—
Бутадиенакрилонитрильный каучук										
СКН-26-1	45,0	12,8	15,0	15,0	45	—	12,8	—	12,8	12,8
СКН-18	—	—	—	—	—	4,3	—	22,3	—	—
Наполнитель										
каолин	—	16,2	18,0	18,0	—	—	15,9	—	15,9	15,9
аэросил	1,5	—	—	—	1,5	6,4	—	—	—	—
асбест	—	—	—	—	—	—	—	27,9	—	—
Ариленхинон	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Отвердитель										
1.Металлорганическое соединение:										
ацетат кобальта	—	7,0	—	—	21,0	—	6,4	—	—	—
$\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$										
ацетат никеля	—	—	—	—	—	2,6	—	—	—	—
$\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$										
ацетилацетат меди	—	—	—	—	—	—	—	6,7	—	—
$\text{Cu}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$										
ацетилацетат кобальта	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,4
$\text{Co}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$										
ацетилацетат марганца	—	—	—	—	—	—	—	—	6,4	—
$\text{Mn}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$										
2.Органический гидропероксид:										
кумона	—	—	1,0	—	—	—	0,6	0,7	—	1,0
бензойной кислоты	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	0,6	—
3.Аминоспирт:										
триэтаноламин	—	—	1,0	—	—	0,6	0,6	—	0,6	—
диэтаноламин	—	—	—	1,0	2,0	—	0,7	0,7	—	0,7
Прочность kleевого шва на сдвиг, МПа										
время отверждения 8мин при температуре 70°C	0,15	0,35	0,09	0,06	0,30	7,0	9,5	6,0	8,0	9,0
время отверждения 20мин при температуре 170°C	9,0	9,5	8,0	7,0	9,5	17,5	19,0	17,0	19,0	20,0

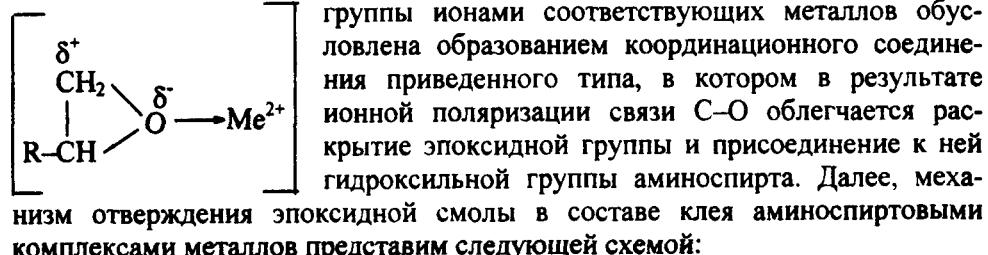
Мы преследовали цель – снизить температуру и сократить время отверждения kleя. Для достижения этого был разработан клей, включающий следующие компоненты (в мас. %): эпоксидную диеновую смолу (41,7–86,2), бутадиенакрилонитрильный каучук (4,3–22,3), наполнитель (6,4–27,9) и отвердитель; в качестве отвердителя использовали смесь аминного комплекса катиона металла (2,6–6,7), органического гидропероксида (0,1–0,7) и аминоспирта (0,2–0,7).

Для получения клея к предварительно подогретой до 40°C эпоксидной смоле при перемешивании добавляли расчетное количество каучука и наполнителя. После гомогенизации среды добавляли заранее приготовленную смесь комплекса ионов металлов с аминоспиртами. При указанной температуре еще 1,5–2 часа продолжали перемешивание, после чего температуру снижали до 20°C и добавляли расчетное количество гидропероксида.

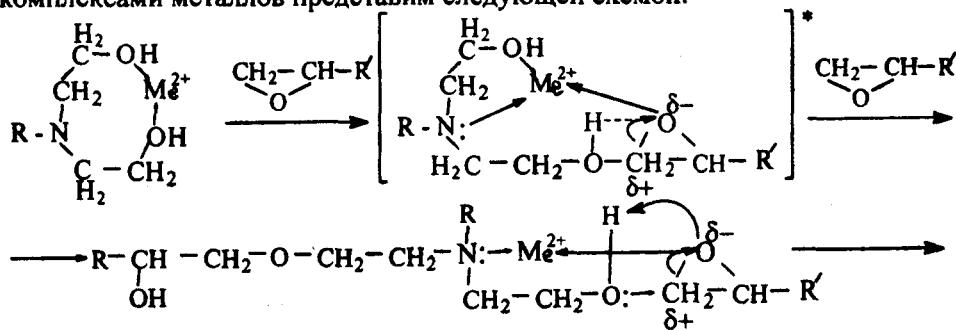
При использовании в качестве отвердителей каталитических систем в виде металлических комплексов в сочетании с гидропероксидом кумола и триэтаноламином получается одноупаковочный клей на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20 (модифицированный аналог клея ГИПК-217) с жизнеспособностью не менее 3-х месяцев. Экспериментально установлено, что в присутствии металлорганических комплексов триэтаноламина и гидропероксида в составе модифицированных kleев резко сокращается (~ в 10 раз) время их отверждения при тех же температурах по сравнению с двухупаковочным kleем ГИПК-217. При этом физико-химические показатели испробованных нами модификаций не уступают kleю, описанному в [3], а в некоторых композициях даже его превосходят. В таблице приведены составы kleев и их прочностные показатели, которые можно сравнить с известными ранее [6].

В качестве субстрата для исследования показателей kleя нами была использована сталь марки СТ-3. Как видно из данных таблицы, использование в качестве отвердителя систем комплекса ионов металлов, гидропероксида органических соединений и аминоспирта при отверждении kleев на основе эпоксидных смол и бутадиенакрилонитрильного каучука позволяет резко снизить температуру и время отверждения kleя по сравнению с известными отвердителями. Из данных таблицы вытекает, что гидропероксиды с аминосоединениями, но без металлорганических соединений, также способны отвердить kleевую композицию с удовлетворительными результатами.

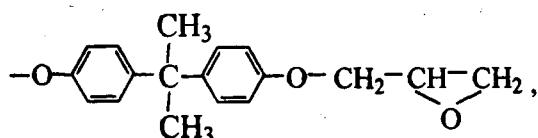
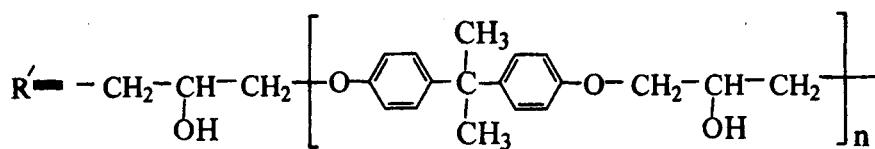
С учетом наших и некоторых литературных данных [9, 10] относительно комплексообразования при полимеризации предполагаемый механизм процесса нами представляется следующим образом. Активация эпоксидной



группы ионами соответствующих металлов обусловлена образованием координационного соединения приведенного типа, в котором в результате ионной поляризации связи C—O облегчается раскрытие эпоксидной группы и присоединение к ней гидроксильной группы аминоспирта. Далее, механизм отверждения эпоксидной смолы в составе kleя аминоспиртовыми комплексами металлов представим следующей схемой:



и.т.д., где $R = H, -CH_2-CH_2-OH$,



$n = 3$ или 4 (для смолы ЭД-20).

Роль гидропероксида в использованной нами катализитической системе заключается в участии радикалов его распада при отверждении как оксирановых групп эпоксидной смолы, так и ненасыщенных групп нитрильного каучука, входящих в состав клеевой композиции.

Таким образом, вышеуказанная катализитическая система – эпоксидно-каучуковая kleевая композиция – отверждается как по миграционно-конденсационному, так и по свободнорадикальному механизму.

Следует отметить, что данная катализитическая система переходит в активную форму только при высоких температурах (не ниже $70^{\circ}C$), и поэтому с ее использованием удается разработать и синтезировать одноупаковочные клеи с жизнеспособностью не менее одного года при комнатной температуре.

Кафедра неорганической химии

Поступила 08.10.2004,
после доработки – 16.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Григорян С.К. – Успехи химии, 1983, т. 52, вып. 6, с. 936.
- Григорян С.К., Бейлерян Н.М., Геворкян А.В. и др. Полимерная композиция. А.с. СССР № 1070893, 1983 (в открытой печати не опублик.).
- Григорян С.К., Бейлерян Н.М., Ерицян М.Л. Клей. А.с. СССР № 810750. БИ, 1981, № 9.
- Кардашов Д.А. Синтетические клеи. М., 1976, с. 104–106.
- Мависакалян В.М., Ерицян М.Л., Абраамян Дж.Г. – Ученые записки ЕГУ, 1994, № 2, с. 82–85.
- Ерицян Н.П., Григорян А.С., Петросян С.Е., Ерицян М.Л. Герметизирующая композиция. А.с. СССР № 1703672. БИ, 1991.
- Пат. 5863970 США, МПК C08K 03/08. опуб. 26.01.99, РЖХ 19 Т168Н, 1999.
- Пат. 5856383 США, МПК C08L 63/00. опуб. 15.01.99, РЖХ 13 Т159П, 1999.
- Перченко В.Н., Сыров Г.А., Каменева Г.Л., Намеркин И.С. – ВМС Т(А), 1983, т. XXV, № 8, с. 1723.
- Назарова З.Ф., Карпов О.Н., Баталь Л.Н., Паксер М.К. – Пластмассы, 1984, № 6, с. 42.

Ս. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Մ. Լ. ԵՐԻՑՅԱՆ, Գ. Ս. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Կ. Մ. ԵՐԻՑՅԱՆ

ՑԱԾՐՁԵՐՍԱՏԻԾԱՆԱՅԻՆ ՊՆԴԱՑՄԱՍՔ ՍՈՍՆՉԱՅԻՆ
ԲԱՂԱԴՐԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՈՒԽՈՒՄՆԱՀՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՍԻՆԹԵԶԸ

Ամփոփում

Տարբեր բնագավառներում (օրինակ մետաղական և պլաստմասային նյութերի սոսնձման համար) օգտագործվող էպօքսիդային խեժերի հիման վրա սոսինձներ ստանալու նպատակով ուսումնասիրվել են բարդ համակարգեր՝ բաղկացած էպօքսիդային խեժերից, մետաղների ամինակոմպլեքսներից և հիդրոպերօքսիդից: Ստացված սոսինձների պնդացման համար օգտագործվել են մետաղների աղեր, կումոլի հիդրոպերօքսիդ և ամինասպիրտներ:

Քերված են ուսումնասիրված համակարգերում սոսինձների ստացման պոլիմերացման պրոցեսների հավանական մեխանիզմը, նոր սինթեզված սոսինձների բաղադրություններն ու ֆիզիկաքիմիական հիմնական տվյալները:

S. K. GRIGORIAN, M. L. YERITSIAN, G. S. GRIGORIAN, K. M. YERITSIAN

INVESTIGATION AND SYNTHESIS OF GLUE COMPOSITES OBTAINED BY LOW TEMPERATURE CONDENSATION

Summary

For obtaining glues on the basis of epoxide gums, which are widely used in various fields (for example, for gluing metallic and plastic compounds) complex systems composed from epoxide gums, metal-aminocompounds and hydroperoxides and metall salts for condensation gums, cumene hydroperoxide and aminoalcohols have been investigated.

Probable mechanism of glue condensation polymerisation process, physical and chemical data of these glues are given.

Химия

УДК 542.61+535.2+615.7+668.813

Н. О. ГЕОКЧЯН, Дж. А. МИКАЕЛЯН, А. А. ЕГИАЗАРЯН, А. Г. ХАЧАТРЯН

ЭКСТРАКЦИОННО-АБСОРБЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЛЕВОМИЦИТИНА ОКСИНОВЫМ КРАСИТЕЛЕМ – ПИРОНИНОМ «Б»

Предложен новый способ экстракционно-абсорбциометрического определения левомицитина основным красителем оксинового ряда – пиронином «Б» (ПБ). Найдены оптимальные условия экстракции: экстрагент, кислотность водной фазы, концентрация красителя, время и степень извлечения, диапазон определяемой концентрации левомицитина. Рассчитано среднее значение кажущегося мольного коэффициента светопоглощения окрашенного ионного ассоциата (ИА) левомицитина с ПБ ($\bar{\epsilon} = 5,07 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$).

Установлено мольное соотношение между анионом левомицитина и катионом красителя в образующемся ИА, равное 1:1. Изучены избирательность экстракции и мешающее влияние некоторых других антибиотиков на определение левомицитина.

Антибиотики классифицируются по их функциональному применению. Антибиотики различного химического строения характеризуются особым выборочным воздействием на определенные виды микробов, поэтому они находят все более широкое применение в медицине в качестве профилактического терапевтического средства. В связи с этим, актуальна проблема определения антибиотиков как одной из групп лекарственных препаратов, обладающих в то же время потенциальной опасностью для здоровья человека.

Существует связь между концентрацией лекарственных веществ и их фармакологическим воздействием, при помощи которой осуществляется контроль качества антибиотиков. Разработаны новые надежные, чувствительные и избирательные методы определения микрограммовых количеств различных лекарственных веществ, являющиеся актуальными для современной клинической химии, ветеринарии и пищевой промышленности.

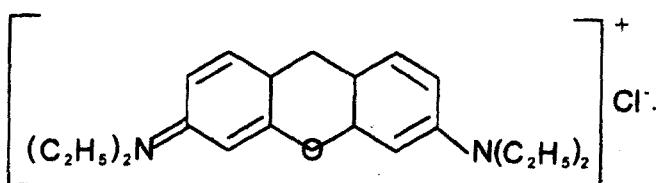
Левомицитин – антибиотик широкого спектра действия – относится к лекарственным соединениям, способным подавлять развитие грамположительных, грамотрицательных бактерий, а также некоторых сильных вирусов, создает нормальную микрофлору в организме человека [1].

В литературе известны в основном физико-химические методы обнаружения и количественного определения антибиотиков. Это высокотехнологичная жидкостная хроматография, оптические методы [2–4], электрофорез

[5], а также экстракционно-абсорбциометрические методы анализа с использованием различных кислотно-основных индикаторов [6, 7]. Для экспрессного и надежного обнаружения антибиотиков весьма актуально и представляет большой интерес применение экстракционно-абсорбциометрического метода определения с использованием органических основных красителей [8, 9].

Настоящее исследование посвящено разработке нового экстракционно-абсорбциометрического метода определения малых количеств левомицита органическим основным красителем оксинового ряда – пиронином «Б» (ПБ), который для этой цели применяется впервые.

Строение красителя может быть представлено следующей формулой:



Экспериментальная часть. Запасной раствор левомицита (натриевую соль) готовили растворением точной навески препарата производства фирмы «Киевмедпрепарат» (Украина), разбавлением которого получали рабочие растворы левомицита требуемой концентрации. Раствор красителя ПБ готовили растворением точной навески препарата марки ч.д.а. в дистиллированной воде. Органические растворители квалификации ч.д.а. и х.ч. использовались без дополнительной очистки.

Равновесные значения pH водных фаз контролировали при помощи pH-метра pH-121. Оптическую плотность (ОП) водных растворов и органических экстрактов измеряли спектрофотометром СФ-16.

Результаты и их обсуждение. Из большого числа органических растворителей, а также их бинарных смесей, опробованных для извлечения образующегося ИА, наиболее эффективной оказалась бинарная смесь дихлорэтана (ДХЭ) с четыреххлористым углеродом (CCl_4) 7,0мл+3,0мл соответственно, которая обеспечивала максимальный полезный аналитический сигнал при минимальных фоновых значениях. Объемное соотношение водной и органической фаз составляло 1:1 (по 10мл), максимальное светопоглощение экстрактов образующихся ИА и “холостых” экстрактов, а также водных растворов ПБ наблюдалось при одной и той же длине волны – 535нм.

Для установления оптимальной кислотности водной фазы опыты проводили в широком интервале кислотности от pH 5,0 до 3,0 моль/л по HCl. Максимальное извлечение образующегося соединения наблюдается при pH 5,0 по HCl. Качественное извлечение ИА в органическую фазу имеет место при добавлении в водную фазу 1,4–2,0мл 0,1%-го раствора ПБ. Образующийся ИА левомицита с ПБ переходит из водной фазы в органическую при однократной экстракции в течение 1мин ($R=95\%$). ОП органических экстрактов остается неизменной в течение 2ч. Мольное соотношение между анионом левомицита и катионом красителя в образующемся ИА было определено методом прямой линии Асмуса и оказалось равным 1:1. Диапазон опреде-

ляемой концентрации левомицетина составляет $12,5\text{--}175\text{мкг}/10\text{мл}$ (при степени надежности $P=0,95$). Среднее значение кажущегося коэффициента молярного светопоглощения, рассчитанное по данным градуировочной кривой составляет $\bar{\varepsilon}_{333} = 5,07 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Определению мешают в основном бензил-пеницилин, в меньшей степени – оксацилин (т.е. они частично экстрагируются в этих оптимальных условиях). Определению не мешают гентамицин и ампицилин.

Кафедра аналитической химии

Поступила 12.01.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Харкевич Д.А. Фармакология. М.: Наука, с. 408–416.
2. Huang H.S., Win J.R., Chen M.L. – J. Chromatogr., 1991, v. 564, p. 195.
3. Bailey F., Britt P.N. – J. Chromatogr., 1973, v. 83, p. 431.
4. Horwitz W. – J. Assoc. off Anal. Chem., 1981, v. 538, p. 259.
5. Smith R., Vaughan D.R. – J. Appl. Bacteriol., 1978, v. 44, p. 421.
6. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Ч. 2. М.: Медицина, 1989, сс. 185, 202.
7. Сэнфорд Г.Д., Гербердинг Дж., Сэнде М. Антимикробная терапия. М.: Мир, 1996, с. 133.
8. Геокчян Н.О., Егиазарян А.А., Микаелян Дж.А., Хачатрян А.Г. – ДНАН РА, 2002, т. 102, с. 330–334.
9. Геокчян Н.О., Егиазарян А.А., Микаелян Дж.А., Хачатрян А.Г. – Ученые записки ЕГУ, 2002, № 3, с. 61–64.

Ն. Օ. ԳՅՈԿՅԵՍԻՆ, Զ. Ա. ՄԻՋԱՅԵԼՅԱՆ, Ա. Ա. ԵՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հ. Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԼԵՎՈՄԻՑԵԼԻՆԻ ԷՔՍՏՐԱԿՑԻՈՆ-ԱԲՍՈՐԲՑԻՈՆՏՐԱԿԱՆ
ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՕՔՍԻՆԱՅԻՆ ԾԱՐՁԻ ՆԵՐԿԱՆՅՈՒԹ ՊԻՐՈՒՆԻՆ «Բ»-ՈՎ

Ամփոփում

Հաստատվել է նոր հնարավորություն լևոմիցիտինի էքստրակցիոն-աբսորբցիոնետրական որոշման համար օրսինային շարքի հիմնային ներկանյութ պիրունին «Բ»-ով: Հաստատվել են էքստրակցիայի օպտիմալ պայմանները՝ էքստրագենտը, ջրային ֆազի թթվությունը, ներկանյութի կոնցենտրացիան, բաշխման և կորզման աստիճանը, լևոմիցիտինի որոշվող կոնցենտրացիոն սահմանները:

Դուրս է բերվել մարման մոլային գործակցի միջին արժեքը ($\bar{\varepsilon}_{333} = 5,07 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$): Առաջացած իոնական ասոցիատում հաստատվել է լևոմիցիտինի անիոնի և ներկանյութի կատիոնի մոլային հարաբերակցությունը (1:1): Հաստատված օպտիմալ պայմաններում ուսումնասիրվել են լևոմիցիտինի էքստրակցիայի ընտրողականությունը և անտիբիոտիկների խանգարիչ ազդեցությունը:

**EXTRACTION-ABSORPTIOMETRIC DETERMINATION OF
LEVOMICYTINE BY PIRONINE «B»**

Summary

Interaction of levomicytine anion with okcin raw pironine «B» has been studied. Compound forming in the system is extracted by dichlorethane-carbon tetrachloride ($7+3\text{ml}$) binary mixture.

Maximal light absorbanse (extinction) for extracts forming compound as well as for «blind» extracts is observed at 535nm wavelength. At the optimal acidity conditions (pH 5,8 by HCl) levomicytine is extracted almost quantitatively ($R=95\%$) to the organic solvent phase by means of single extraction during 1 minutes shaking. The range of determined concentration of levomicytine is $12,5-175\text{mkg}/10\text{ml}$. The molar coefficient of extinction is $\bar{\epsilon}_{535} = 5,07 \cdot 10^4 \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

The method was used for determination of small amounts of levomicytine.

Химия

УДК 543.4+546.723+549.6+543.3

Ж. М. АРСТАМЯН

ЭКСТРАКЦИОННО-АБСОРБЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ЖЕЛЕЗА ФУКСИНОМ В ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОДАХ

Изучено взаимодействие железа(III) с основным красителем трифенилметанового ряда – фуксином. Образующийся ионный ассоциат извлекается дихлорэтаном однократной экстракцией ($R=0,965$) из 6,0–7,0N солянокислых растворов. Подчиняемость основному закону фотометрии наблюдается в интервале концентрации железа 0,25–6,0 мкг/мл, $\bar{\varepsilon} = 7,3 \cdot 10^4 \pm 400 (\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1})$.

Мольное отношение компонентов равно 1:1. Разработанная методика была применена для определения железа(III) в минеральной воде Джермук и промстоках гальванического производства.

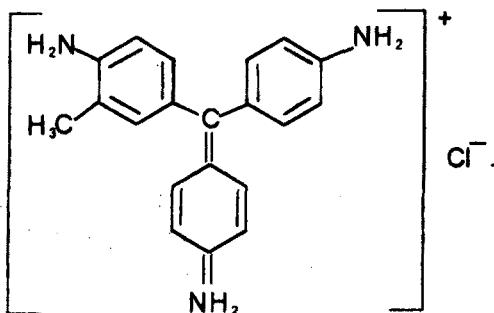
Железо – необходимый микроэлемент, играющий важную физиологическую роль в жизнедеятельности человека. Однако при повышенных содержаниях оно токсично. Так, при потреблении железа $>200\text{mg}$ в день наступает гипатический сидероз [1]. Поэтому аналитический контроль за содержанием железа в объектах окружающей среды, в частности в водах, нужно проводить достаточно надежными методами. Приведенные в литературе данные по этой проблеме немногочисленны. Сточная, природная и питьевая воды имеют сложный макроэлементный состав. Для определения железа в них часто применяют сульфосалициловую кислоту, фенантролин, роданид, 2,2'-дипиридил. Однако они недостаточно селективны [2].

В этих же целях в водах горных источников, в сточной и питьевой водах применяется экстракционно-спектрофотометрический метод с использованием пiperазиновых аддуктов дibenзоилметаната железа(II) ($\bar{\varepsilon} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) [3]. Метод твердофазной спектрофотометрии с мембранный фильтрацией применяется для определения железа в питьевой и поверхностных водах [4].

Ранее нами была показана возможность экстракционно-фотометрического определения микрограммовых количеств железа основными красителями различных рядов: трифенилметанового (ТФМ) [5, 6], тиазинового [7], родаминового [8] и др. Эти методы отличаются чувствительностью ($\bar{\varepsilon} = 8,0 \cdot 10^4 - 10 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) и избирательностью.

Настоящая работа посвящена изучению возможности применения красителя ТФМ-ряда – фуксина. В отличие от других ТФМ-красителей фуксин содержит несколько лиофильных $-NH_2$ -групп. Согласно литературным данным, такие красители проявляют малую экстракционную способность. С этой точки зрения исследование взаимодействия железа(III) с фуксином представляет большой интерес и никем еще не изучено.

Формула красителя такова:



Экспериментальная часть. Раствор железа(III) готовили растворением навески $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ в 6,0*N* HCl. Титр раствора устанавливали меркурометрическим методом [9]. Рабочие растворы получали разбавлением запасного раствора 6,0*N* HCl. Раствор красителя готовили растворением навески препарата ч.д.а. в воде. Оптическую плотность (ОП) растворов измеряли на спектрофотометре СФ-16.

В качестве экстрагентов испытаны ароматические углеводороды, их хлорпроизводные, сложные эфиры уксусной кислоты.

Максимальное значение ОП ионного ассоциата (ИА) наблюдается при применении дихлорэтана.* При этом ОП «холостого опыта» незначительна ($A=0,01$), поэтому далее в качестве раствора сравнения использовался дихлорэтан. Следует отметить также, что все другие растворители оказались непригодными как для извлечения ИА, так и для «холостого опыта». Хлоридный ионный комплекс железа(III) ($FeCl_4^-$) практически полностью извлекается из 6,0–7,0*N* растворов соляной кислоты однократной экстракцией. Максимум светопоглощения наблюдается при длине волны 535–540 nm. Оптимальная концентрация реагента–красителя составляет $7,4 \cdot 10^{-4}$ – $1,04 \cdot 10^{-3}$ M. Методом повторной экстракции определен фактор извлечения: $R=0,965$. Экстракционное равновесие создается за 0,5 мин. ОП экстрактов ИА сохраняется постоянной в течение 1,5 часов. Подчиняемость основному закону фотометрии наблюдается в интервале концентраций Fe 0,25–6,0 мкг/мл. На основании данных калибровочного графика рассчитан средний молярный коэффициент погашения: $\bar{\epsilon} = 7,3 \cdot 10^4 \pm 400 (l \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1})$. Методами прямой линии Асмусса и сдвига равновесия определено соотношение катиона красителя к $FeCl_4^-$ в ИА, равное 1:1. Состав ИА можно представить так: $[кр.]^+[FeCl_4^-]$. Изучено влияние ряда элементов, сопутствующих железу в водах. Определению 2,0 мкг железа не мешают: $5,1 \cdot 10^4$ -кратные количества

* При необходимости следует провести дополнительную очистку перегонкой.

Ca, Mg, $3,0 \cdot 10^4$ -кратные Al, Zn, $6,16 \cdot 10^3$ -кратные Ni, Mn, Cu, $1,9 \cdot 10^3$ -кратные – Cd. Мешают: хром, кобальт.

На основании установленных нами оптимальных условий экстракции разработанная методика применена для определения железа в минеральной воде Джермук и промстоках гальванического производства.

Определение железа в Джермуке. Пробу воды (25мл) выпаривают в фарфоровой чашке до влажных солей. Остаток растворяют в 6,0N HCl и в 25мл мерной колбе доливают до метки 6,0N HCl.

В делительной воронке к аликовитной части раствора (2,0мл) приливают 2,0мл 6,0N HCl, 0,5мл 0,05%-го раствора фуксина, 5,0мл дихлорэтана. Встряхивают 1мин, отделяют органическую фазу и измеряют ОП при длине волны 537нм, $\nu=0,1\text{см}$. Результаты приведены в таблице.

*Определение железа в промстоках.** Пробу воды (25мл) выпаривают в фарфоровой чашке до влажных солей. Остаток растворяют в 6,0N HCl. При наличии муты раствор фильтрованием переносят в мерную колбу емкостью 25мл, доливают до метки 6,0N HCl. В делительной воронке к аликовитной части раствора (2мл) приливают 2мл 6,0N HCl и проводят определение железа по вышеописанной методике. Результаты приведены в таблице.

Результаты анализа. Проверка методом добавок ($P=0,95$, $n=6$, $t_\alpha=2,78$)

Объект	Железо, мкг		ΔC_x	$S_x \cdot 10^{-2}$	$\Delta C_x \pm t_\alpha \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$
	введено	найдено			
Джермук, скважина № 2164	–	8,85	10,10 10,35	1,78 2,03	$10,10 \pm 0,19$ $10,35 \pm 0,22$
	10	18,95			
	10	19,20			
Промстоки	–	14,50	10,45 9,85	2,20 1,83	$10,45 \pm 0,24$ $9,85 \pm 0,20$
	10	24,95			
	10	24,35			

Таким образом, вопреки литературным данным, нам удалось осуществить количественное извлечение ионного ассоциата железа(III) с фуксином (содержащим лиофильные группы $-NH_2$) более высокополярным растворителем – дихлорэтаном.

Однако данный метод менее чувствителен, чем методы определения железа с другими трифенилметановыми красителями.

Кафедра аналитической химии

Поступила 23.02.2005

ЛИТЕРАТУРА

- Методы анализа пищевых продуктов (под ред. Ю.А. Клячко). М.: Наука, 1988, с. 146.
- Резников А.А., Мулниковская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Госгеотехиздат, 1963, с. 125.
- Алексеевский В.А. – ЖАХ, 1988, т. 43, № 3, с. 115.

* После очистки сточных вод от тяжелых металлов проводится контроль оставшегося железа(III).

4. Пилипенко А.Т., Терлецкая А.В., Богословская Т.А. – Там же, 1990, т. 45, № 8, с. 1624.
5. Арстамян Ж.М. – Ученые записки ЕГУ, 1982, № 1, с. 115.
6. Арстамян Ж.М. – Там же, 1983, № 1, с. 99.
7. Арстамян Ж.М. – Хим. ж. Армении, 1996, т. 49, № 3, с. 105.
8. Арстамян Ж.М. – Ученые записки ЕГУ, 1991, № 1, с. 81.
9. Тараян В.М. Меркуоредуктометрия. Еր.: Изд-во ЕГУ, 1980, с. 49.

Ժ. Մ. ԱՌՍՏԱՄՅԱՆ

ԵՐԿԱԹԻ ԷՔՍՏՐԱԿՑԻՈՆ-ԱԲՍՈՐԲՑԻՈՆԵՏՐԻԿ ՈՐՈՇՈՒՄ ՖՈՒՇԽԻՆՈՎ ԲՆԱԿԱՆ ԶՐԵՐՈՒՄ ԵՎ ԹԱՓՈՆԱԶՐԵՐՈՒՄ

Ամփոփում

Հետազոտված է երկաթ(III)-ի քլորիդային անիոնային կոմպլեքսի փոխազդեցությունը տրիֆենիլմեթանային շարքի ներկանյութ ֆուրսինի հետ: Առաջացած իննական ասոցիատը միանվագ լուծահանվում է դիքլորեթանով ($R=0,965$), $6,0\text{--}7,0N$ աղաբբվային միջավայրում: Լուսակլանման հիմնական օրենքին ենթարկվում է երկաթի $0,25\text{--}6,0 \mu\text{g}/\text{ml}$ քանակների դեպքում, $\bar{\varepsilon}=7,3\cdot10^4 \pm 400 (l\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$: Ասմուսի և հավասարակշռության տեղաշարժի մեթոդով որոշվել է բաղադրիչների ոլոյային հարաբերությունը իննական ասոցիատում: Այն կազմում է $1:1$: Ուսումնասիրվել է երկաթին ուղեկցող տարրերի խանգարիչ ազդեցությունը:

Մշակված մեթոդը կիրառվել է Չերմուկ հանքային ջրում և թափոնազրերում երկար որոշելու համար:

Zh. M. ARSTAMYAN

EXTRACTION-ABSORPTIOMETRIC DETERMINATION OF IRON BY FUCHSINE IN NATURAL AND WASTE WATERS

Summary

An interaction of iron(III) chloride anionic complex with threephenylmethane basic dye-fuchsine has been studied. The colored ionic associate could be extracted by dichlorethane ($R=0,965$) in $6,0\text{--}7,0N$ hydrochloric acid solutions. The extracts of ionic associate are submitted to be main law of spectrophotometer in the $0,25\text{--}6,0 \mu\text{g}/\text{ml}$ range of iron(III) contents, $\bar{\varepsilon}=7,3\cdot10^4 \pm 400 (l\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1})$. The molar ratio between iron(III) chloride complex and fuchsine in ionic associate has been determined by method of Asmuse, which (1:1). The influence of interfering elements on the determination of iron has been studied.

Method elaborated has been applied for determination of iron in mineral water «Jermuk» and waste waters .

Химия

УДК 547.294.314.07

Л. Л. МАНАСЯН

**СИНТЕЗ НОВОГО МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИРАЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА ИОНА Ni(II) С ОСНОВАНИЕМ ШИФФА
ДЕГИДРОАМИНОМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ**

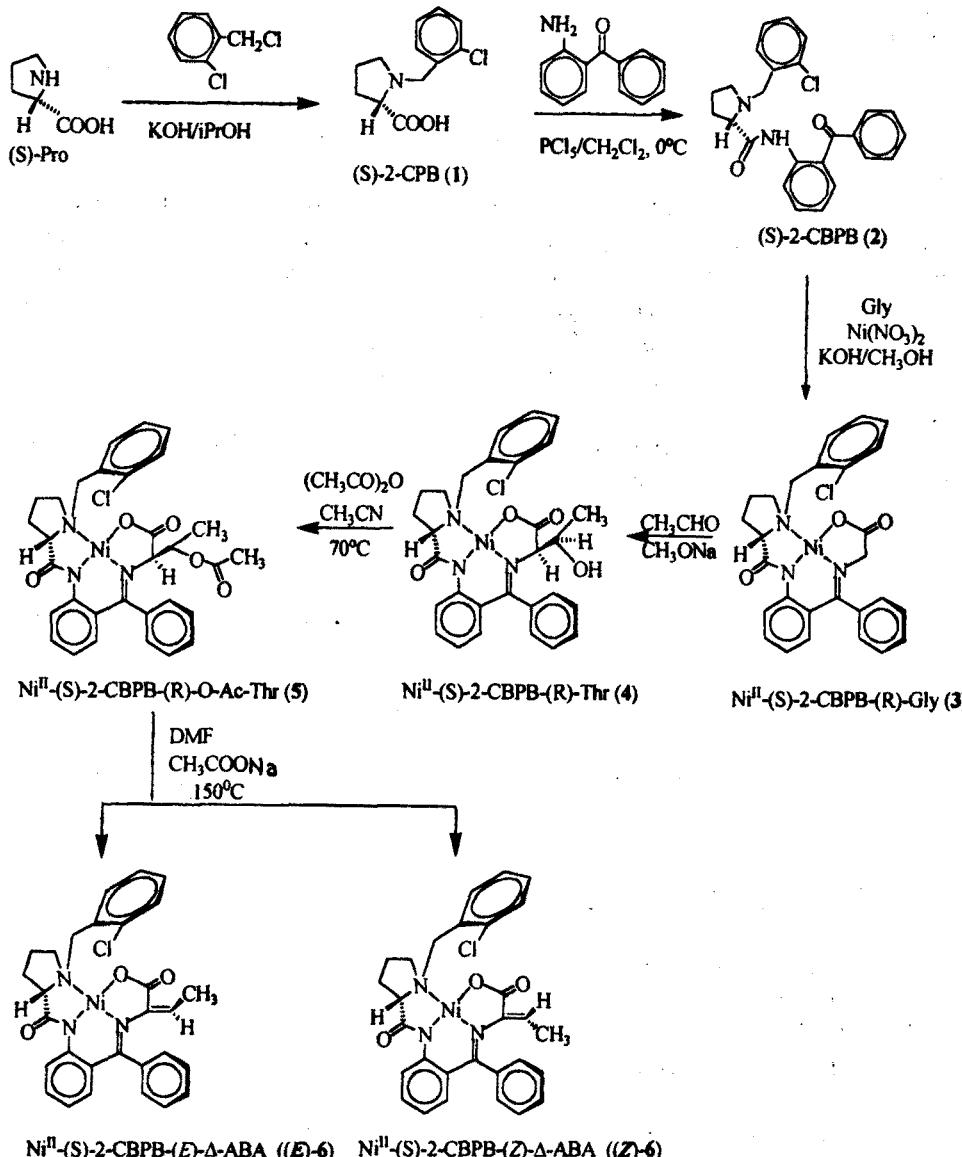
Разработан метод синтеза нового модифицированного хирального комплекса иона Ni(II) с основанием Шиффа (*E*- и (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты и хиральным вспомогательным реагентом (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-(2-хлорбензил)пирролидин-2-карбоксамидом.

В природе синтез многих α -аминокислот (триптофана, треонина, цистеина и т.д.) под действием пиридоксалъ-зависимых ферментов происходит через промежуточное образование на активном центре ферментов прочной системы шиффового основания дегидроаминокислот, обладающих электрофильной C=C связью [1, 2].

В качестве биомиметических систем для изучения некоторых аспектов действия пиридоксалевых ферментов ранее были синтезированы и исследованы хиральные октаэдрические комплексы иона Co(III) и плоско-квадратные комплексы иона Ni(II) с основанием Шиффа дегидроаминомасляной кислоты [3–6]. На примере нуклеофильного присоединения к C=C связи дегидроаминомасляной кислоты в ее хиральном комплексе Ni(II) с основанием Шиффа и хиральным вспомогательным реагентом (*S*)-2-N-(*N'*-бензилпролил)аминобензофеноном была показана возможность высокоселективного асимметрического синтеза β -замещенных производных α -аминомасляной кислоты *L-allo* абсолютной конфигурации [6].

Настоящая работа посвящена синтезу нового модифицированного хирального вспомогательного реагента (*S*)-N-(2-бензоилфенил)-1-(2-хлорбензил)пирролидин-2-карбоксамида ((*S*)-2-CBPB) и комплексов Ni(II) с основанием Шиффа (*E*- и (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты. Синтез был осуществлен согласно ранее разработанным методикам для незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB и его аминокислотных и дегидроаминокислотных комплексов [6, 7] (см. схему). На первом этапе (*S*)-пролин алкилируют 2-хлорбензилхлоридом в среде изо-пропанола в присутствии KOH с образованием (*S*)-N-(2-хлорбензил)пролина ((*S*)-2-CBP, 1) с выходом 95%. Конден-

сацией **1** с 2-аминобензофеноном в среде CH_2Cl_2 при температуре 0°C был синтезирован новый модифицированный хиральный реагент (*S*)-N-(2-бензилфенил)-1-(2-хлорбензил)пирролидин-2-карбоксамид ((*S*)-2-CBPB, **2**) с выходом 72%. Синтезированный модифицированный хиральный реагент **2** легко вступает в реакцию комплексообразования с глицином и ионом Ni^{2+} в среде $\text{CH}_3\text{OH}/\text{KOH}$ при нагревании до $50\text{--}60^\circ\text{C}$. При этом выход полученного комплекса $\text{Ni}^{II}\text{-}(\text{S})\text{-}2\text{-CBPB-Gly}$ (**3**) составляет 85%.



Альдольная конденсация комплекса **3** с ацетальдегидом в среде CH_3ONa приводит к стереоселективному образованию соответствующего комплекса (*R*)-треонина: $\text{Ni}^{II}\text{-}(\text{S})\text{-2-CBPB-(R)-Thr (4)}$ (*d.e.*>97%). Химический

выход комплекса **4** составляет 65%. Как было показано ранее на примере комплексов β -замещенных α -аминокислот на основе незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB, в среде сильного основания происходит ионизация β -гидроксильной группы аминокислотного остатка и ее перекоординация с ионом Ni^{2+} , что индуцирует предпочтительное образование (*R*)-*treo*-формы треонинового остатка [6, 8]. Относительно высокая диастереоселективность синтеза (*R*)-тройнина в случае альдольной конденсации комплекса глицина с модифицированным хиральным реагентом (*S*)-2-CBPB по сравнению с комплексом на основе незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB, по-видимому, обусловлена увеличением стерического несвязывающего взаимодействия между 2-хлорзамещенным фенильным кольцом бензилпролинового и боковым радикалом треонинового остатков в перекоординированном комплексе (*S*)-абсолютной конфигурации, что сильно дестабилизирует этот диастереоизомер.

По аналогии с синтезом комплексов β -окси- α -аминокислот на основе незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB в данном случае также перед дегидратацией треонинового остатка его гидроксильная группа была заменена легко уходящей ацетокси группой действием уксусного ангидрида в среде CH_3CN при 70^0C . В среде ДМФА в присутствии CH_3COONa при нагревании до 150^0C легко происходит α , β -элиминирование остатка уксусной кислоты из ацетилированного комплекса Ni^{II} -(*S*)-2-CBPB-(*R*)-O-Ac-Thr (**5**). При этом образуются хиральные комплексы иона Ni^{2+} с основанием Шиффа (*S*)-2-CBPB (*E*)- и (*Z*)-дегидроаминомасляных кислот: Ni^{II} -(*S*)-2-CBPB-(*E*)- Δ -ABA ((*E*)-**6**) и Ni^{II} -(*S*)-2-CBPB-(*Z*)- Δ -ABA ((*Z*)-**6**).

Химические выходы и соотношение (*E*)- и (*Z*)-изомеров комплексов дегидроаминомасляной кислоты определены методом 1H ЯМР по соотношению интегралов сигналов группы CH_3 дегидроаминомасляного фрагмента. Данные приведены в таблице.

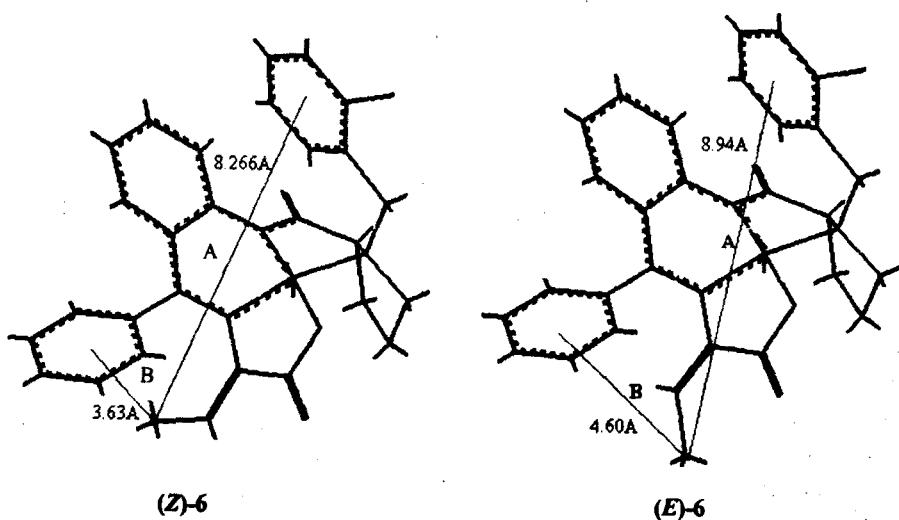
*Соотношение (*E*)- и (*Z*)-изомеров и химические выходы комплексов дегидроаминомасляной кислоты*

Комплекс	(<i>E</i>)/(<i>Z</i>)	Суммарный химический выход (%) (<i>E</i>)- и (<i>Z</i>)-изомеров
Ni^{II} -(<i>S</i>)-BPB- Δ -ABA	5/1	30
Ni^{II} -(<i>S</i>)-2-CBPB- Δ -ABA (6)	2/1	69

Для сравнения в таблице приведены также данные, полученные ранее при использовании комплексов на основе незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB. Как видно, при переходе от (*S*)-BPB к (*S*)-2-CBPB происходит уменьшение соотношения комплексов (*E*)- и (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты.

Расчеты по программе молекулярной механики (MM2) показали, что разница между расстояниями фенильного кольца N-бензилпролинового и β -метильного заместителя дегидроаминокислотного остатков (**A**) в комплексах (*E*)- и (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты уменьшается при переходе от комплексов с незамещенными хиральным реагентом Ni^{II} -(*S*)-BPB- Δ -ABA

к комплексам на основе модифицированного хирального реагента (*S*)-2-CB₂PB₂ ((*E*)-6 и (*Z*)-6). Расстояние A для (*E*)-6 и (*Z*)-6 составляет соответственно 8,94 Å и 8,266 Å, а для Ni^{II}-(*S*)-BPB-(*E*)-Δ-ABA и Ni^{II}-(*S*)-BPB-(*Z*)-Δ-ABA – 9,01 Å и 8,32 Å. Уменьшена также разница между расстояниями фенильной группы аминобензофенонового и β-метильной группы дегидроаминомасляного остатков (B) в комплексах (*E*)- и (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты; расстояние B составляет 4,60 Å и 3,63 Å для комплексов (*E*)-6 и (*Z*)-6 соответственно и 4,59 Å и 3,62 Å для Ni^{II}-(*S*)-BPB-(*E*)-Δ-ABA и Ni^{II}-(*S*)-BPB-(*Z*)-Δ-ABA. Приведенные данные свидетельствуют о том, что из-за существующих стерических несвязывающих взаимодействий уменьшается относительная стабильность комплекса (*E*)- по сравнению с комплексом (*Z*)-дегидроаминомасляной кислоты при переходе от незамещенного хирального реагента (*S*)-BPB к модифицированному хиральному реагенту (*S*)-2-CB₂PB₂.



Структуры комплексов *(Z)*-6 и *(E)*-6 на основании расчетов по MM2.

За ходом реакции α , β -элиминирования остатка уксусной кислоты из комплекса **5** следили методом ТСХ (SiO_2 , $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5/\text{CHCl}_3$ (3:1)), а также ^1H ЯМР по исчезновению сигнала метильных протонов ацетокси группы в интервале 1,7–1,9 м.д. Следует отметить, что по данным ^1H ЯМР в ходе α , β -элиминирования уксусной кислоты из комплекса О-ацетилтреонина **5** в качестве побочного продукта образуется комплекс винилглицина (до 20%). (*E*)-**6** и (*Z*)-**6** были хроматографированы (SiO_2 , $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5/\text{CHCl}_3$ (3:1)).

Все синтезированные хиральные комплексы и их предшественники были выделены и охарактеризованы физико-химическими методами (^1H ЯМР, элементный анализ, поляриметрические измерения).

Экспериментальная часть. В работе использовались аминокислоты производства фирмы Reanal (Будапешт), силикагель L-40/100 – Chemapol

Praha (Прага), CHCl₃, (CH₃CO)₂O, CH₃COOH, (CH₃)₂CO, CH₃CN, i-PrOH – Реахим. Все использованные растворители были свежеперегнанными. Спектры ¹H ЯМР измерены на приборе Mercury-300 Varian, оптическое вращение [α]_D²⁰ измерено на поляриметре Perkin Elmer-341.

Синтез (S)-2-CBP (1). К раствору 10,2г (90ммоль) (S)-пролина в 40мл i-PrOH добавляли 15,2г (270ммоль) KOH и перемешивали при 40–50°C до полного растворения компонентов. Затем по каплям добавляли 13,7мл (108ммоль) 2-хлорбензилхлорида. Перемешивание продолжали еще 15 часов при комнатной температуре. Реакционную смесь нейтрализовали 6N HCl до pH 6–7, добавляли 25мл CHCl₃ и оставляли на ночь. Выпавший осадок отфильтровывали и промывали CHCl₃. Фильтрат упаривали досуха, остаток обрабатывали ацетоном. Выпавший осадок отфильтровывали, сушили на воздухе.

(S)-2-CBP (1): Выход 20,4г (85ммоль), 95%. T_m=160°C, [α]_D²⁰=-21,0°; [α]₅₇₈²⁰=-22,1°; [α]₅₄₆²⁰=-24,9°; [α]₄₃₆²⁰=-40,5°; [α]₃₆₅²⁰=-60,4° (с 1,0, EtOH). Найдено, %: C 60,35; H 5,56; N 5,92. C₁₂H₁₄O₂NCl. Вычислено, %: C 60,12; H 5,85; N 5,85. Спектр ¹H ЯМР (DMSO, δ, м.д., J/Гц): 1,92–2,11 м (3Н, β-H, γ-H Pro); 2,30 м (1Н, β-H Pro); 2,92 м (1Н, δ-H Pro); 3,25 м (1Н, δ-H Pro); 3,89 м (1Н, α-H Pro); 4,20, 4,42 AB (2Н, NCH₂Ar, J_{AB}=12,6); 7,25–7,81 м (4Н, Ar).

Синтез (S)-2-CBPB (2). К раствору 7,91г (33ммоль) 1 в 15мл CH₂Cl₂ при 0°C добавляли 6,9г (33ммоль) PCl₅. После 15мин перемешивания к реакционной смеси добавляли суспензию 6,51г (33ммоль) 2-аминобензофенона в CH₂Cl₂ при 0°C. Смесь перемешивали дополнительно 15ч при комнатной температуре. За ходом реакции следили методом TCX (SiO₂, C₆H₆/(C₂H₅)₂O (1:1)). Реакционную смесь упаривали, остаток обрабатывали 5мл 12N HCl, разбавляли 15мл H₂O и выпавшие кристаллы гидрохлорида хирального вспомогательного реагента отфильтровывали и сушили под вакуумом.

(S)-2-CBPB×HCl (2): Выход 9,95г (23ммоль), 72%. T_m=203–205°C, [α]_D²⁰=-40,17° (с 1,0, MeOH). Найдено, %: C 65,91; H 3,15; N 6,14. C₂₅H₂₃O₂N₂Cl×HCl. Вычислено, %: C 65,93; H 3,07; N 6,15. Спектры ¹H ЯМР (DMSO, δ, м.д., J/Гц): 1,61 м (1Н, β-H Pro); 1,80 м (1Н, γ-H Pro); 2,04 м (1Н, γ-H Pro); 2,48 м (1Н, β-H Pro); 3,38–3,60 м (3Н, δ-H, α-H Pro); 4,20, 4,41 AB (2Н Pro; NCH₂Ar, J_{AB}=12,7); 7,20–7,83 м (13Н, Ar).

Синтез комплекса 3. К раствору 4,18г (10ммоль) 2-CBPB×HCl, 1,5г (20ммоль) глицина и 5,82г (20ммоль) Ni(NO₃)₂×6H₂O в 15мл CH₃OH добавляли раствор 4,48г (80ммоль) KOH в 10мл MeOH. Перемешивали при 58–64°C в течение 1 часа. За ходом реакции следили методом TCX (SiO₂, CHCl₃/(CH₃)₂CO (1:1)). После окончания реакции (~1ч) реакционную смесь нейтрализовали CH₃COOH до pH 5–6 и разбавляли водой (20мл). Выпавший осадок отфильтровывали и сушили под вакуумом.

Ni^{II}-(S)-2-CBPB-Gly (3): Выход 4,52г (8,5ммоль), 85%. T_m=186–188°C, [α]_D²⁵=+2364° (с 0,05, CHCl₃). Найдено, %: C 60,85; H 4,58; N 7,88. C₂₇H₂₄O₃N₃ClNi. Вычислено, %: C 60,88; H 4,54; N 7,89. Спектры ¹H ЯМР (DMSO, δ, м.д., J/Гц): 2,14 м (2Н, β-H, γ-H Pro); 2,54 м (1Н, γ-H Pro); 2,77 м (1Н, β-H Pro); 3,43, 3,53 м (2Н, δ-H Pro); 3,64 м (1Н, α-H Pro); 3,66, 3,78 AB

(2H, CH₂-Gly, $J_{AB}=20,2$); 4,05, 4,56 AB (2H, N-CH₂-Ar, $J_{AB}=12,94$); 6,65–8,36 м (13H, Ar).

Конденсация комплекса 3 с ацетальдегидом. К раствору 4,6г (8,64ммоль) комплекса 3 в 13,8мл 0,6N CH₃ONa в атмосфере аргона при перемешивании добавляли 7,36мл 40%-го водного раствора CH₃COH. Реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре в течение 2,5ч. За ходом реакции следили методом TCX (SiO₂, CHCl₃/(CH₃)₂CO (3:1)). После окончания реакции реакционную смесь нейтрализовали CH₃COOH до pH 5–6, добавляли 30мл CHCl₃, промывали водой, органический слой упаривали досуха. Полученный комплекс (*R*)-треонина (4) кристаллизовали из смеси гептан–ацетон–метанол (1:1:1). Диастереоселективность реакции альдольной конденсации определялась ¹H ЯМР-анализом диастереомерной смеси комплекса 4 (до кристаллизации).

Ni^{II}-(S)-2-CBPB-(R)-Thr (4): Выход 3,23г (5,6ммоль), 65%. Т_{пл}=89–91°С, [α]_D²⁵=-679,3° (с 0,05, CHCl₃). Найдено, %: С 60,9; Н 4,78; N 7,21. C₂₉H₂₈O₄N₃CINi. Вычислено, %: С 60,4; Н 4,85; N 7,28. Спектры ¹H ЯМР (DMSO/CCl₄ 1:3, δ, м.д., J/Гц): 1,11 д (3H, CH₃, J=6,8); 1,93 м (1H, β-H Pro); 2,08–2,2 м (2H, β-H, γ-H Pro); 2,22 м (1H, γ-H Pro); 2,73 м (1H, δ-H Pro); 3,42 д (1H, NCH, J=7,2); 3,50 м (1H, δ-H Pro); 4,05, 4,62 AB (1H, NCH₂Ar, $J_{AB}=13,0$); 4,10 м (1H, CH-CH₃); 4,18 м (1H, α-H Pro); 6,64–8,52 м (13H, Ar).

O-ацетилирование комплекса 4. К раствору 2,73г (4,73ммоль) комплекса 4 в 4,6мл CH₃CN в атмосфере аргона при перемешивании добавляли 8,2мл (CH₃CO)₂O. Смесь перемешивали при температуре 70°С в течение 2,5ч. За ходом реакции следили методом TCX (SiO₂, CHCl₃/(CH₃)₂CO (3:1)). Затем реакционную смесь упаривали досуха, остаток растворяли в CHCl₃ и последовательно промывали растворами 0,2N HCl, 0,3M Na₂CO₃ и H₂O. Органический слой упаривали досуха и использовали для последующей стадии. Часть ацетилированного комплекса (~0,2г) дополнительно хроматографировали (SiO₂, CHCl₃/(CH₃)₂CO (3:1)) и исследовали его структуру.

Ni^{II}-(S)-2-CBPB-(R)-O-AcThr (5): Выход 2,78г (4,5ммоль), 95%. Т_{пл}=120–122°С, [α]_D²⁵=-448,1° (с 0,05, CHCl₃). Найдено, %: С 61,1; Н 4,78; N 6,68. C₃₁H₃₀O₅N₃CINi. Вычислено, %: С 60,17; Н 4,85; N 6,79. Спектры ¹H ЯМР (DMSO/CCl₄ 1:3, δ, м.д., J/Гц): 1,35 д (3H, β-CH₃, J=6,2); 1,63 м (1H, β-H Pro); 1,79 с (3H, COCH₃); 1,94 м (1H, γ-H Pro); 2,15 м (1H, β-H Pro); 2,54 м (1H, γ-H Pro); 2,68 м (1H, δ-H Pro); 3,49 м (1H, α-H Pro); 3,61 д (1H, NCH, J=6,6); 4,03 м (1H, δ-H Pro); 4,20, 4,82 AB (2H, N-CH₂-Ph, $J_{AB}=13,2$); 5,33 м (1H, β-H); 6,24–8,51 м (13H, Ar).

Синтез комплексов (E)-6 и (Z)-6. К раствору 1,38г (2,23ммоль) комплекса 5 в 4,6мл ДМФА в атмосфере аргона при перемешивании добавляли 1,15г (14ммоль) CH₃COONa. Реакционную смесь перемешивали при температуре 138–150°С в течение 2,5ч. За ходом реакции следили методом TCX (SiO₂, CH₃COOC₂H₅/CHCl₃ (3:1)). После окончания реакции смесь разбавляли 30мл воды, выпавший осадок отфильтровывали. Продукт образуется в виде (E)- и (Z)-изомеров комплекса дегидроаминомасляной кислоты. (E)-6 и (Z)-6 хроматографировали на SiO₂ (CH₃COOC₂H₅/CHCl₃

(3:1)) и исследовали их структуры. Суммарный выход комплексов (*E*)-6 и (*Z*)-6 составляет 0,86г (1,54ммоль), 69%.

Ni^{II}-(S)-2-CBPB-(E)-Δ-ABA ((E)-6): T_m=218–220°C, [α]_D²⁵=+3031,8° (c 0,022, CHCl₃). Найдено, %: C 63,12; H 4,75; N 7,45. C₂₉H₂₆O₃N₃ClNi. Вычислено, %: C 62,34; H 4,65; N 7,52. Спектры ¹H ЯМР (DMSO/CCl₄ 1:3, δ, м.д., J/Гц): 1,62 д (3H, CH₃, J=7,4); 2,14–2,31 м (2H, β-H, γ-H Pro); 2,60 м (1H, γ-H Pro); 2,78 м (1H, β-H Pro); 3,28 м (1H, δ-H Pro); 3,55 м (1H, α-H Pro); 3,67 и (1H, δ-H Pro); 3,78, 4,22 AB (2H, NCH₂Ar, J_{AB}=12,6); 5,05 м (1H, β-H); 6,65–8,21 м (13H, Ar).

Ni^{II}-(S)-2-CBPB-(Z)-Δ-ABA ((Z)-6): T_m=243–244°C, [α]_D²⁵= +2645,0° (c 0,02, CHCl₃). Найдено, %: C 62,68; H 4,75; N 7,58. C₂₉H₂₆O₃N₃ClNi. Вычислено, %: C 62,34; H 4,65; N 7,52. Спектры ¹H ЯМР (DMSO/CCl₄ 1:3, δ, м.д., J/Гц): 0,87 д (3H, CH₃, J=7,4); 2,14–2,34 м (2H, β-H, γ-H Pro); 2,62 м (1H, γ-H Pro); 2,82 м (1H, β-H Pro); 3,28 м (1H, δ-H Pro); 3,53 м (1H, α-H Pro); 3,70 м (1H, δ-H Pro); 3,78, 4,09 AB (2H, NCH₂Ar, J_{AB}=12,6); 5,58 м (1H, β-H); 6,78–8,24 м (13H, Ar).

Кафедра фармацевтической химии

Поступила 02.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Wulff G., Bohnke H. – Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 1986, v. 25, p. 90.
2. Davis L., Metzler D.E. – The Enzymes. Ed. Boyer P.D. New York: Acad. Press, 3rd Ed., 1972, v. 7, p. 33.
3. Belokon' Yu.N., Melikyan A.S., Saveleva T.F., Bakhmutov V.I., Vitt S.V., Belikov V.M. – Tetrahedron, 1980, v. 36, № 16, p. 2327.
4. Белоконь Ю.Н., Сагян А.С., Сапоровская М.Б., Беликов В.М. – Биоорганическая химия, 1985, т. 11, № 2, с. 161.
5. Belokon' Yu. N., Saghiyan A.S., Ponomarenko L.N., Bakhmutov V.I., Belikov V.M. – J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2, 1985, p. 21.
6. Belokon' Yu.N., Saghyan A.S., Djambaryan S.M., Bakhmutov V.I., Vitt S.V., Batsanov A.S., Struchkov Yu.T., Belikov V.M. – J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1990, p. 2301.
7. Belokon' Yu.N., Tararov V.I., Maleev V.I., Saveleva T.F., Ryzhov M.G. – Tetrahedron Asymmetry, 1998, v. 9, № 23, p. 4249.
8. Belokon' Yu.N., Bulychev A.G., Vitt S.V., Struchkov Yu.T., Batsanov A.S., Timofeeva T.V., Tsyurpkin V.A., Ryzhov M.G., Lysova L.A., Bakhmutov V.I., Belikov V.M. – J. Am. Chem. Soc., 1985, v. 107, p. 4252.

Լ. Լ. ՄԱՆԱՍՅԱՆ

Դեղիդրոստիւսկարգվթթվի Շիքի Հիմքի ՀԵՏ Ni(II) ԻՈՆԻ
ԱՌԱՋՐԱԾ ՆՈՐ ՄՈԴԻՖԻԿԱՑՎԱԾ ՔԻՐԱԼԱՅԻՆ ԿՈՄՊԼԵԽՆԵՐԻ
ՍԻՆԹԵԶԸ

Ամփոփում

Մշակվել է նոր մոդիֆիկացված (*S*)-N-(2-բենզոիլֆենիլ)-1-(2-բլորբեն-
օֆիլայրոլիդին-2-կարբօքամիդ ((*S*)-2-CBPB) քիրալային ռեագենտի և նրա

ու դեկտրոամինակարազաքքվի Շիֆի հիմքի հետ Ni(II) իոնի առաջացրած հարթ քառակուսային կոմպլեքսի սիմետրի մերոդ: Կոմպլեքսը առաջանում է (*E*)- և (*Z*)-իզոմերների տեսքով, որոնք առանձնացվել և հետազոտվել են ֆիզիկաքիմիական անալիզի մեթոդներով:

L. L. MANASYAN

SYNTHESIS OF NEW MODIFIED CHIRAL NI(II) COMPLEXES OF SCHIFF'S BASE OF DEHYDROAMINOBUTYRIC ACIDS

S u m m a r y

An efficient method for synthesis of new modified chiral auxiliary (*S*)-N-(2-benzoylphenyl)-1-(2-chlorobenzyl)pyrrolidine-2-carboxamide ((*S*)-2-CBPB) and it's chiral Ni^{2+} complexes of Schiff's base of (*E*)- and (*Z*)-dehydroaminobutyric acids has been elaborated. The synthesized complexes were isolated and characterized by physicochemical methods of analysis.

Биология

УДК 591.1.05

А. М. КАРАПЕТЯН

**КОМБИНИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ И
ХОЛОДНЫХ УСЛОВИЙ НА МЕТАБОЛИЗМ И НАКОПЛЕНИЕ
СВОБОДНОГО ПРОЛИНА У ЖУКОВ И ЛИЧИНОК ФАСОЛЕВОЙ
ЗЕРНОВКИ *ACANTHOSCELIDES OBTECTUS SAY***

У облученных жуков фасолевой зерновки, которые 48 часов оставались в холодных условиях (-4°C), количество накапливавшегося свободного пролина увеличивается по сравнению с необлученными жуками, но остается на том же уровне, что и у облученных жуков, но находившихся 48 часов в термостате (28°C). Активность ферментов биосинтеза пролина под воздействием двойного стресса увеличивается в 4,5 раза. Активность ферментов катаболизма пролина у жуков фасолевой зерновки после облучения и в холодных условиях увеличивается приблизительно в 1,2 раза.

У личинок, вылупившихся из облученных яиц, активность ферментов биосинтеза и катаболизма пролина уменьшается в 2 раза.

Как известно, пролин у насекомых является энергетическим субстратом [1]. Их летательные мышцы богаты пролином, который окисляется в 130 раз интенсивнее других аминокислот [2]. Источниками синтеза пролина у различных насекомых могут служить разные аминокислоты. Так, у личинок синей мухи [3] и гусениц тутового шелкопряда [4] больше используется орнитин, а у личинок дрозофилы – глутамат.

Известно также, что ферменты биосинтеза и катаболизма пролина пространственно изолированы: ферменты биосинтеза локализованы в цитозоле, а ферменты катаболизма – в митохондриях. Биосинтез пролина из орнитина довольно подробно исследован на многочисленных объектах – от одноклеточных до млекопитающих [5–7]. Пролин-оксидаза найдена в бактериях, тканях животных и связана с мембранными митохондрий [8].

Исследования последних лет в нашей лаборатории показали, что во время солевого стресса в побегах гороха накапливается значительное количество свободного пролина, что является способом адаптации в этих условиях [9].

Настоящая работа посвящена изучению метаболизма пролина после воздействия двойного стресса (рентгеновское излучение и холодные условия) у жуков фасолевой зерновки, а также изучению влияния рентгеновских лучей на метаболизм пролина у личинок фасолевой зерновки.

Материал и методика. Объектом исследования служили жуки *Acanthoscelides obtectus Say*, откладывавшие яйца на бобах фасоли. Разви-

тие яиц при 28°C длится 7 дней. При указанной температуре и 75%-ой влажности воздуха созревание жуков заканчивается в течение 28–30 дней.

Гомогенизацию жуков проводили в стеклянном гомогенизаторе типа Поттера-Элведжема на K-Na-фосфатном буфере. Использовали 10%-й гомогенат.

Определение активности ферментов биосинтеза пролина проводили по описанному нами ранее методу [4], а активность ферментов катаболизма – по разработанному в нашей лаборатории методу [10]. Определение пролина проводилось химическим [6] и хроматографическим [11] методами.

Облучение жуков проводили на рентгеновской установке ИРИС-6, ($\lambda=0,78\cdot10^{-9}\text{ см}$, $U=25\text{kV}$, $I=15\text{mA}$, время экспозиции – 30мин).

Статистическая обработка данных проведена по Вознесенскому [12].

Результаты и обсуждение. После воздействия рентгеновских лучей одну часть облученных 4-дневных жуков в течение 48 часов держали в холодных условиях при температуре -4°C , а другую часть – 48 часов при температуре 28°C в термостате, что является оптимальным условием для жизнедеятельности этих жуков. В обоих случаях мы изучали количественное изменение накопившегося пролина. Полученные данные (табл. 1) доказывают, что пролину свойственна протекторная функция и его количество в экстремальных условиях увеличивается. Однако, как видно из табл. 1, у облученных жуков уровень свободного пролина в холодных и термических условиях не меняется, тогда как у необлученных жуков, находившихся в холода, накапливается больше свободного пролина, чем у жуков, которые были в нормальных условиях.

Таблица 1

Количество свободного пролина под воздействием двойного стресса у жуков фасолевой зерновки (мкмоль про на 1г ткани)

Жуки		Количество свободного пролина
необлученные	в термостате	$11,38\pm0,07$
	в холодильнике	$12,87\pm0,08$
облученные	в термостате	$15,76\pm0,09$
	в холодильнике	$15,76\pm0,09$

Надо также отметить, что облученные жуки при температуре -4°C теряли свое активное состояние, восстанавливая его при комнатной температуре, а необлученные жуки даже в этих условиях сохраняли свою обычную активность.

Чтобы установить причину накопления свободного пролина, мы также исследовали активность ферментов его биосинтеза и катаболизма, т.е. пытались понять, является ли накопление пролина результатом усиления его биосинтеза или же, наоборот, снижения активности ферментов окисления пролина. Данные этих исследований представлены в табл. 2.

Как видно из полученных данных, активность ферментов биосинтеза у облученных жуков фасолевой зерновки, которые 48 часов находились при -4°C , по сравнению с облученными жуками, находившимися в термостате (48 часов после облучения), увеличивается в 4,5 раза, а у необлученных – активность ферментов не меняется.

Активность ферментов катаболизма пролина у облученных жуков фасолевой зерновки в холодных условиях увеличивается почти в 1,2 раза по сравнению с нормальными условиями. У необлученных жуков активность этих ферментов также не подвергается изменению.

Таблица 2

Активность ферментов биосинтеза (OT и P5KP) и катаболизма (PO и P5KD) пролина под воздействием двойного стресса у жуков фасолевой зерновки

Жуки		Активность ферментов биосинтеза пролина, мкмоль про на 1г ткани	Активность ферментов катаболизма пролина, мкмоль глу на 1г ткани
необлученные	в термостате	3,21±0,17	13,57±0,43
	в холодильнике	3,86±0,18	13,4±0,42
облученные	в термостате	0,96±0,08	20,97±0,51
	в холодильнике	4,63±0,28	25,87±0,6

Обобщая полученные данные, можем предположить, что такое изменение активности ферментов метаболизма пролина у облученных жуков, находившихся при -4°C , обусловлено тем, что они из-за двойного стресса свободный пролин не расходовали, а накапливали как протектор. В дальнейших исследованиях нами было обнаружено, что облученные жуки теряют свою функцию воспроизведения в течение двух последующих дней, хотя сразу после облучения они могут размножаться.

В следующих сериях экспериментов мы изучали влияние рентгеновских лучей на ферменты биосинтеза и катаболизма пролина у личинок фасолевой зерновки. Данные этих исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3

Активность ферментов биосинтеза и катаболизма пролина у личинок фасолевой зерновки

Личинки	Активность ферментов биосинтеза пролина, мкмоль про на 1г ткани	Активность ферментов катаболизма пролина, мкмоль глу на 1г ткани
вылупившиеся из облученных яиц	4,87±0,25	2,05±0,05
вылупившиеся из необлученных яиц	7,72±0,75	4,11±0,09

Данные таблицы 3 показывают, что у личинок, которые вылупились из облученных яиц, активность ферментов биосинтеза и катаболизма пролина уменьшается почти в 2 раза, что свидетельствует о неблагоприятном влиянии рентгеновских лучей на эти ферменты.

Кафедра биохимии

Поступила 02.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Sactor B., Childress C. – Arch. Biochem. Biophys., 1967, № 120, p. 583.
2. Sactor B., Wormser-Shavit – Biol. Chem., 1960, № 241, p. 624.
3. Stewart G.R., Lee J.A. – Pi. Sci. Letters, 1974, № 3, p. 173.
4. Агаджанян А.Х., Давтян М.А. – Биолог. ж. Армении, 1974, т. 27, № 5, с. 19–23.
5. Гукасян Дж.Г., Агаджанян А.Х. – Там же, 1988, т. 41, № 4, с. 307–312.
6. Агаджанян А.Х., Заки А.М., Давтян М.А. – Там же, 1990, т. 43, № 6, с. 532.

7. Заробян Т.Я., Агаджанян А.Х., Давтян М.А. – Там же, 1976, т. 29, № 6, с. 28–34.
8. Jonson A.V., Streker H.J. – J. Biol. Chem., 1962, v. 237, p. 1876–1881.
9. Агаджанян А.Х., Молан Рад М.Б, Гукасян Дж.Г. – Биолог. ж. Армении, 1999, т. 3–4, № 52, с. 242.
10. Мартиросян М.С., Агаджанян А.Х. – Вестник МАНЭБ, 2001, № 6, с. 42.
11. Blumenkrantz N. – Chem. Biochem., 1980, № 13, p. 177.
12. Hrabetova E., Tupy L. – J. Chromatogr., 1960, № 3, p. 199.
13. Вознесенский В.Л. Первичная обработка экспериментальных данных. Л., 1969.

Հ. Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

**ՈԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ճԱԼԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԵՎ ՑԱՅՐ ԶԵՐՄԱՍԻԲԱՆԱՅԻՆ
ՊԱՅԱՍԱՆՆԵՐԻ ՀԱՍՏԵՂ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԱԶԱՏ ՊՐՈԼԻՆԻ
ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ԵՎ ՆՐԱ ՆՅՈՒԹԱՓՈԽԱՎԱԿՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԼՐԵՈՒ
ԸՆԴԱԿԵՐԻ ԲԶԵՋՆԵՐՈՒՄ**

Ամփոփում

Ազատ պրոլինի քանակությունը ճառագայթված և 48 ժամ սաղը պայմաններում (-4°C) պահված լրու ընդակերի բգեցներում ավելանում է չճառագայթված բգեցների պրոլինի համեմատությամբ, բայց մնում է նույն մակարդակի վրա, ինչ և ճառագայթված ու թերմոստատում (28°C) պահված լրու ընդակերի բգեցներինը:

Պրոլինի կենսասինթեզի ֆերմենտների ակտիվությունը ունտգենյան ճառագայթների և սաղը պայմանների համատեղ ազդեցությունից ավելանում է 4,5 անգամ միայն ճառագայթների ազդեցությանը ենթարկված բգեցների պրոլինի համեմատությամբ: Պրոլինօքսիդազ ֆերմենտի ակտիվությունը կրկնակի սորեսի պայմաններում ավելանում է 1,2 անգամ: Խսկ չճառագայթված բգեցների այդ ցուցանիշը համարյա չի փոխվում:

Ճառագայթված ձվերից դրւս եկած հասուն թրուրների պրոլինի կենսասինթեզի և կատարողականի ֆերմենտների ակտիվությունը նվազում է 2 անգամ:

H. M. KARAPETYAN

COMBINED INFLUENCE OF X-RAYS AND COLD CONDITIONS ON
HEEP AND METABOLISM PROLIN IN HARICOT BEETLES AND LARVAE
ACANTHOSCELIDES OBTECTUS SAY

Summary

The quantity of free prolin in radiated beetles which are kept for 48 hours in cold conditions increases in comparison with non-radiated beetles, but it remains on the same level as in the radiated beetles kept in warm conditions for 48 hours. The activity of the enzymes of prolin biosynthesis increases 4,5 times, because of the X-rays and cold conditions, in comparison with beetles only radiated, but it does not change in no-radiated beetles. The activity of the enzymes of prolin catabolism increases 1,2 times.

Ripe larvae are originated from the radiated eggs, the enzymes of prolin biosynthesis and catabolism fails 2 times.

Биология

УДК 612.821

Э. С. ГЕВОРКЯН, С. М. МИНАСЯН, Ц. И. АДАМЯН, Н. Н. КСАДЖИКЯН

ВЛИЯНИЕ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СТУДЕНТОВ

Изучена динамика психофизиологических и кардиогемодинамических показателей студентов под воздействием годовой учебной нагрузки. Показано, что периодами наивысшего напряжения физиологических систем организма студентов являются начало учебного года и экзаменационный период. В течение учебного года наблюдается некоторое снижение всех изученных показателей, обусловленное суммацией дневной, месячной и годовой умственных нагрузок.

В последние годы большое внимание уделяется изучению изменений, происходящих в организме учащихся под воздействием различных типов деятельности. Среди них особого внимания заслуживает умственный труд, разновидностью которого является учеба студентов. Последняя требует напряжения внимания, памяти, мышления, сопровождается эмоциональным напряжением и гиподинамией, поскольку связана с постоянным восприятием и переработкой новой информации, общением с широким кругом людей. Многочисленные исследования свидетельствуют, что продолжительный умственный труд нередко может стать причиной возникновения нарушений в нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой и других системах организма [1, 2]. В процессе повседневной учебной нагрузки эти изменения могут быть слабо выражены и выявлены лишь в экстремальных ситуациях, при повышенном эмоциональном напряжении во время сессионных экзаменов [3–6]. Однако в период обучения студенты постоянно испытывают на себе также воздействие многочисленных микрострессов, к числу которых, в первую очередь, относится «стресс ограниченного времени», в немалой степени обусловленный инновацией системы высшего образования и периодическими промежуточными экзаменами по большинству изучаемых предметов. В связи с этим в данной серии исследований нами изучено изменение психофизиологических и кардиогемодинамических показателей студентов в динамике всего учебного года (с сентября по март).

Методика исследований. Обследовалось 26 студенток IV курса биологического факультета в возрасте 20–21 года. Оценка процессов, разви-

вающихся в сердечно-сосудистой системе, проводилась по показателям центральной кардиогемодинамики: частоте сердечных сокращений (ЧСС), артериальному давлению (АД), систолическому и минутному объемам крови (СО и МОК). Составляющие АД – систолическое и диастолическое артериальные давления (АДс, АДд) измерялись манжетным методом Короткова. По специальным формулам рассчитывались пульсовое и среднединамическое давления (ПД, СДД). СО и МОК вычислялись по формуле Старра. Рассчитывалась также частота дыхания (ЧД). На основании изменений ЧД и ЧСС высчитывался индекс межсистемных взаимоотношений Хильдебранта (Q), который отражает уровень кардиореспираторных взаимоотношений в организме. В норме он составляет 2,8–4,9 единиц. Сдвиги в ту или иную сторону свидетельствуют о рассогласовании в кардиореспираторных взаимоотношениях, что имеет место при утомлении, перенапряжении, стрессе, болезнях. Физиологическое состояние организма студентов оценивалось также по вегетативному индексу Кердо (ВИК).

Ежемесячно, согласно опроснику САН, осуществлялось компьютерное психологическое тестирование испытуемых с оценкой показателей самочувствия (С), активности (А), настроения (Н) [7]. Все измерения проводились 4 раза в месяц (в один и тот же час и день недели). Бралось среднее по каждому месяцу значение исследуемого показателя. Полученные экспериментальные данные подвергались статистической обработке с учетом критерия t по Стьюденту.

Результаты и обсуждение. На основании психологических тест-опросов было установлено, что в сентябре среднее значение показателя САН студентов равнялось 4,99, а его компоненты – С=4,96; А=4,79; Н=5,23 баллам.

Таблица 1

Показатели самочувствия (С), активности (А) и настроения (Н) студентов (в баллах) в течение учебной нагрузки

Показатели	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
С	4,96±0,29	4,88±0,62	5,18±0,22	5,47±0,18	4,81±0,38	6,03±0,06	5,20±1,52
А	4,79±0,31	4,80±0,53	5,39±0,25	5,55±0,17	4,00±1,58	5,80±2,07	4,70±1,38
Н	5,23±0,39	5,17±0,49	5,18±0,37	5,46±0,28	5,10±1,92	6,10±2,11	5,30±1,6
САН (сред.)	4,99±0,26	4,95±0,49	5,25±0,25	5,50±0,18	4,60±1,75	5,97±2,10	5,05±1,49

Значительное понижение уровня САН, как видно из табл. 1, наблюдалось в январе, в период экзаменационной сессии, и происходило за счет уменьшения всех его составляющих. Наиболее выраженные сдвиги наблюдались в уровне показателя активности, который в январе, по сравнению с сентябрьским показателем, понижался на 16,5%. Самый высокий уровень САН по отношению к сентябрьскому наблюдался в феврале, после окончания зимних каникул, и составлял 5,97±2,1 баллов, что на 19,6 % выше, чем в

сентябре. Относительно низкий уровень САН в сентябре, по всей вероятности, обусловлен напряжением физиологических систем организма и волевыми усилиями, направленными на преодоление учебной нагрузки и гиподинамии после летнего перерыва. В остальные месяцы, за исключением декабря, показатели САН колебались в пределах нормы, что может быть следствием адаптации студентов к условиям учебы. С сентября оценивалось также состояние вегетативного тонуса студентов в процессе адаптации к учебной нагрузке.

Таблица 2

Гемодинамические показатели студентов в течение учебного года

Показатели	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
ЧСС, уд./мин	87,8±1,81	84,4±1,91	84,05±1,2	81,6±2,2 p<0,02	93,4±2,31 p<0,001	86,12±2,05 p<0,02	89,0±2,4
АДс, мм рт. ст.	110,0±1,96 p<0,05	103,8±2,63	104,0±2,94 p<0,02	100,6±2,28 p<0,001	110,6±2,78 p<0,05	101,2±2,80 p<0,02	102,5±2,29 p<0,02
АДд, мм рт. ст.	67,8±20,5	65,3±2,22	67,0±1,38	64,1±1,61	75,0±1,72 p<0,001	65,65±2,24 p<0,001	66,88±2,12 p<0,001
ПД, мм рт. ст.	42,1±1,05 p<0,001	38,05±1,08	36,4±1,6 p<0,001	36,2±1,8 p<0,001	35,6±2,0	35,62±1,9	37,5±1,42
СДД, мм рт. ст.	85,9±2,36	81,63±2,81	82,9±2,36	83,4±2,91	88,9±2,42	80,94±1,98 p<0,01	82,79±2,08 p<0,05
СО, мл	75,01±3,0	69,11±2,86	68,47±3,2	62,69±3,0 p<0,001	73,5±2,34 p<0,001	61,3±2,86 p<0,001	63,02±3,42 p<0,01
МОК, л	6,58±0,3 p<0,02	5,82±0,18	5,58±0,26 p<0,02	5,29±0,22 p<0,001	6,84±0,48 p<0,001	5,28±0,36 p<0,001	5,40±0,26 p<0,001
ЧД, дБ/м	17,4±0,5	16,6±0,8	16,6±0,16	17,2±0,26	18,8±1,02	17,7±1,2	17,9±0,48
Q	4,89±0,81	4,9±0,75	4,77±0,90	4,33±0,52	5,10±0,64	4,60±0,82	4,80±0,36
ВИК	22,79±0,36	19,25±0,44	22,6±0,28	24,2±0,76	25,6±1,30	23,7±0,36	24,8±1,24

Примечание: достоверность изменений в ноябре–декабре рассчитывалась по отношению к сентябрьским показателям, в январе – к декабрьским, в феврале и марте – к январским.

Динамика вегетативных показателей, изученных по месяцам, представлена в табл. 2. Анализ абсолютных величин исследованных параметров в сентябре – в начале учебного года – позволил выявить особенности гемодинамических показателей студентов. Замечено, что в начале учебного года гемодинамические параметры находятся на несколько завышенном по сравнению с последующими месяцами уровне, что, возможно, также обусловлено напряжением физиологических систем организма и волевыми усилиями, связанными с адаптацией к учебной нагрузке и гиподинамии после периода летнего отдыха. В сентябре ЧСС составляла 87,8±1,81 уд./мин. В течение I учебного семестра наблюдалось постепенное урежение пульса. К декабрю он понижался на 7 уд./мин (7,1%, p<0,02). Аналогичная динамика прослеживалась и в показателях артериального давления. От сентября до декабря АДс уменьшалось на 10 мм рт. ст. (9,6%, p<0,001), а АДд – на 3 мм рт. ст. (5,5%). Соразмерное понижение АДс и АДд в период I семестра обусловливало и относительно стабильный уровень ПД. Сравнительно меньшее изменение в сентябре–декабре претерпевало СДД – понижение на 3,0%. Известно, что

СДД отражает уровень централизации регуляторных механизмов системы кровообращения и обобщает все временные значения давления в течение одного сердечного цикла. Следовательно, незначительная вариабельность СДД и ПД, наблюдавшаяся в наших экспериментах, свидетельствует о прочности регуляторных механизмов гомеостаза [2].

СО и МОК уменьшались на 16,5% ($p<0,001$) и 19,4% ($p<0,001$) соответственно. Достоверное понижение СО вызвано увеличением периферического сосудистого сопротивления, а уменьшение МОК – как понижением СО, так и ЧСС. Подобный тип изменений может быть обусловлен как развитием утомления, падением тонуса ВНС, так и перестройками в ЦНС в связи с адаптацией к учебной нагрузке. Подтверждением данного предположения может быть и наблюдаемое нами понижение коэффициента Хильдебранта, который в течение всего семестра не выходил за пределы физиологической нормы (табл. 2). Уровень ВИК несколько повышался, что свидетельствовало о напряжении физиологических систем организма в связи с учебной нагрузкой. Наблюдаемый нами характер изменений кардиогемодинамических показателей студентов в течение учебного года соответствует данным М.М. Безруких [8], согласно которым с первого сентября у школьников четыре недели идет адаптация к условиям школы, а февраль является наиболее важным и переломным этапом учебного года.

Несколько иные изменения всех указанных параметров наблюдались в январе, в период экзаменационной сессии. Хотя для наших исследований выбирались дни, отдаленные от экзаменационных, ЧСС в январе повышалась по сравнению с декабрьским показателем на 14,5% ($p<0,001$), АДс – 9,9% ($p<0,05$), АДд – 17,0% ($p<0,001$).

Полученные данные свидетельствуют, что в течение всего периода экзаменационной сессии происходит активация симпатических механизмов вегетативного обеспечения высшей нервной деятельности, чем и обусловлено достоверное повышение уровней ЧСС и АД. Наблюдаемый в этот период рост показателей центральной геодинамики СО и МОК составлял соответственно 17,2% ($p<0,001$) и 29,3% ($p<0,001$) и был обусловлен учащейся работой сердца, гиперсимпатотоническим типом кровообращения и уменьшением сопротивляемости периферических сосудов [1]. Увеличение МОК, согласно литературным данным, направлено на обеспечение кислородного баланса организма, нарушенного из-за повышения потребления O_2 тканями в стресс-ситуациях [9]. Поскольку любое эмоциональное напряжение сопровождается активацией окислительно-восстановительных и обменных процессов в организме, что требует повышенного потребления O_2 , то наблюдается линейное увеличение ЧСС и МОК. В пользу этого свидетельствует и повышение коэффициента Хильдебранта (до $5,1\pm0,64$ единиц), выходящего за верхнюю границу нормы, что указывает на нарушение баланса в кардиореспираторной системе. Подтверждением последнего является и незначительный рост ЧД. Наблюдаемые изменения гемодинамических показателей представляют собой адекватную реакцию организма на эмоциональную нагрузку.

В феврале все гемодинамические параметры находились на пониженном по сравнению с январскими показателями уровне: ЧСС понижалась на

7,8% ($p<0,02$), АДс – 8,5% ($p<0,02$), АДд – 12,5% ($p<0,001$), СДД – 9,0% ($p<0,01$), СО – 16,6% ($p<0,001$), МОК – 22,8% ($p<0,001$). Направленность изменений вегетативных показателей свидетельствует о сдвиге уровня симпатической активации в сторону понижения и нормализации вегетативного тонуса, что обусловлено снятием стресс-фактора и отдыхом в период весенних каникул. Аналогичные изменения происходили и с коэффициентом Хильдербранта, что отражает восстановление равновесия в кардиореспираторной системе и нормализацию межсистемных взаимоотношений в организме. В пользу нашего предположения свидетельствуют и данные, приведенные в [10], согласно которым после экзамена у большей части студентов отмечается обратное развитие адаптационного синдрома, при этом, в первую очередь, наблюдается уменьшение вегетативного дисбаланса. Согласно данным [11], вегетативные сдвиги, формируемые при эмоциональных реакциях, следует оценивать как ложноадаптивные, приводящие к перерегулированию висцеральных функций.

С марта месяца вновь наблюдается тенденция к постепенному повышению исследуемых параметров. Это обусловлено тем, что студентам четвертого курса в апреле–мае предстоит сдача государственных экзаменов и защита дипломных работ, требующих высокого умственно-эмоционального напряжения. Последнее свидетельствует о роли умственной нагрузки в формировании уровня «физиологической нормы» гемодинамических показателей студентов.

При исследовании активности симпатоадреналовой системы старшеклассников к концу учебного года также отмечалось повышение ее резервных возможностей [12]. Наблюдаемые нами изменения коррелируют с данными [13], где при изучении вегетативных показателей и электролитов слюны пришли к заключению, что умственная нагрузка вызывает утомление, которое кумулируется в течение учебной недели, месяца, года. Динамика изученных параметров дает основание утверждать, что в течение учебного года студенты нуждаются в периодическом медицинском и психологическом контроле соответствующих специалистов.

Кафедра физиологии человека и животных

Поступила 14.12.2004

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян Н.А., Руженкова И. В., Старшинов Ю.П., Ермакова Н.В. и др. – Физиол. чел., 1997, т. 23, № 1, с. 93–97.
2. Федоров Б.М. Стресс и система кровообращения. М., 1991, 125 с.
3. Геворкян Э.С., Далян А.В., Адамян Ц.И. и др. – ЖВНД, 2003, т. 53, №1, с. 46–50.
4. Харитонова В.И., Горпушкина Е.Ю., Николаев В.И., Овчинников Ж.В. – Физиол. чел., 2000, т. 26, № 3, с. 121–125.
5. Щербатых Ю.В. – Физиол. чел., 2000, т. 26, № 5, с. 151–152.
6. Юматов Е.А., Кузьменко В.А., Бадиков В.И. и др. – Физиол. чел., 2001, т. 27, № 2, с. 104–111.
7. Гришин В.В., Лушин П.В. Методики психодиагностики в учебно-воспитательном процессе. М.: Наука, 1990, 126 с.

8. Безруких М.М. Мат. РОФ «Центр развития русского языка», 2004, с. 26–27.
9. Еремеев В.Я., Горбунов Н.П., Калашников Л.Д. – Межвуз. сб. науч. тр., Пермь, 1990, с. 6–13.
10. Дмитриева Н.В., Шевелев В.Ю., Агафонова В.В. и др. – Вестник Новгородского гос. ун-та, 1998, № 8, с. 30–35.
11. Судаков К.В. – Физиол. журн. им. И.М. Сеченова, 1993, т. 79, № 1, с. 22–33.
12. Корниенко И.А. Адаптация организма подростков к учебной нагрузке. М., 1987, с. 91–93.
13. Домахина Г.М. Оценка функционального состояния организма при умственной и физической деятельности человека по некоторым вегетативным показателям и электролитам слюны. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. канд. мед. наук. М., 1980, 22с.

Է. Ս. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ս. Մ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Տ. Ի. ԱԴԱՄՅԱՆ, Ն. Ն. ՔՍԱՋԻԿՅԱՆ

ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ԾԱՆՐԱՔԵՐՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՈՒՍԱՆՈՂՆԵՐԻ ՍԻՐՏ-ԱՆՈԹԱՅԻՆ ՀԱՍԱԿԱՐԳԻ ԳՈՐԾԱԽԱԿԱՆ
ՎԻճԱԿԻ ՎՐԱ

Ամփոփում

Տարեկան ուսումնական ծանրաբեռնվածության պայմաններում ուսումնասիրվել են հոգեֆիզիոլոգիական և կարդիոհեմոդինամիկ ցուցանիշների փոփոխությունները: Ցույց է տրվել, որ ուսանողների օրգանիզմի ֆիզիոլոգիական համակարգերի առավել բարձր լարվածության շրջան է հանդիսանում ուսումնական տարվա սկիզբը և քննաշրջանը: Ուսումնական տարվա ընթացքում դիտվել է ուսումնասիրված բոլոր ցուցանիշների նվազում, որը պայմանվորված է օրական, ամսական և տարեկան մտավոր ծանրաբեռնվածությունների համադրմամբ:

E. S. GEVORKYAN, S. M. MINASYAN, Ts. I. ADAMYAN, N. N. KSADJIKYAN

THE INFLUENCE OF EDUCATIONAL LOADING ON THE FUNCTIONAL STATE OF CARDIOVASCULAR SYSTEM OF STUDENTS

Summary

Dynamics of psychophysiological and cardiogemodinamical indexes of students under affecting of an annual educational loading is studied. It is shown that for students the overstrained of physiological systems of organism is the beginning of academic year and examination period. During the academic year we have noticed that there is decrease in all indexes learnt before which is the result of daily, monthly and annual loading comparison.

Կենսաբանություն

УДК 612.8+591.18

Ս. Ա. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Մ. Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Մ. Վ. ՆԱԴԻՐՅԱՆ,
Ն. Ս. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ն. ՅՈՒ. ԱԴԱՍՅԱՆ

**ԲՈՒԺԱԿԱՆ ՖԻԶԿՈՒԼՏՈՒՐԱՅՈՎ ԶԲԱՂՎՈՂ ՈՒՍԱՆՈՂՆԵՐԻ
ԸՆՉԱՌՈՒԹՅԱՆ ՀԱճԱԽՈՒԹՅԱՆ ԻՆՔՆԱԿԱՄ ՓՈՔՐԱՑՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ներածություն: Հայտնի է, որ օրգանիզմի ֆունկցիոնալ տարրեր խանգարումների հետևանքով կյուավաճքներում զարգանում է թթվածնային անբավարարություն, որի կանխարգելման համար կիրառվում են տարրեր դեղամիջոցներ՝ ուղղված օրգանիզմի կենսաքիմիական և ֆունկցիոնալ հնարաբորությունների բարձրացմանը: Սակայն այդ դեղամիջոցներից շատերը հաճախ ունենում են կողմնակի ազդեցություն: Այդ պատճառով էլ լայն կիրառում ունեն օրգանիզմի պաշտպանողական հարմարվողական ուսակցաների ակտիվացման ֆիզիոլոգիական մեթոդները, որոնցից է շնչառության բարձրացումը:

Պարզվել է, որ շնչառության հաճախության ինքնակամ փոքրացումը, որը հանգեցնում է բարեկան ծավալի փոքրացման, ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության ժամանակ նպաստում է օրգանիզմի գործունեության վրա ծախսվող էներգիայի խնայողությանը [1, 2], ավելացնում տարրական դպրոցի աշակերտների մտավոր ունակությունը և ուշադրության մակարդակը, բարձրացնում տարեց մարդկանց սրտամկանի էլեկտրական ակտիվությունը [3]: Այս ամենը հանգեցնում է բարձրագույն նյարդային գործունեության օպտիմալացման և նոր հնարավորություններ ստեղծում ուսումնական գործության ուսանողների մտավոր գործունեության և առաջադիմության բարձրացման համար [4]: Այս մեթոդով նվազում կամ անհետանում է ասքմայով հիվանդների շնչարգելության զգացողությունը [5]:

Տարբեր ֆունկցիոնալ համակարգերի տեստավորումը ցույց է տվել, որ երգաբուժությամբ զբաղվող հիվանդների օրգանիզմում արագանում է հարմարվողական մեխանիզմների առաջացումը, դրական փոփոխությունների է ենթարկվում սիրտ-շնչառական համակարգը [6]: Երգաբուժության հիմքում և ընկած է շնչառության բարեկան ծավալի ինքնակամ փոքրացման սկզբունքը, և այն կիրառվում է որպես օրգանիզմի պահուստային հնարավորությունները մեծացնող բուժականիսարգելիչ մեթոդ:

Բուհական ուսուցումը մեծ պահանջներ է ներկայացնում ուսանողների առողջության նկատմամբ: Կիսամյակի ընթացքում ուսումնական ծանրաբեռնվածությունը, քննությունների ստրեսային բնույթը կարող են հանգեցնել օրգանիզմի պահուստային հնարավորությունների սպառման՝ առաջացնելով նախահիվանդագիտ վիճակ: Այդ ծանրաբեռնվածության բացասական ազդեցությունը առանձնապես կարող է զգացվել ախտաբանական որոշակի ֆունմեցող ուսանողների դեպքում:

Սույն հետազոտության նպատակն է բացահայտել շնչառության հաճախության ինքնակամ փորրացման մերոդի արդյունավետությունը բուհի բուժական ֆիզկուլտուրայի խմբերի ուսանողների շնչառության և սրտի գործունեության վրա, որոնց հետ ուղղակիորեն կապված են օրգանիզմի կողմից բրվածնի յուրացման մակարդակը և մտավոր ու ֆիզիկական աշխատունակությունը:

Հետազոտության մերոդիկան: Հետազոտությունները կատարվել են Երևանի Խաչատրյան Արովյանի անվան մանկավարժական համալսարանի բուժական ֆիզկուլտուրայով մարզվող ուսանողների (17–19 տարեկան աղջկներ) երեք խմբերում: Հետազոտվող առաջին խմբում ընդգրկված են եղել սիրտ-անորթային և շնչառական օրգանների խանգարումներով (տարբեր տեսակի առիթմիաներ, սրտամկանի լարման խանգարումներ, քթի միջնապատի ծովածք, բրոնխիտ) տասնվեց ուսանողներ: Երկրորդ խմբում՝ ներքին օրգանների քրոնիկական հիվանդություններով (գաստրիտ, լեղապարկի բորբոքում, դաշտանային ցիկլի խանգարումներ, երկամային բորբոքում), վերջույթների վնասվածքներով, տեսողական խանգարումներով և ալերգիկ հիվանդություններով տառապող տասնվեց ուսանողներ: Երրորդ խումքը ծառայել է որպես սուուզիչ, որտեղ ընդգրկվել են ինչպես սիրտ-անորթային, շնչառական, այնպես էլ երկրորդ խմբում նշված խանգարումներով տասնվեց ուսանողներ:

Ծնչառության հաճախության ինքնակամ փորրացման վարժությունները յուրաքանչյուր խմբում կատարվել են շաբաթը երկու անգամ ֆիզկուլտուրայի դասի առաջին 10 րոպեների ընթացքում: Ուսանողներին հրահանգ է տրվել դանդաղ ներշնչում կատարել 7–8 վայրկյան տևողությամբ: Հանձնարարվել է այդ վարժությունները կատարել նաև տանը օրական 3 անգամ՝ տասական րոպե տևողությամբ: Ծնչառական վարժություններից հետո ուսանողները կատարել են բուժական ֆիզկուլտուրայի ծրագրով նախատեսված ֆիզիկական վարժություններ՝ պահպանելով շնչառական 6 շարժում մեկ րոպեում որիմը: Ստուգիչ խմբում ընդգրկվածները շնչառական վարժություններ չեն կատարել, այլ մասնակցել են միայն ծրագրով նախատեսված ֆիզիկական վարժություններին:

Հանգստ վիճակում շափկել է հետազոտվողների շնչառության հաճախությունը, թոքերի կենսական տարողությունը (չոր սպիրոմետրով), աջ և ձախ դաստակների ուժը (դինամոմետրով), կրծքավանդակի ամպիլտուդը, այսինքն՝ կրծքավանդակի շրջագծի տարրերությունը ներշնչման և արտաշնչման ժամանակ, պուլսի հաճախությունը (շոշափման եղանակով) ֆիզիկական վարժություններից առաջ, վարժություններից անմիջապես հետո և տաս րոպե հետո: Այս ցուցանիշները գրանցվել են կիսամյակի սկզբում (նախքան շնչառական վարժություններ սկսելը) և կիսամյակի վերջում, այսինքն՝ շնչառական մարզումներից երեք ամիս հետո (մարտի սկզբից մինչև մայիսի վերջը):

Ստացված տվյալները վիճակագրական վերլուծության են ենթարկվել Օյվինի եղանակով:

Եզրակացություն: Փորձերի արդյունքների վերլուծությունից պարզվել է, որ երերամսյա շնչառական մարզումներից հետո ուսումնասիրվող բոլոր ցուցանիշներում նկատվել են դրական տեղաշարժեր (աղ. 1): Առաջին և երկրորդ խմբերի ուսանողների բոլորի կենսական տարրողությունը ավելանում է մոտավորապես 400մլ-ով, մինչդեռ ստուգիչներ՝ ընդամենը 50մլ-ով (աղ. 2): Դա վկայում է այն մասին, որ շնչառական վարժությունների շնորհիվ մեծանում է բոլորի և կրծքավանդակի շարժունակությունը, քանի որ բոլորի կենսական տարրողությունը դրա ցուցանիշն է: Դրանով է պայմանավորված նաև առաջին և երկրորդ խմբերի ուսանողների կրծքավանդակի շրջագծի ամպլիտուդի հավաստի մեծացումը՝ համապատասխանաբար 1,94 և 1,43սմ-ով ($P<0,001$): Ստուգիչ խմբի դեպքում այն համարյա չի ավելանում (0,19սմ): Եռամսյա շնչառական մարզումներից հետո առաջին և երկրորդ խմբերի ուսանողների շնչառական շարժումների թիվը հանգիստ վիճակում 1 րոպեում մոտավորապես 2-ով նվազում է, այսինքն՝ նկատվում է շնչառության նոր հաճախության ավտոմատացում: Իհարկե, այդ տարրերությունը մեծ չէ, բայց 1 օրվա ընթացքում շնչառական շարժումների թիվը առաջին և երկրորդ խմբերում պակասում է համապատասխանաբար 3127,2-ով և 2692,8-ով:

Աղյուսակ 1

1 և 2 խմբերի ուսանողների շնչառության հաճախության ինքնակամ օստիմալ փորրացման արդյունքները

Ուսումնասիրվող ցուցանիշներ	I խումբ			II խումբ			
	մինչև մարզումը	մարզումց հետո	P	մինչև մարզումը	մարզումց հետո	P	
Բոլորի կենսական տարրողությունը (մյ)	2378,57±2,91	2778,57±3,96	< 0,001	2481,25±4,37	2893,75±4,35	< 0,001	
Հնչ. շարժ. (շարժ/րոպ)	16,69±0,32	14,31±0,35	< 0,001	17,56±0,34	15,69±0,35	< 0,01	
Կրծքավանդակի ամպլիտուդը (սմ)	2,31±0,19	4,25±0,24	< 0,001	2,38±0,18	3,81±0,24	< 0,001	
Պաստակի ուժը (կգ-ով)	աջ	22,31±0,41	26,25±0,46	< 0,001	22,00±0,45	25,53±0,49	< 0,01
	ձախ	20,50±0,43	24,12±0,49	< 0,01	20,00±0,50	22,93±0,44	< 0,02
Արտի հաճախությունը (գարկ/րոպ)	համգիստ վիճակ	97,87±0,70	84,75±0,69	< 0,001	87,6±0,65	80,8±0,65	< 0,01
	Վարժություններից անմիջապես հետո	126,00±0,93	113,75±0,76	< 0,01	116,0±0,84	114,0±0,82	< 0,5
	10 րոպե հետո	104,62±0,69	91,13±0,69	< 0,001	94,8±0,66	86,0±0,65	< 0,001

Ծնչառական յուրաքանչյուր շարժման ժամանակ որոշակի էներգիա է ծախսվում վերին շնչուղիների պատերի դիմադրությունը, բոքաբջտերի պատերի առաձգականության ուժը, որովայնի խոռոչի և կրծքավանդակի պատերի դիմադրությունը հաղթահարելու համար [3]: Բնականաբար, շնչառական շարժումների թիվ պակասելու դեպքում այդ էներգիայի մի մասը խնայվում է: Անշուշտ, այս խնայողությունը ծախսվում է օրգանիզմի հարմարվողական այլ մեխանիզմների գործունեության համար, բարձրացնելով նաև ֆիզիկական հնարավորությունները, որի բացահայտման նպատակով շափովել է հետազոտվողների աջ և ձախ դաստակների ուժը, քանի որ հայտնի է, որ մարդու ֆիզիկական աշխատունակության և սիրտ-շնչառական համակարգի պահուստային հնարավորությունների միջև սերտ կապ գոյություն ունի: Նկատվել է

դաստակների ուժի հավաստի մեծացում: Փորձարարական և ստուգիչ խմբերի ուսանողների այս ցուցանիշի համեմատական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ շնչառական և ֆիզիկական վարժությունների գուգակցումը ավելի արդյունավետ է, քանի որ ստուգիչ խմբի ուսանողների նարզումներից հետո նրանց աջ և ձախ դաստակների ուժի ավելացումը թույլ է արտահայտված:

Այլ հեղինակների տվյալները և վկայում են, որ շնչառության ոչ ինքնակամ կարգավորմամբ տարբեր ֆիզիկական նարզումները բավարար արդյունավետ չեն [7]: Այդ պատճառով էլ մարզիկների հարմարվողական գործընթացների արագացման համար նպատակահարմար է ֆիզիկական մարզումները գուգակցել արտաքին շնչառության ինքնակամ օպտիմալացման և նրա հետագա ավտոմատացման հետ [2]: Հայտնի է նաև, որ բոքերի տարբեր հատվածներում գազափոխանակության ինտենսիվությունը և արյան բաշխումը կախված է մարմնի դիրքից: Չափավոր ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության ժամանակ բոքերի տարբեր հատվածների արյունամատակարարման տարբերությունը փոքրանում է [8], որը նախադրյալներ է ստեղծում գազափոխանակության բարելավման համար:

Ինչպես արդեն նշվել է, առաջին խմբում ընդգրկվել են սրտային և շնչառական համակարգերի շեղումներ ունեցող ուսանողներ, ինչը ցայտուն արտահայտված է հանգիստ վիճակում 1 րոպեում պուլսի զարկերի թվով՝ $97,87 \pm 0,7$: Բնականաբար, ֆիզիկական վարժություններից ամփական հետո պուլսը հաճախանում է՝ հասնելով $126,0 \pm 0,9$ -ի, իսկ 10 րոպե հետո դեռևս շարունակում է մնալ նորմայի նկատմամբ բարձր՝ $104,62 \pm 0,69$: Շնչառական մարզումների արդյունքում սրտի հաճախությունը հավաստիորեն փոքրանում է ($P < 0,001$)՝ հանգիստ վիճակում դառնալով $84,75 \pm 0,69$: Հայտնի է, որ զիսուլեղի տարբեր հատվածներում գոյություն ունեն ուղիղ և խաչած կապեր երկու կիսազնդերի շնչառական և սիրտ-անորթային կարգավորման կենտրոնների միջև: Ֆունկցիոնալ այդ համակարգերի միջև եղած կապերը գործում են տարբեր մակարդակներում՝ զգայական դաշտերից մինչև երկարավուն ուղեղի շնչառական և սիրտ-անորթային կենտրոններ: Այդ երկու ֆունկցիաների փոխկապակցված գործունեությունը իրականանում է ուժին երսանիքի ճանապարհով: Սրտի և շնչառության որթմերի միջև կապվածության աստիճանը կախված է օրգանիզմի ֆունկցիոնալ վիճակից, հուզական և ֆիզիկական լարվածությունից: Օրգանիզմը թթվածնով ապահովող նշված համակարգերը հանդիսանում են մարդու հարմարվողական գործունեության ցուցիչ: Այդ համակարգերի փոխկապակցվածության հետևանք է նաև այն, որ մարզումների արդյունքում շնչառության հաճախության ավտոմատացումը հանգեցնում է սրտի հաճախության նորմալացման, որը օրգանիզմի ֆունկցիոնալ վիճակի կարգավորման զիսավոր գործուն է, հատկապես սիրտ-անորթային խանգարումներ ունեցողների համար: Շնչառական մարզումների արդյունքում որոշակի դրական տեղաշարժեր են նկատվում նաև առողջական տարբեր խանգարումներ ունեցող երկրորդ խմբի ուսանողների զարկերակների ոիքմում՝ $87,6 \pm 0,65$ -ից դառնալով $80,8 \pm 0,65$ ($P < 0,001$):

Գոյություն ունի դրական սերտ փոխկապակցվածություն շնչառության բառեական ծավալի, սրտի կծկումների հաճախության և արյան բռնկական ծավալի միջև, այսինքն՝ ֆիզիկական աշխատանքի ինտենսիվությունը բնութագրող չափանիշների միջև: Դա թույլ է տալիս ներադրել, որ միևնույն տև-

դուրյամբ ֆիզիկական աշխատանք կատարելիս շնչառության բոպեական ծավալի փոքրացումը ուղեկցվում է սրտի հաճախության փոքրացմամբ, ինչը նպաստում է նրա գործունեության խնայողությանը [4]: Ստուգիչ խմբում այդ ցուցանիշը էական փոփոխության չի ենթարկվում (աղ. 2), ինչը մեկ անգամ ևս վկայում է ֆունկցիոնալ տարրեր խանգարումների ժամանակ շնչառության ոիքմի ինքնական փոքրացման մեթոդի բարձր արդյունավետության մասին:

Աղյուսակ 2

Ստուգիչ խմբի ռաանողմերի շնչառության հաճախության ինքնակամ օպտիմալ փոքրացման արդյունքները

Ուսումնասիրվող ցուցանիշներ	Մինչև մարզումը	մարզումից հետո	P	
բոքերի կենսական տարրությունը (մ)	2418,75±3,39	2468,75±3,67	< 0,5	
շնչ. հաճախ. (շարժ/րոպ)	17,31±0,33	17,12±0,32	< 0,5	
կրծքավանդակի ամպիլուտուրը (սս)	2,19±0,18	2,38±0,20	< 0,5	
դաստակի ուժը (կգ-ու)	աջ ձախ	23,32±0,48 21,56±0,49	25,19±0,57 22,63±0,48	< 0,5
սրտի հաճախությունը (զարկ/րոպ)	հանգիստ վիճակ վարժություններից անմիջապես հետո	89,5±0,66 130,37±0,88	87,88±0,64 120,62±0,76	< 0,05
	10 րոպե հետո	99,0±0,70	94,94±0,61	< 0,2

Հետաքրքիր է, որ նշված բազմազան հիվանդությունները կարելի է հաղթահարել կամ թերևացնել միևնույն մեթոդով: Դիտարկումները ցույց են տվել, որ էկոլոգիկական և արտակարգ գործոնների (ստրեսներ, աղմուկ, ցուրտ, խավար) հետևանքով առաջացած տարաբնույթ հիվանդությունների (սրտի ոիքմի խանգարումներ, ալերգիաներ, շաքարային դիաբետ և այլն) զարգացման մեջ մեծ դեր ունի թթվածնի անբավարարությունը: Ընդ որում, օրգանիզմի հյուսվածքներում այն զարգանում է միևնույն մեխանիզմով: Այդ անբավարությունը կանխելու կամ մեղմացնելու լավագույն մեթոդ է շնչառության բոպեական ծավալի ինքնակամ օպտիմալ փոքրացումը, որի ժամանակ շնչառական ուղիների մեռյալ տարածքի օդի ծավալի պակասեցման հաշվին ավելանում է շնչառական օդի ծավալը: Դա նշանակում է նվազ էներգետիկական ծախսումներով, այսինքն՝ շնչառության խնայողությամբ, հասնել օրգանիզմը թթվածնով ապահովելու առավելագույն արդյունքի:

Սարգումների ընթացքում առաջին և երկրորդ խմբերում պակասում է բացակայությունների թիվը՝ շնորհիվ հիվանդացության նվազման և ուսանողների ինքնազգացողության լավացման:

Այսպիսով, շնչառության հաճախության ինքնակամ օպտիմալ փոքրացման մեթոդի կիրառումը ուսանողների ֆիզիկալստուրայի բուժական խմբերում բավական արդյունավետ է նրանց առողջական վիճակի բարելավման համար: Այս մեթոդը կարևորվում է կիրառման մատչելիությամբ և հետազոտվողից պահանջում է որոշակի կամքի դրսերում շնչառության բնականոն ոիքմը փոխելու համար (մեկ րոպեում 6 շնչառական շարժում 16-ի փոխարեն), ինչը ինքնին կարևոր է նաև երիտասարդների դաստիարակության գործընթացում:

Մարդու և կենդամիների ֆիզիոլոգիայի ամրիոն

Ստացվել է 02.03.2005

- Граевская Н.О. Влияние спорта на сердечно-сосудистую систему. М., 1975, 125с.
- Григорян А.Ф., Акопян Н.С., Адамян Н.Ю., Арутюнян Р.С. – Теория и практика физической культуры, 2003, № 11, с. 58–61.
- Гневушева В.В., Пересыпкин В.А. Влияние экономизации дыхания на сердечную деятельность у лиц пожилого возраста. В кн.: Геронтология и гериатрия. Киев, 1975, с. 73–75.
- Федоренко В.И. Влияние экономичности внешнего дыхания на физическое состояние студентов. Автореф. дис. на соискание уч. ст. канд. биол. наук. М., 1982.
- Агаджанян Н.А., Гневушев В.Б., Катков А.Ю. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания. М., 1987, 185 с.
- Шушарджян С. Здоровье по ногам. М., 1994, 240 с.
- Сороко С.И., Родкина Т.П. Изменение центральных вегетативных механизмов регуляции при воздействии экспериментальной высокогорной гипоксии. Материалы симпоз. Интеграция механизмов регуляции функций. Майкоп, 1996, с. 77–78.
- Смирнов В.М. Физиология человека. М., 2003, с. 250.

С. А. АБРААМЯН, М. А. КАРАПЕТЯН, М. В. НАДИРЯН, Н. С. АКОПЯН,
Н. Ю. АДАМЯН

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ПРОИЗВОЛЬНОГО УМЕНЬШЕНИЯ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ ЛЕЧЕБНЫХ ГРУПП

Резюме

Применение метода произвольного оптимального уменьшения минутного объема дыхания способствует активизации защитных механизмов организма.

Этот метод применяли в группах лечебной физкультуры и выявили, что он очень эффективен для повышения умственной и физической работоспособности студентов, имеющих определенный фон различных патологий.

S. A. ABRAHAMYAN, M. A. KARAPETYAN, M. V. NADIRYAN,
N. S. AKOPYAN, N. Y. ADAMYAN

EFFICIENCY OF THE METHOD OF VOLITIONAL DECREASE OF BREATH RATE OF CURATIVE-GROUP STUDENTS

Summary

Using the method of volitional optimal decrease of minute volume of breathing leads to activation of organism's protective mechanisms.

This method was used in the groups of curative physical training. IT was revealed that this method is very effective for the increase of mental and physical work ability of students with pathological background of different physiological functions.

Биология

УДК 612.821.3

А. Р. АГАБАЯН, В. Г. ГРИГОРЯН, А. Ю. СТЕПАНЯН, Н. Д. АРУΤՅՈՆՅԱՆ, Л. С. СТЕПԱՆՅԱՆ

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ МОЗГОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТВОРЧЕСТВА

В статье представлены результаты исследования изменений уровня активности ряда корковых зон головного мозга у студентов, отличающихся по показателям креативности, при составлении рассказа на основе предъявленного набора слов из разных семантических полей. Обнаружены межгрупповые различия в механизмах мозгового обеспечения творческого процесса.

Введение. За последние 20 лет изучение процесса творчества получило широкое распространение, так как одной из важнейших составляющих деятельности человека является элемент творчества (креативность). Как правило, носителями принципиально новых идей являются люди с высокими показателями дивергентного мышления. Поэтому для развития новых технологий возникает необходимость в повышении творческого потенциала молодых специалистов, в частности студентов, как будущих разработчиков новых направлений в науке и технике. Однако большой объем информации, получаемой во время обучения в вузе, может привести к стереотипному мышлению, что часто подавляет творческую деятельность. Увеличение объема информации приводит к повышению уровня интеллекта. А это, согласно концепции Э. Торранса [1] об «интеллектуальном пороге», может служить базой для проявления творческой продуктивности до определенного предела. Так как в период обучения преобладает установка на развитие конвергентного мышления в ущерб дивергентному, то для предотвращения падения уровня творческих способностей с увеличением информационной нагрузки особенно необходима оптимизация творческой деятельности для определенной категории студентов, имеющих низкие показатели творческих способностей при поступлении в вуз. Эта проблема требует многосторонних исследований, среди которых важное место занимает изучение мозгового обеспечения творческого процесса. Большинство современных теорий отводят ведущую роль лобным отделам коры головного мозга в реализации творческого процесса. Так, по мнению Хельмана и др. [2], для развития дивергентного мышления и способности принимать альтернативные решения необходима активация лобных долей, а процесс творческого новаторства в свою очередь требует акти-

вации связей лобных областей с височными и теменными долями, являющимися источниками информации для фронтальной коры. Усиление активности лобных долей отмечено также в работах по изучению мозговой организации творчества по данным ЭЭГ [3–7]. В исследованиях по изменению регионального мозгового кровотока при выполнении творческих задач [8, 9] подтверждается вовлечение в творческий процесс лобных долей билатерально. Однако ряд авторов [10–12] придерживается иного мнения, считая, что творческий процесс сопровождается снижением активности в лобных долях. Таким образом, вопрос мозгового обеспечения творческой деятельности находится на стадии изучения.

Исследование мозговых механизмов творческого процесса предполагает зависимость творческой деятельности от различных факторов, среди которых особое место занимают показатели креативности, согласно которым Дж. Гилфорд [13] положил начало определению различий между креативными и некреативными личностями. Знание возможных механизмов мозговой организации творческого процесса у лиц с различным уровнем творческих способностей может послужить основой как для предотвращения понижения уровня творческого мышления у студентов с высокими показателями креативности, так и для развития такого у студентов с низкими показателями креативности.

Предполагается, что у личностей с разным уровнем креативности мозговые механизмы, лежащие в основе реализации творческой деятельности, имеют свои особенности, чем и, возможно, предопределяется успешность творческого процесса. Для понимания таких механизмов мы задались целью исследовать изменения уровня активности ряда корковых зон у студентов, отличающихся по показателям креативности, при решении творческой задачи.

Методика исследований. В эксперименте принимали участие 36 испытуемых – студентов I и II курсов естественных факультетов ЕГУ. При изучении нейрофизиологической основы таких сложных психических функций как дивергентное мышление важное значение имеет применение психологических тестов для определения творческих способностей. В наших исследованиях применялся «Тест отдаленных ассоциаций» С. Медника (RAT), с помощью которого оценивается вербальная креативность. На основании этого теста испытуемые были разделены на две группы: в I группу вошли испытуемые с высоким показателем креативности, во II – с низким.

Испытуемым давалось задание – составить рассказ на основе набора слов из разных семантических полей, например: *увидеть, дверь, говорить, корова, забыть, звезда, думать, тетрадь, открыть, море, хохотать, дерево, разбить, исчезнуть, покушать, вешалка*. Задание было определенной сложности, для его выполнения требовалось вовлечение творческой формы мышления. Экспериментатор давал инструкцию использовать в составлении рассказа оригинальные решения. Для исследования изменения нейрофизиологических показателей коры головного мозга использовали метод регистрации вызванных потенциалов (ВП) как индикатора функционального состояния исследуемых корковых областей. Для определения изменений активности

коры производилась регистрация вызванной активности на свет до начала творческой деятельности (T_0) и за 5 минут до окончания выполнения творческого задания (T_1). Чтобы творческий процесс не прерывался, испытуемым давалось указание придумывать конец рассказа в уме при регистрации ВП (длительность регистрации 1,5мин). После окончания регистрации испытуемый дописывал придуманный финал рассказа.

ВП регистрировались из 4-х симметричных областей левого (F_3 , F_7 , T_3 , TPO_L) и правого (F_4 , F_8 , T_4 , TPO_R) полушарий коры головного мозга монополярно по международной системе 10/20. Использовали стандартные электроды. Референтный электрод располагался на мочке уха. Генератором светового импульса служил фотостимулятор FTS-21, запускающийся синхронно с блока Selector анализатора-интегратора ANIEG-81. В качестве стимулов использовали световые вспышки средней интенсивности 0,4Дж с экспозицией 50мкс и интервалами около 3с. ВП усреднялись по 32 реакциям на световые вспышки. Исследовали изменения негативного компонента N_{200} в диапазоне 160–200мс. Эпоха анализа составляла 500мс. Аналогово-цифровое преобразование ВП и обработка параметров производились программами EPREC и EPPROC. Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Статистический анализ полученных данных показал, что у I группы испытуемых амплитуда компонента N_{200} претерпевала определенные изменения в процессе творческой деятельности (табл. 1). Увеличение амплитуды отмечалось в отведениях F_3 и F_4 , в левом полушарии достоверно ($p \leq 0,05$), а в правом – на уровне тенденции.

Таблица 1

Изменения величины амплитуды компонента N_{200} (в мкВ) зрителевых ВП исследуемых областей коры больших полушарий у испытуемых I группы

	F_3	F_4	F_7	F_8	T_3	T_4	TPO_L	TPO_R
T_0	$4,14 \pm 1,57$	$2,86 \pm 0,85$	$3,98 \pm 1,77$	$3,27 \pm 1,46$	$1,51 \pm 0,46$	$1,69 \pm 0,67$	$3,90 \pm 1,26$	$4,25 \pm 2,36$
T_1	$5,49 \pm 1,55$	$3,30 \pm 1,10$	$5,39 \pm 1,33$	$3,24 \pm 1,49$	$1,55 \pm 0,66$	$1,73 \pm 1,03$	$4,16 \pm 1,96$	$5,40 \pm 2,57$
p	$p \leq 0,05$		$p \leq 0,05$					$p \leq 0,05$

В отведении F_7 амплитуда компонента N_{200} увеличивалась достоверно ($p \leq 0,05$), а в F_8 в процессе выполнения творческого задания она почти не претерпевала изменений. В височных областях (T_3 , T_4), а также в отведении TPO_L достоверных изменений амплитуды компонента N_{200} не наблюдалось. Выполнение творческого задания приводило к увеличению амплитуды исследуемого компонента на $1,15\text{мкВ}$ ($p \leq 0,05$) в отведении TPO_R .

Таблица 2

Изменения величины амплитуды компонента N_{200} (в мкВ) зрителевых ВП исследуемых областей коры больших полушарий у испытуемых II группы

	F_3	F_4	F_7	F_8	T_3	T_4	TPO_L	TPO_R
T_0	$4,30 \pm 2,18$	$3,39 \pm 1,43$	$5,38 \pm 0,93$	$3,16 \pm 0,76$	$2,53 \pm 1,34$	$1,83 \pm 0,89$	$2,39 \pm 0,94$	$5,12 \pm 2,59$
T_1	$6,52 \pm 1,69$	$5,27 \pm 1,61$	$7,18 \pm 1,34$	$4,49 \pm 1,37$	$2,24 \pm 0,91$	$3,64 \pm 1,72$	$3,03 \pm 1,05$	$6,66 \pm 2,94$
p	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,05$			$p \leq 0,05$	$p \leq 0,05$

У испытуемых II группы (табл. 2) в зонах F₃ и F₄ амплитуда компонента N₂₀₀ после выполнения творческого задания достоверно увеличивалась почти на 2 мкВ. В отведениях F₇ и F₈ также наблюдалось увеличение амплитуды N₂₀₀, причем в левом полушарии почти на 1,8 мкВ (р≤0,01), а в правом – на 1,33 (р≤0,05). В височных областях достоверные изменения наблюдались только в T₄. В височно-теменно-затылочных отведениях (ТРО) амплитуда волны N₂₀₀ увеличивалась как в левом, так и в правом полушарии (р≤0,05).

Таким образом, статистический анализ изменений амплитудных значений исследуемого компонента выявил, что при решении творческой задачи у испытуемых с высоким показателем креативности отмечается усиление активности в зонах F₃, F₄, F₇ и ТРО_R, в то время как у испытуемых с низким показателем корковая активность увеличивается во всех исследуемых областях. Различия в корковых механизмах реализации творческой деятельности в зависимости от уровня творческого потенциала отмечены в исследованиях [9, 14]. Увеличение амплитудных значений компонента N₂₀₀ во фронтальных отведениях левого полушария и височно-теменно-затылочном отведении правого полушария у испытуемых I группы свидетельствует об усилении активности этих областей в процессе решения творческой задачи. Активация лобных областей, по нашему мнению, вызвана сложностью предъявленного нами задания, которое требует извлечения специальных знаний из памяти, хранителями которых в настоящее время считаются теменная и височная области [2]. Наши данные согласуются с данными [15], полученными методом позитронно-эмиссионной томографии при исследовании мозговой организации творчества. В наших исследованиях также наблюдается активация височно-теменно-затылочной области правого полушария. Некоторые авторы [7, 16, 17] объясняют это тем, что эта область участвует в процессе интеграции смысла слов, объединенных в лексическую конструкцию. Вовлеченность правого полушария в творческий процесс показана в [18]. У испытуемых II группы отмечается увеличение амплитуды компонента N₂₀₀ во всех исследуемых областях. Подобное синхронное увеличение активности в передних и задних отделах мозга можно рассматривать как общее повышение уровня активности коры без доминирования какой-либо из исследуемых областей.

Таким образом, обнаруженная нами межгрупповая разница является свидетельством того, что у испытуемых I и II групп используются различные механизмы для реализации творческого процесса. У лиц с высокими показателями креативности используется механизм повышения активности тех корковых областей, которые играют ведущую роль в высших мыслительных процессах, в то время как у лиц с низкими показателями креативности выполнение творческого задания реализуется через общее повышение активности корковых областей без ведущей роли структуры, играющей главную роль в обеспечении дивергентного мышления. Однако, по мнению И. Карлсона с соавторами [9], при дивергентном мышлении у высокотворческих индивидов наблюдается двусторонняя лобная активация, в то время как у низкокреативных индивидов имеет место одностороннее усиление активности лобной области, что не совпадает с нашими данными.

Выводы.

1. У испытуемых с высокими творческими способностями решение творческой задачи приводит к увеличению амплитудных значений компонента N_{200} в лобных отведениях левого полушария и височно-теменно-затылочной зоне правого полушария. Это свидетельствует о том, что лица с высокими показателями креативности для обеспечения дивергентного мышления используют механизм повышения активности определенных корковых областей.

2. У испытуемых с низкими творческими способностями при решении творческой задачи отмечается увеличение амплитуды компонента N_{200} во всех исследуемых областях, свидетельствующее об общем повышении активности коры без доминирования определенной корковой структуры, играющей ведущую роль в творческом процессе.

Кафедра физиологии человека и животных

Поступила 03.03.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Torrance E.P. Creativity and learning. 1965, p. 663–679.
2. Heilman K.M., Nadeau S.E., Beversdorf D.O. – Neurocase, 2003, v. 95, p. 369–379.
3. Бехтерева Н.П., Старченко М.Г., Ключарев В.А. и др. – Физиология человека, 2000, т. 26, № 5, с. 12.
4. Orme-Johnson D.W., Haynes C.T. – Int. J. Neurosci., 1981, v. 13, № 4, p. 211.
5. Petsche H., Lacroix D., Lindner K. et al. – Int. J. Psychophysiol., 1992, v. 12, № 1, p. 31.
6. Molle M., Marshall L., Lutzenberger W. et al. – Neurosci. Lett., 1996, v. 12, № 1, p. 61.
7. Petsche H., Kaplan S., von Stein A., Filz O. – Int. J. Psychophysiol., 1997, v. 26, № 3, p. 77.
8. Бехтерева Н.П., Данько С.Г., Старченко М.Г. и др. – Физиология человека, 2001, т. 27, № 4, с. 6–14.
9. Carlsson I., Wendt P., Risberg J. – Neuropsychologia, 2000, № 38, p. 873.
10. Martindale C., Hines D. – Biological Psychology, 1975, № 3, p. 91.
11. Martindale C. – J. of Altered states of consciousness, 1977, № 3, p. 69.
12. Handbook of creativity. Ed. Sternberg R. Cambrije: University Press, 1999, 490 p.
13. Guilford Y.P. The nature of human intelligence. N.-Y.: McGraw Hill, 1967.
14. Jausovec N., Jausovec K. – Int. J. Psychophysiol., 2000, v. 36, № 1, p. 73.
15. Старченко М.Г., Бехтерева Н.П., Пахомов С.В., Медведев С.В. – Физиология человека, 2003, т. 29, № 5, с. 151–152.
16. Иваницкий Г.А., Николаев А.Р., Иваницкий А.М. – Физиология человека, 2002, т. 28, № 1, с. 5–11.
17. Razoumnikova O. – Cogn. Brain. Research . 2000, v. 10, № 1, p. 11.
18. Faust M., Lavidor M. – Brain Res.Cogn.Brain Res., 2003, v. 17, № 3, p. 585–597.

Հ. Պ. ԱՎԱԲԱՅՅԱՆ, Վ. Հ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա.Յու. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ն. Դ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ,
Լ. Ս. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

**ՍՏԵՂԱԳՈՐԾԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՈՒՂԵՂԱՅԻՆ ԱՊԱՀՈՎՄԱՆ
ՆՅԱՐԴԱՖԻԶԻՈԼՈԳԻԿԱՆ ՍԵԽԱԿԱՋՄՆԵՐԸ**

Ամփոփում

Հոդվածում ներկայացված են տարբեր սեմանտիկ դաշտերին պատկանող բառերով տեքստ կազմելու ժամանակ ստեղծագործական ունակու-

թյուններով տարբերվող ուսանողների զիսուլենի որոշ շրջանների ակտիվության մակարդակի փոփոխությունների հետազոտության արդյունքները։ Այդ փոփոխությունների դիճամիկայում հայտնաբերված են միջամբային տարբերություններ, ինչը խոսում է փորձարկվողների ստեղծագործական գործընթացի ապահովման զանազան մեխանիզմների առկայության մասին։

H. R. AGHABABIAN, V. H. GRIGORYAN, A. Yu. STEPANYAN, N. D. HARUTYUNYAN,
L. S. STEPANYAN

NEUROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF CREATIVE ACTIVITY

Summary

The results of research of dynamic changes in a number of cortical zones activity at the students with different creativity parameters, during composing a story on the base of the presented words from different semantic fields are submitted. The intergroup difference in dynamic changes of level cortex activity in the examinees with different level of creative abilities was found out, that testifies the presence of various mechanisms of creative process maintenance.

Биология

УДК 575.24.581.15.581.3

В. С. ПОГОСЯН, Э. А. АГАДЖАНЯН, А. Л. АТОЯНЦ, Р. М. АРУΤЮНЯН

**ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ**

С применением традесканции (клон 02) определены частота соматических рецессивных мутаций по тесту волосков тычиночных нитей (Трад ВТН) и частота образования микроядер в тетрадах микроспор по микроядерному тесту (Трад МЯ), отражающая уровень нерасхождения или повреждения хромосом в спорогенных клетках. С применением водных вытяжек сероземных и черноземных почв выявлены различия генетических реакций соматических клеток в зависимости от вида почвы и пунктов исследования.

В настоящее время в Армении снизилось содержание радионуклидов в окружающей среде, произошло их перераспределение в зависимости от почвенно-климатических и ландшафтных условий, часть их распалась. По данным Налбандяна и Ананян [1] содержание ^{90}Sr в последние годы в почвах г. Еревана снизилось примерно на 78%. Содержание ^{137}Cs уменьшилось незначительно. Это объясняется особенностями радионуклидов – ^{90}Sr в почвах находится, в основном, в подвижном состоянии, активно мигрируя и поглощаясь растениями, а радиоактивный цезий (^{137}Cs), наоборот, довольно прочно закрепляется в почвах и слабо мигрирует.

В связи с загрязнением биосфера стало актуальным комплексное изучение влияния загрязнителей на биологические объекты, особенно на растения. Для проведения генетических анализов в качестве объекта была выбрана традесканция (клон 02), которая является высокочувствительным индикатором и начиная с 70-ых годов широко используется в экспериментах по радиационно-химическому мутагенезу [2–4].

Целью настоящей работы явилось применение традесканции (клон 02) для изучения мутагенной активности почв, прилегающих к населенным пунктам Мецамор, Агавнатун, Армавир, Мргашат и Айгешат вокруг Армянской АЭС, а также из Ошакана, находящегося на расстоянии 25 км от АЭС.

Эксперименты были проведены двумя сериями. 1. Выращивание индикаторных растений непосредственно в почвах Мецамора, Агавнатуна, Армавира и Ошакана, в качестве контроля была выбрана земля оранжереи ЕГУ. 2. Обработка черенков индикаторных растений в водных вытяжках сероземных и черноземных почв Мецамора, Мргашата и Айгешата, контролем служила сероземная и черноземная земля Арзни.

В опытах первой серии определялись частота рецессивных розовых мутационных событий (РМС) и генетически неопределенных (бесцветных) событий (БМС) в волосках тычиночных нитей традесканции, а также частота образования микроядер (МЯ) в тетрадах микроспор, отражающая уровень нерасхождения или повреждения хромосом при микроспорогенезе.

Во второй серии опытов, кроме применения генетических критериев для соматических клеток традесканции (РМС и БМС), анализировались и некоторые морфологические изменения: образование карликовых волосков и изменение числа тычинок в цветках.

При анализе генотоксичности в раскрывшихся цветках традесканции учитывались мутационные сектора в тычиночных волосках. Для выявления микроядер в тетрадах микроспор цветочные бутоны фиксировались в ацетал-коголе (1:3) и готовились временные препараты, окрашенные ацетокармином. С использованием теста Трад ВТН расчеты РМС и БМС велись в среднем на 1000 волосков [5], а при применении теста Трад МЯ проводился подсчет микроядер в тетрадах микроспор в среднем на 100 тетрад по стандартной методике [6].

Для каждой пробы анализировали 34–35 тыс. волосков тычиночных нитей и 6 тыс. тетрад с микроядрами. Статистическая обработка результатов экспериментов проводилась по общепринятой методике [7].

Данные, полученные в первой серии опытов, показали, что в волосках тычиночных нитей традесканций, растущих в почвах Мецамора, Агавнатуна, Армавира и Ошакана, происходят изменения частоты образования соматических мутаций в зависимости от пункта исследования. Повышение ее уровня отмечается начиная с пункта Мецамор, где частота как РМС, так и БМС превосходит спонтанный уровень в 2,04 раза. Наивысший уровень РМС отмечается в пробах почвы Агавнатуна ($1,92 \pm 0,33$), а БМС – Ошакана ($12,56 \pm 0,85$), где частота мутаций превосходит уровень контроля в 3,2 раза (табл. 1). В почвах указанных четырех пунктов общая частота РМС превышает спонтанный уровень в 2,2–4,6 раза, а частота БМС – в 1,7–3,2 раза. Наименьший уровень РМС выявлен в пробах почвы Ошакана, а БМС – Армавира ($p < 0,001$).

Таблица 1

Генотоксичность почв населенных пунктов

Пункты взятия почвы	РМС, $1000 \pm m$	БМС, $1000 \pm m$	Тетрады с МЯ, % $\pm m$	МЯ в тетрадах, % $\pm m$
Мецамор	$1,20 \pm 0,26^{***}$	$8,03 \pm 0,67^{***}$	$15,87 \pm 0,67^{***}$	$26,90 \pm 0,81^{***}$
Агавнатун	$1,92 \pm 0,33^{***}$	$8,13 \pm 0,68^{***}$	$15,13 \pm 0,65^{***}$	$24,20 \pm 0,78^{***}$
Армавир	$1,44 \pm 0,28^{**}$	$6,64 \pm 0,62^{***}$	$14,72 \pm 0,65^{***}$	$21,80 \pm 0,75^{***}$
Ошакан	$0,92 \pm 0,23$	$12,56 \pm 0,85^{***}$	$32,0 \pm 0,85^{***}$	$61,0 \pm 0,89^{***}$
контроль	$0,41 \pm 0,16$	$3,93 \pm 0,48$	$9,8 \pm 0,54$	$13,4 \pm 0,62$

*** – $p < 0,001$, ** – $p < 0,01$.

Интересно, что аналогичная зависимость отмечается не только в соматических, но и в спорогенных клетках традесканции – в тетрадах микроспор. В данном случае при применении теста Трад МЯ частота образования тетрад с МЯ превышает спонтанный уровень в 1,5–3,2 раза, а при подсчете МЯ в

тетрадах количество их превосходит спонтанный уровень в 1,6–4,5 раза. Надо отметить, что наивысшая частота образования МЯ в тетрадах и появления БМС выявлена в пробах почвы Ошакана (табл.1).

С применением статистической компьютерной программы ANOVA обнаружена достоверная корреляция между частотой образования МЯ в тетрадах традесканции, отражающей уровень нерасхождения или повреждения хромосом при микроспорогенезе, и частотой БМС.

Таблица 2
Генотоксичность водных вытяжек почв населенных пунктов

Пункты взятия почвы	Вид почвы	Число изучаемых волосков	Генетические изменения на 1000±m		Морфологические изменения на 1000±m	
			PMC	БМС	кол-во карликовых волосков	кол-во цветков с измененным числом тычинок
Мецамор	серозем	5478	1,09±0,49	9,13±1,28	12,96±1,52	0,55±0,31
	чернозем	9621	0,42±0,21	11,54±1,09	7,38±0,87	1,25±0,36
Мргашат	серозем	7891	1,65±0,46***	5,58±0,84***	6,72±0,91	0,89±0,33
	чернозем	4067	1,23±0,55	20,16±2,20***	2,25±0,74	1,25±0,55
Айгешат	серозем	7777	1,29±0,41*	36,13±0,19***	3,60±0,62	0,51±0,25
	чернозем	7917	0,25±0,18	27,40±1,83***	1,85±0,48	0,13±0,12
контроль	серозем	7190	0,55±0,28	73,57±3,08***	1,95±0,16	0,42±0,24
	чернозем	5950	0,17±0,17	10,75±1,34	1,35±0,51	0,84±0,40

*** – p<0,001, * – p<0,05.

Опыты второй серии (водные вытяжки почв) выявили существенные отличия частот мутаций в соматических клетках в зависимости как от вида почв, так и от пунктов исследования (табл. 2). В данной серии повышение PMC отмечается в сероземных почвах всех изучаемых пунктов. Указанная закономерность имеет место и у контрольного варианта (Арзни). Однако наивысший уровень PMC, превышающий уровень контроля в 3 раза, выявили в сероземных почвах Мргашата. Далее идет серозем Айгешата, где частота PMC превосходит контрольный уровень в 2,35 раза, достигая 1,29±0,41. Во второй серии опытов высокой активностью БМС выделяются сероземные и черноземные почвы Айгешата, а также черноземные почвы Мргашата.

Надо отметить, что во второй серии опытов помимо генетических изменений были отмечены и морфологические аномалии. Наиболее часто образуются карликовые тычиночные волоски, содержащие всего от 2 до 10 клеток, а также происходит изменение числа тычинок (вместо 6 тычинок формируются 3, 4 или 5) (табл. 2). Интересно, что частота появления карликовых тычиночных волосков у растений, обработанных в водных вытяжках сероземных почв, повышается во всех взятых пунктах, однако заметное изменение числа тычинок обнаружено только в водных вытяжках черноземных почв Мецамора, Мргашата и Арзни, а в пробах Айгешата – в сероземных почвах.

Таким образом, с применением высокочувствительных тест-систем традесканции (клон 02) выявлена зависимость генотоксичности изучаемых образцов почвы от ее вида и местонахождения. Показано, что среди применимых тестов наиболее результативными оказались тесты по выявлению

рецессивных генетических мутаций и образованию микроядер в тетрадах микроспор. Указанные тесты могут применяться для оценки генотоксичности загрязнения окружающей среды.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ, Грант №A-773

Лаборатория общей биологии,
подгруппа генетики и цитологии

Поступила 22.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Налбандян А.Г., Ананян В.Л. – Материалы II республиканской молодежной научной конференции. Армения, 2001, с. 73–78.
2. Sparrow A.H., Underbrink A.G., Rossi H.H. – Science, 1972, v. 176, № 4037, p. 916–918.
3. Underbrink A.G., Schaeerer L.A., Sparrow A.H. – Plenum Press, 1973, v. 3, № 9, p. 171–207.
4. Sparrow A.H., Schaeerer L.A., Villalobos-Pictirini R. – Mutat. Res., 1974, v. 26, № 4, p. 265–269.
5. Ma T.H., Cabrera G.L., Cebulska-Wasilewska A., Chen R., Loarca F., Vandenberg A.L., Salamone M.E. – Mutat. Res., 1994, v. 310, p. 211–220.
6. Ma T.H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.C., Sandhu S.S., Vandenberg A.L., Salamone M.F. – Mutat. Res., 1994, v. 310, p. 221–230.
7. Гроссман С., Тернер Дж. Математика для биологов. М.: Высшая школа, 1983, с.383.

Վ. Ս. ՊՈՂՍՅԱՆ, Է. Ա. ԱՂԱՋԱՆՅԱՆ, Ա. Լ. ԱԹՈՅԱՆՑ, Ռ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ
ՀՈՂԵՐԻ ԳԵՆՈՏՈՔՍԻԿՈՒԹՅԱՆ ԲԱՑԱՀԱՅՏՈՒՄԸ ԲՈՒՍԱԿԱՆ
ՏԵՍ-ՀԱՍՏԱԿՐԳԵՐԻ ԿԻՐԱՊՄԱՍՔ

Ամփոփում

Տրադեսկանցիայի 02 կլոնի կիրառմամբ ուսումնասիրվել է սոմատիկ ռեցենիվ մուտացիաների և միկրոսպորների տեսրադներում միկրոկրիզների առաջացման հաճախականությունը Մեծամոր, Աղավնատուն, Օշական, Մրգաշատ և Այգեշատ գյուղերի բնակելի տարածքներից վերցված հողերում:

Գորշահողերի և սևահողերի ջրային քաշվածքի կիրառումով պարզվել է, որ գենետիկական փոփոխությունների տարրերությունները կախված են ինչպես հողերի տեսակներից, այնպես էլ նրանց գոնվելու վայրից:

V. S. POGHOSYAN, E. A. AGHADJANYAN, A. L. ATOYANTS, R. M. HARUTUNYAN

THE REVELATION OF SOIL GENOTOXICITY USING THE PLANT ASSAYS

Summary

Using the 02 clone of *Tradescantia* the frequency of emergence of somatic recessive mutations in stamen hair and micronucleus in tetrads was revealed in soils taken from dwelling areas of Metsamor, Aghavnatun, Armavir, Oshakan, Mrgashat and Ajgeshat villages.

The investigations of water extract of grey and black soils was revealed, that heterogeneity of genetic changes depends on the types of soils and the research areas.

Биология

УДК 528,28

М. Г. ТАСЛАХЧЬЯН, Н. А. КАРАПЕТЯН, Е. Ю. СОГОЯН, А. М. ПЕТРОСЯН

**ПАТОГЕННАЯ МИКОБИОТА ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ И ДИКОРАСТУЩИХ
ВИДОВ КЛЕВЕРА В АРМЕНИИ**

В статье приведены данные о грибах, паразитирующих на различных возделываемых и дикорастущих видах клевера. Отмечены наиболее подверженные грибным патогенам, а также устойчивые к болезням виды.

Введение. Являясь древней земледельческой страной, Армения отличается большим разнообразием культурных растений, что в первую очередь объясняется особенностями рельефа и климата. Этим же можно объяснить богатство и разнообразие диких сородичей многих культурных растений, в частности таких, как зерновые, зернобобовые, кормовые, плодово-ягодные и другие.

Дикие сородичи культурных растений являются видами аборигенной флоры, которые в эволюционно-генетическом отношении близки к культурным растениям. Вследствие естественного отбора сформировалась система коадаптивных генов этих растений, что способствует сохранению устойчивого равновесия в условиях изменчивости окружающей среды. В связи с этим дикие сородичи считаются донорами отсутствующих или слабовыраженных признаков и свойств для культурных растений [1]. Известно, что для улучшения существующих и создания новых ценных сортов культурных растений необходимо сохранять и обогащать их генофонд путем охраны и использования диких сородичей.

Многолетние систематические исследования паразитной микробиоты культурных и дикорастущих растений Республики Армения нашли отражение в семи томах «Микофлора Армянской ССР» [2], однако в последние десятилетия эти работы приостановились. Между тем, именно сейчас микологические и фитопатологические исследования в аграрном секторе приобретают особую злободневность в связи с такими факторами, как недоступность химических средств защиты растений из-за их дороговизны, завоз в республику вместе с семенами и посадочным материалом новых патогенов, ухудшение общей экологической обстановки и др. В настоящее время защита растений рассматривается как проблема, имеющая исключительное социальное,

общебиологическое и экономическое значение. Земледелие несет от вредителей, болезней и сорняков потери, которые в отдельных случаях достигают 20–30% возможного урожая.

В настоящем сообщении приведен обзор паразитных грибов, обнаруженных на видах клевера, и описание вызываемых ими заболеваний. В статье отражены результаты проведенных в 2000–2003 гг. в Мармарицком ущелье исследований микробиоты клевера.

Результаты исследований и обсуждение. Из посевных кормовых бобовых культур в Армении распространены виды клевера, люцерны, донника, эспарцета, вики и другие. Многие виды клевера подвержены грибным болезням. Поражаются, а иногда и погибают различные части растения – корни, корневая шейка, стебли, листья и соцветия. Важной проблемой при возделывании клевера является создание и сохранение хорошего травостоя, зависящего от ряда факторов. Один из них – комплекс болезней, поражающих корни и корневую шейку. К ним относятся болезни всходов, различные формы корневой гнили и гнили корневой шейки. Эти болезни, по всей вероятности, наиболее вредоносные из всех остальных болезней клевера, встречаются повсеместно в районах его возделывания.

Из болезней корневой шейки и стеблей клевера в Армении более вредными являются следующие.

Рак (гнили корневой шейки и стеблей). Возбудитель – гриб *Sclerotinia trifoliorum*. Эта болезнь сильно вредит посевам клевера, особенно красного (*Trifolium pratense*), часто вызывая массовую гибель растений. Отмечен в Армении и на других видах клевера (см. таблицу). Основным источником инфекции являются склероции гриба, которые сохраняют жизнеспособность, оставаясь в почве в течение нескольких лет. Осеню при благоприятных условиях склероции прорастают, образуя апотеции, в которых развивается множество спор, рассеивающихся по листьям и черешкам растений. Наибольшее изреживание травостоя под воздействием этой инфекции происходит в конце зимы и начале весны. При благоприятных для развития гриба условиях болезнь поражает все поле и борьба с ней становится затруднительной. Наиболее эффективны многопольные севообороты, тщательная обработка почвы, глубокая вспашка. Сорта, приспособленные к местным условиям, более устойчивы к болезни, чем неприспособленные. Выведение устойчивых сортов представляет собой наиболее перспективный метод борьбы. И здесь, по-видимому, целесообразно использовать те дикие виды клевера, которые не поражаются этим грибом.

Возбудителями наиболее вредоносных заболеваний всходов являются виды родов *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* и другие грибы. Эти болезни наблюдаются во всех районах возделывания клевера и иногда ведут к сильному изреживанию травостоя. Одним из наиболее вирулентных возбудителей является *Pythium debaryanum*. Гибель всходов после их появления обусловливается инфекцией, поражающей растения вскоре после прорастания семян. Болезнь развивается медленно, так что растения успевают взойти, но вскоре гибнут. Часть растений выживает. Протравливание семян частично способствует борьбе с этим заболеванием.

Церкоспориоз листьев и стеблей, вызываемый грибом *Cercospora zebrina*, встречается на многих посевных и диких видах клевера, однако в отличие от других регионов (Западная Европа, Северная Америка) очень редко развивается в сильно вредоносной форме. В редкие очень влажные годы поражение стеблей может иметь серьезные последствия, поскольку оно вызывает увядание и гибель верхних частей растений.

Поражаемость видов клевера патогенными грибами

Грибы	Виды <i>Trifolium</i>														
	<i>T. pratense</i>	<i>T. alpestre</i>	<i>T. arvense</i>	<i>T. repens</i>	<i>T. ambiguum</i>	<i>T. campestre</i>	<i>T. hybridum</i>	<i>T. medium</i>	<i>T. rubens</i>	<i>T. diffusum</i>	<i>T. incarnatum</i>	<i>T. trichoceros</i>	<i>T. resupinatum</i>	<i>T. bonariense</i>	<i>T. caucasicum</i>
<i>Ascochita boltschauseri</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cercospora zebrina</i>	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Kabatiella caulincola</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Microsphaera trifolii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
<i>Ovularia spheroidea</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peronospora trifolii-alpestris</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peronospora trifolii-arvensis</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peronospora trifolii-minoris</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peronospora trifolii-repentis</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phyllosticta trifolii</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phyllosticta trifolii-montani</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phyllosticta trifoliorum</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudopeziza trifolii</i>	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Pythium debaryanum</i>	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Ramularia trifolii</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Sclerotinia trifoliorum</i>	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stemphylium sarciniforme</i>	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Uromyces fallens</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>Uromyces flectens</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Uromyces minor</i>	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Uromyces trifolii-repentis</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого: 21	10	4	5	9	7	4	2	2	1	3	1	2	2	1	2

Бурая пятнистость листьев, возбудителем которой является гриб *Pseudopeziza trifolii*, широко распространена в более влажных и прохладных районах возделывания клевера. Она имеет второстепенное значение, но иногда при сильной вспышке вызывает сильную дефолиацию растений. Эта болезнь чаще всего поражает листья клевера красного (*T. pratense*), хотя развивается в не сильно вредоносной форме и на других видах.

Пятнистость листьев вызывает гриб *Stemphylium sarciniforme*, обычно поражая клевер красный и белый (*T. repens*). Она не считается серьезной болезнью клевера, но, возможно, ее последствия недооцениваются. В отдельные годы на некоторых полях пятнистость может вызывать сильную дефолиацию и потерю 15–40% урожая.

Мучнистая роса, вызываемая грибом *Microsphaera trifolii*, – широко распространенная в Республике болезнь клевера [3–4]. Она проявляется в

любой фазе развития растений, но лучше всего развивается поздним летом и осенью. Гриб отмечен почти на всех культивируемых и обследованных нами диких видах клевера и существенно влияет на качество и количество урожая.

Различные виды ржавчины, поражающие клевер, распространены во всех районах Армении [5]. Отмечено четыре вида из рода *Uromyces*. Это *Uromyces fallens*, *U. minor*, *U. flectens* и *U. trifolii-repentis* (см. таблицу). Для борьбы с ржавчиной часто используют fungициды, однако их употребление редко дает положительные результаты. Среди достаточно большого количества диких клеверов существует много не поражающихся ржавчиной видов, из которых возможно выведение устойчивых сортов.

Ложная мучнистая роса клевера в Армении вызывается четырьмя видами рода *Peronospora*, которые также проявляют узкую избирательность в отношении видов клевера [6]. Это *Peronospora trifolii-alpestris*, *P. trifolii-arvensis*, *P. trifolii-repentis* и *P. trifolii-minoris*. В условиях Армении ложная мучнистая роса на клевере альпийском относится к числу самых вредоносных болезней. В годы массового развития гриб вызывает сплошное поражение растений, приводящее к их преждевременному усыханию. Для борьбы с ложной мучнистой росой клевера рекомендуется низкое скашивание и тщательная уборка скошенного сена. Предлагается также протравливание семян и опрыскивание соответствующими химикатами сразу же после появления первых признаков болезни.

Из паразитных грибов, вызывающих пятнистости листьев клевера, в республике обнаружены гифомицеты *Ovularia sphaeroidea* и *Ramularia trifolii*, не причиняющие сильного вреда посевам. Сферопсидальные грибы *Phyllosticta trifolii*, *Ph. trifolii-montani* и *Ph. trifoliorum* в годы сильного развития могут значительно снизить кормовые качества растений. *Ascochita boltschauseri* в слабой степени поражает виды клевера, вики, эспарцета.

Проведенные нами за 2000–2001 гг. обследования посевов клевера на приусадебных участках и его дикорастущих видов в ущелье реки Мармарики позволили помимо многих отмеченных выше патогенов выявить новый для республики вид *Kabatiella caudicola* – возбудителя северного антракноза. Поражаются в основном черешки и стебли, на которых образуются темно-бурые или черные пятна. Черешки поникают, образуя в месте поражения изгиб, известный под названием «пастушеского посоха». Эта болезнь пока развивается в очень слабой и не вредоносной форме на *Trifolium pratense*.

Данные о сукцессии отмеченных патогенов, об изменениях их вирулентности, вредоносности и встречаемости в республике могут быть более достоверными и точными после длительных исследований с охватом других районов возделывания и обитания диких видов клевера.

Таким образом, как явствует из таблицы, на клевере обнаружены грибы 21 вида, вызывающие различные заболевания. Наиболее подверженными грибным болезням являются виды *Trifolium pratense*, на котором отмечено 10 патогенов, *T. repens* – 9 и *T. ambiguum* – 7. На остальных клеверах отмечено от одного до пяти видов грибов. В данном сообщении приводятся те обследованные виды клевера, на которых выявлены грибные патогены. Среди непораженных грибами можно отметить виды *T. parviflorum*, *T. spinosum*,

T. spadiceum, *T. neglectum*, *T. hirtum*, *T. echinatum* и ряд других. В статью не включены факультативные паразиты, поселяющиеся на уже отмерших или перезимовавших растениях клевера.

Кафедра ботаники

Поступила 16.02.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Nazarova E. Wild relatives of cultivated plants. Materials of the logical framework workshop. Yerevan, 1999, p. 37.
2. Микофлора Армянской ССР. Т. 1-7. Ер., 1967-1994.
3. Симонян С.А. Мучнисторосные грибы Армении. Ер.: Изд-во АН Армении, 1994.
4. Головин Б.Н. Мучнисторосные грибы, паразитирующие на культурных и полезных диких растениях. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960.
5. Тетеревникова-Бабаян Д.Н. Ржавчинные грибы. Ер.: Изд-во ЕГУ, 1977.
6. Осипян Л.Л. Перноспоровые грибы. Ер.: Митк, 1967.

Մ. Գ. ԹԱՍԼԱԽՆՅԱՆ, Ն. Հ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ե. ՅՈՒ. ՍՈՂՈՅԱՆ, Ա. Մ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՑԱՆՈՎԻ ԵՎ ՎԱՅՐԻ ՏԵՍԱԿՆԵՐԻ ՊԱԹՈԳԵՆ
ՄԻԿՈԲԻՈՏԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻՒՄ

Ամփոփում

Հողվածում բերված են տեղիկություններ Հայաստանում մշակովի և վայրի երեքնուկի տարրեր տեսակների վրա մակաբուծող սնկերի և դրանց կողմից հարուցվող հիվանդությունների մասին: Նշվում են նաև սնկային հիվանդություններին ենթակա և նրանց նկատմամբ կայուն տեսակները:

M. G. TASLAKHCHYAN, N. H. KARAPETYAN, E. Yu. SOGOYAN, A. M. PETROSYAN

PARASITIC MYCOBIOTA OF CULTIVATED AND WILD SPECIES OF CLOVER IN ARMENIA

Summary

In the article information concerning the parasitic fungi, which were found in the cultivated and wild species of clover in Armenia and diseases arisen from them is introduced. The species of clover, which are stable for fungi diseases, have been also noted.

Геология

УДК 551.491.4

В. П. ВАРДАНЯН, Р. С. МИНАСЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО СТОКА ЛОРИЙСКОГО ПЛАТО
(ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

На основании анализа результатов геофизических исследований получены новые данные о распределении подземного стока Лорийского вулканического плато. Составленные геолого-геофизические разрезы и сводная карта рельефа региональных водоупорных пород показывают наличие здесь сильно расчлененной сети палеорек. Основное направление питания подземных вод для плато ожидается со стороны Джавахетского хребта, а также с северо-востока. Здесь формируются основныесосредоточенные потоки, среди которых главным является известный Таширский межлавовый водоток. Наиболее водообильный участок расположен в его центральной части, где выявлено несколько водоносных интервалов.

Лорийское плато располагается на севере Армении и ограничено Джавахетским, Базумским и Вирайоцким хребтами; общая площадь плато около 550 км^2 с абсолютными отметками 1400–1500 м. Гидрографическая сеть плато представлена системой р. Дзорагет. Согласно геологическому строению, на размытой поверхности пород различных горизонтов (до эоценена включительно) налегает обширный покров лав. Считается, что последние извергались из вулканических аппаратов Джавахетского хребта и текли на северо-восток по долинам Палеодзорагет и Палеодебед, образуя на своем пути обширное Лорийское плато [1]. Морфоструктурные, литологические и физико-географические факторы самого плато и его горного обрамления обуславливают образование значительных динамических ресурсов грунтовых и напорных вод. На основании составленной нами сводной карты подлавовый водоупорный рельеф представляется сильно расчлененной сетью палеорек (рис. 1). В отличие от многих вулканических регионов Армянского нагорья, здесь породы регионального водоупора представлены относительно высокоомными образованиями (ρ изменяется в среднем от 80 до 300 Ом·м) и в литологическом отношении связаны с плотными долеритовыми базальтами и вулканогенно-осадочными породами (рис. 1 и 2). Среди геологических образований бассейна р. Дзорагет более 30% составляют сильно трещиноватые неоген-четвертичные вулканические породы, и примерно такая же площадь покрыта чехлом пористых рыхлообломочных образований. Многочисленными дизъюнктивными нарушениями в толще коренных пород создана сеть

мелких и крупных трещин с глубиной проникновения от нескольких до сотен метров. Указанные факторы создают благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков вглубь лавовых покровов [2].

Основными направлениями питания подземных вод для плато следует считать северо-восточное и северо-западное (со стороны Джавахетского хребта) [3]. Здесь формируются основные сосредоточенные потоки, среди которых главным является известный Таширский межлавовый водоток. Последний проходит с севера на юг и в юго-восточном направлении разгружается в каньонах рек Дзорагет и Ташир в виде отдельных групп родников (известны Новосельцовская, Аксюдинская, Кызкалинская группы родников с суммарным расходом около 1600 л/с). Инфильтрационные воды, достигая регионального водоупора, далее двигаются по его уклону. Местами они задерживаются на локальных водоупорных образованиях.

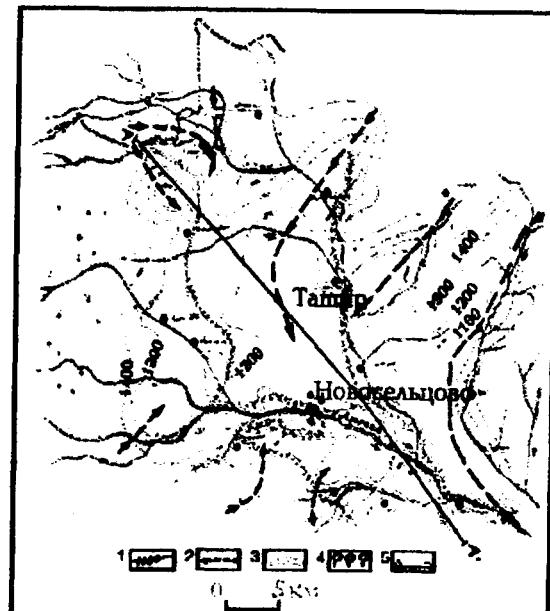
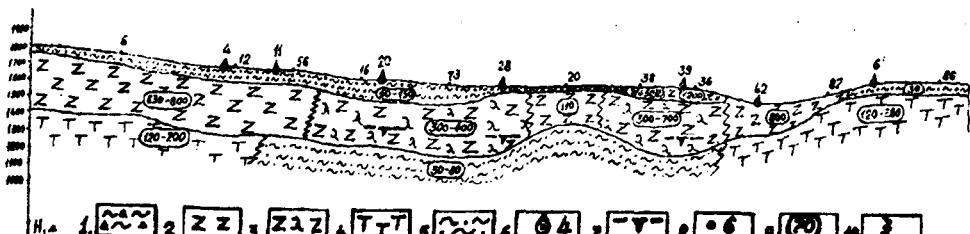


Рис. 1. Карта рельефа регионального водоупора Лорийского вулканического плато, 2003г. 1 – изолинии рельефа регионального водоупора в абсолютных отметках (в м); 2 – основные пути сосредоточенного движения подземных вод (палеодолины); 3 – контакт подлавовых водоупорных пород разного литологического состава; 4 – родники; 5 – линия геоэлектрического разреза.



По гидрогеофизическим и гидрогеологическим данным, подземные водотоки установлены также со стороны северо-восточной части террито-

рии. Здесь вулканогенно-осадочные породы неогена представлены, в основном, липаритами, андезитами, туфобрекчиями, туфопесчаниками, песчаниками, глинами. Обычно они являются водоупорными отложениями.

Известно, что эксплуатационные запасы подземных вод обеспечиваются естественными ресурсами, которые находят свое отражение в общем водном балансе территории. По данным отчета О.А. Агиняна, сток р. Дзорагет (как основной гидрографической единицы Лорийского плато) у гидрометрического поста, ниже впадения р. Гергер, составляет около 1580л/с. Карта рельефа регионального водоупора позволяет с учетом гидрогеологических данных рассчитать расход подземного потока по формуле Дарси: $Q=K_f m BI$, где Q – расход потока в $\text{м}^3/\text{сут.}$, $K_f m$ – водопроводимость водоносного горизонта; B и I – ширина (м) и гидравлический уклон потока соответственно. Для расчета взяты следующие средние параметры: $K_f m = 740\text{м}^2/\text{сут.}$, $B = 6000\text{м}$, $I = 0,022$. Для Q получено значение около 1100л/с. Таким образом, общие естественные ресурсы подземных вод, которые могут быть положены в основу обоснования эксплуатационных запасов, составляют не менее 1000л/с.

В пределах Лорийского плато наиболее водообильный участок расположен в его центральной части, где выявлено несколько водоносных интервалов, из которых основными следует считать нижние интервалы, залегающие на глубинах 120–130м. Указанный участок, расположенный между населенными пунктами Ташир–Новосельцово–Кызкала, является наиболее перспективным для проведения дальнейших разведочных гидрогеологических работ.

Кафедра геофизических методов поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

Поступила 04.04.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья. Еր.: Изд-во ЕГУ, 1969, 375 с.
2. Геология Армянской ССР. Гидрогеология. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1974, т. VIII, 380 с.
3. Минаян Р.С., Варданян В.П. Палеорельеф и распределение подземного стока Центрального вулканического нагорья Армении. Ер.: Изд-во Асогик, 2003.

Վ. Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ռ. Ս. ՄԻՆԱՅԱՆ

ԼՈՂՎԱ ՍԱՐԱՀՐԹԻ ԱՏՈՐԵՐԿՐՅԱ ՀՈՍՁԻ ԲԱԾԽՎԱՅՈՒԹՅՈՒՆԸ
(Ըստ ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՀՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ)

Ամփոփում

Երկրաֆիզիկական ուսումնասիրությունների արդյունքների վերլուծության հիման վրա ստացվել են նոր տվյալներ Լողվա հրաբխային սարահար-

թի ստորերկրյա հոսքի բաշխվածության վերաբերյալ: Կառուցված երկրաբանա-երկրաֆիզիկական կտրվածքները և ուղիղնալ ջրամերժ ապարների ուղիելիքի համընդհանուր քարտեզը ցույց են տալիս քարդ ջրագրական ցանցի առկայությունը: Սարահարթի ստորերկրյա ջրերի սնման հիմնական ուղղությունը սպասվում է Զավախիք լեռնաշրջայից, ինչպես նաև հյուսիս-արևելքից: Այստեղ ձևավորվում են հիմնական կենտրոնացված հոսքեր, որոնցից զիսավորը Տաշիրի հայտնի միջլավային ջրահոսքն է: Ամենաջրառատ տեղամասը ընկած է նրա կենտրոնական մասում, որտեղ առանձնանում են մի քանի ջրատար միջակայքեր:

V. P. VARDANYAN, R. S. MINASYAN

LORY PLATEAU GROUND WATER FLOW DISTRIBUTION (ON THE DATA OF GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS)

Summary

Analysis of geophysical investigations data brought about new data concerning ground water flow distribution of Lory plateau. Compiled geological-geophysical cross-sections and resultive map of regional confining strata shows the existence of highly dissected network of buried valleys. Ground water recharge area is located at Jawakhet Ridge which is the basic area of ground water cumulative runoff development. One of mentioned directions of ground water flow is well-known Tashir interlava flow. The most water-bearing area is located in its central part, where have been encountered a number of ground water horizons.

ՀԱՂԱՐԴՈՒՄԵՐ *

СООБЩЕНИЯ

Математика

УДК 512.1

Н. В. ШИРВАНЯН, В. Л. ШИРВАНЯН

О ЗАДАНИИ ГРУППЫ 7.7 ИЗ «КОУРОВСКОЙ ТЕТРАДИ»

Рассмотрена одна специальная конечно-определенная группа с двумя образующими и двумя определяющими соотношениями. Приведено более простое задание этой группы.

В известном сборнике нерешенных проблем по теории групп под названием «Коуровская тетрадь» приведена следующая задача (7.7 [1]).

Задана группа $G = \langle a, b; \quad a^9 = 1, \quad ab = b^2a^2 \rangle$.

Спрашивается – конечна она или нет.

Группа G содержит $F(2,9)$ – единственную из класса групп Фибоначи, о которой неизвестно, конечна она или бесконечна.

В настоящей статье приведем другое представление группы G .

Пусть P и Q – слова в алфавите группы G . Будем считать $P = Q$, если имеется конечный ряд преобразований, переводящий слово P в Q :

$$P = P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_n = Q,$$

где каждый переход $P_i \rightarrow P_{i+1}$ получается применением к P_i одного из соотношений группы G и вставкой или сокращением образующих

$$a^r a^{-r} = 1, \quad b^r b^{-r} = 1, \quad (r = \pm 1).$$

Лемма 1. В группе G выполняется соотношение $b^{18} = 1$.

Доказательство. Из определяющих соотношений группы G получаем:

$$(b^{-1}a)^9 = (ba^2b^{-1})^9 = ba^{18}b^{-1} = bb^{-1} = 1.$$

Отсюда $(ab^{-1})^9 = 1$ и, следовательно, $(ba^{-1})^9 = 1$. Но, с другой стороны, из соотношений группы G имеем $ba^{-1} = a^{-1}b^2a$. Следовательно, $1 = (ba^{-1})^9 = (a^{-1}b^2a)^9 = a^{-1}b^{18}a$. Отсюда $b^{18} = 1$. А так как $b^{-1}a$ имеет порядок 9, то порядок элемента b равен 18.

Из леммы 1 следует

Теорема. Группа G имеет представление $G = \langle a, b; a^9 = 1, b^{18} = 1, ab = b^2a^2 \rangle$.

Введем в G образующие p, q и соотношения $q = a^{-1}$, $p = b$. Получаем группу $G_1 = \langle a, b, p, q; a^9 = 1, b^{18} = 1, ab = b^2a^2, q = a^{-1}, p = b \rangle$. Исключая образующие a и b , с применением преобразования Тице [2] получаем группу $G_1 = \langle p, q; q^9 = 1, p^{18} = 1, pq^2 = qp^2, (pq)^9 = 1 \rangle$, причем группы G и G_1 изоморфны ($G \approx G_1$).

Полученное представление нам кажется более наглядным для преобразования слов в G .

Арм. СХА

Поступило 13.06.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Коуровская тетрадь. Под ред. Блошицына В.Я., Мерзлякова Д.И., Чуркина В.А. Новосибирск, 1986.
2. Магнус В., Кэррас А., Солитэр Д. Комбинаторная теория групп. М.: Наука, 1974, 455 с.

Ն. Վ. ՇԻՐՎԱՆՅԱՆ, Վ. Լ. ՇԻՐՎԱՆՅԱՆ

ԿՈՈՒՐՈՎԸՆ ՏԵՏՐԻՑ 7.7 ԽՄՔԻ ՆԵՐԿԱՅԱՑՄԱՆ ՍԱՍԻՆ

Ամփոփում

Դիտարկվում է Կոուրովյան տետրում առաջադրված մի հատուկ խումբ, որը տրված է երկու ծնիշներով և երկու որոշիչ առնչություններով: Ներկա աշխատանքում բերվում է նշված խմբի ավելի պարզ ներկայացում:

N. V. SHIRVANYAN, V. L. SHIRVANYAN

ON PRESENTATIONS OF THE GROUP 7.7 FROM KOUROV NOTEBOOK

Summary

In the well-known book [1] unsolvable problems there is one special group presented by two generators and the defining relations. In this paper we give simple presentations of the group.

Химия

УДК 547. 491.8

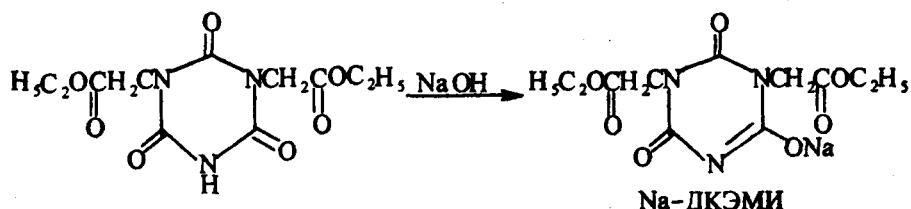
Г. В. АКОПЯН, Р. А. КАРАМЯН, С. К. ГРИГОРЯН, Р. Н. ЕНГИБАРЯН, М. Л. ЕРИЦЯН

ХЕЛАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ 1,3-ДИКАРБЭТОКСИМЕТИЛИЗОЦИА-
НУРАТА С ИОНАМИ МЕТАЛЛОВ Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}

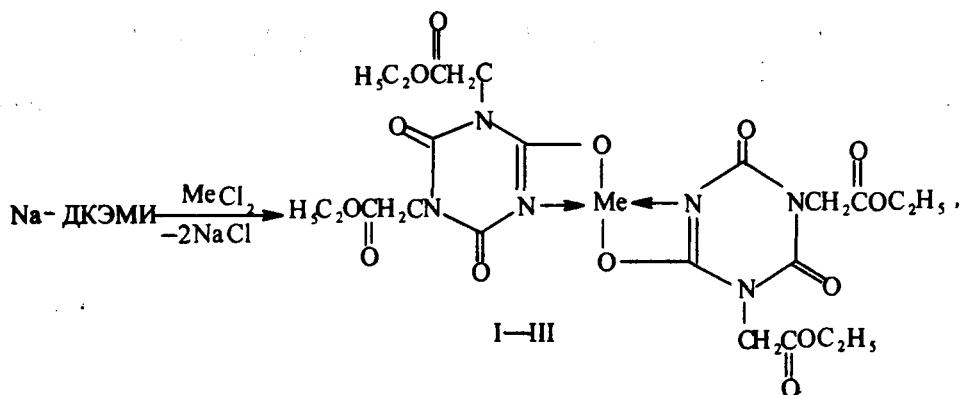
Исследованы реакции взаимодействия натриевой соли 1,3-дикарбэто-
ксиметилизоцианурата с хлоридами металлов $\text{Ni}(\text{II})$, $\text{Co}(\text{II})$, $\text{Cu}(\text{II})$. Структура
и состав синтезированных комплексов исследованы ИК-, ПМР-спектро-
скопией и элементным анализом.

Синтезу и практическому использованию хелатных комплексов на
основе бис-производных изоциануровой кислоты и металлов с переменной
валентностью посвящены работы [1–5]. Однако данные по хелатным соединениям
на основе бис-сложнозифирных производных изоциануровой кислоты
отсутствуют. Интерес к таким соединениям обусловлен тем, что полученные
на их основе сложнозифирные полимеры алкидного типа, носящие металлические
метки, могут иметь большое практическое значение.

В связи с этим, на основе ранее синтезированного 1,3-дикарбэто-
ксиметилизоцианурата (ДКЭМИ) [6] с использованием солей ионов металлов
 Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} получены хелатные металлокомплексы. Следует отметить,
что в водной среде в присутствии щелочей группа $\text{N}=\text{O}$ в молекуле
ДКЭМИ переходит в энольную форму.

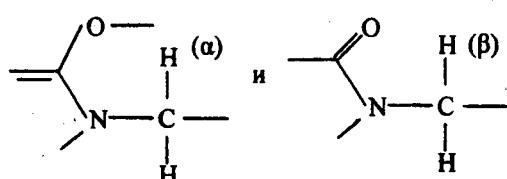


Проводя в среде диметилформамида реакции между Na-ДКЭМИ и
хлоридами вышеуказанных ионов металлов, получили следующие соединения I–III:



Состав и структура соединений I—III исследованы элементным анализом, ИК- и ПМР-спектроскопией.

При исследовании соединений I—II методом ПМР учитывалась магнитно-неэквивалентность протонов метиленовых групп карбэтоксиметиленовых радикалов в изоциануратном гетероцикле:



Как видно из приведенных схем, α - и β -протоны по-разному находятся в сопряжении с симм-триазиновым циклом, поэтому в ПМР-спектрах каждый из них проявляется в виде сигнала с химическими сдвигами 2,8 м.д. (α -протон) и 3,0 м.д. (β -протон).

В ИК-спектрах вышеперечисленных комплексов обнаружены полосы поглощения в областях 1620 , 1695 , 1720cm^{-1} , подтверждающие наличие функциональных групп $-\text{C}=\text{N}$, $>\text{C}=\text{O}$, $-\text{C}(=\text{O})\text{OR}$ соответственно.

Полоса поглощения валентных колебаний $-\text{C}=\text{N}$ в Na-ДКЭМИ наблюдается в области 1640cm^{-1} , а в комплексах с Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} она сдвигается в низкочастотную область (1620cm^{-1}).

Экспериментальная часть. ИК- и ПМР-спектры сняты на приборах UR-20 и Mercury-300.

ДКЭМИ синтезирован и идентифицирован согласно [6]. Использованы NiCl_2 , CoCl_2 и CuCl_2 марки ч.д.а. Мол. массы комплексов определялись методом криоскопии [7]. В качестве растворителя использован диоксан ($K=4,63$).

Комплекс Ni^{2+} (или Co^{2+} , или Cu^{2+}) с Na-ДКЭМИ. В 50 мл ДМФА растворяют 8,075 г (0,025 моль) Na-ДКЭМИ и 1,62 г (0,0125 моль) NiCl_2 (или CoCl_2 , или CuCl_2). При перемешивании температуру реакционной массы поднимают до 38 — 40°C и при данной температуре проводят реакцию 3,5—4

часа. В случае NiCl_2 реакционная масса окрашивается в розовый цвет, при CoCl_2 – в фиолетовый, а при CuCl_2 – в зеленый. Через 15–20мин от начала реакции наблюдается выделение белых кристаллов NaCl , после чего реакционную массу охлаждают и фильтрованием отделяют осадок NaCl от маточника. Затем под вакуумом при 15–20мм *рт.ст.* и при 80–85°C отгоняют ДМФА. Осадок растворяют в ацетоне, фильтруют и отделяют непрореагировавшие $\text{Na}\text{-ДКЭМИ}$ и NiCl_2 (или CoCl_2 , или CuCl_2). Образовавшиеся хелатные комплексы неоднократно промывают смесью растворителей этиловый спирт – медицинский эфир при объемном соотношении 1:1.

Хелатный комплекс с ионом Ni^{2+} (I). Выход 73%, кристаллическое вещество розового цвета, разлагается при 230°C и выше. Растворяется в кетонах, этиловом спирте, сложных эфирах. Найдено, %: C 41,0; N 12,5; H 4,3; Ni 4,7. Вычислено, %: C 40,06; N 12,75; H 4,25; Ni 8,95. Мол. масса, г: 630±30 (расч. 659).

Хелатный комплекс с ионом Co^{2+} (II). Выход 65%, кристаллическое вещество сине-фиолетового цвета. Разлагается при 270°C и выше. Найдено, %: C 40,1; N 12,5; H 4,2; Co 8,7. Вычислено, %: C 40,06; N 125; H 4,25; Co 8,95. Мол. масса, г: 640±30 (расч. 659). Растворяется в кетонах, этиловом спирте, сложных эфирах и др.

Хелатный комплекс с ионом Cu^{2+} (III). Выход 63%. Кристаллическое вещество зеленого цвета. Разлагается при 280°C. Найдено, %: C 39,7; N 12,9; H 4,1; Cu 9,7. Вычислено, %: C 39,79; N 12,66; H 4,22; Cu 9,57. Мол. масса, г: 640±30 (расч. 663). Растворяется в кетонах, этиловом спирте, сложных эфирах и др.

Армгоспединиверситет, ЕГУ

Поступило 02.12.2004

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайкуни Т.В., Карапян Р.А., Ерицян М.Л. – Журнал прикладной химии Армении, 2002, № 1–2, с. 49.
2. Ерицян М.Л., Сафарян Э.П., Авакян С.А. – Арм.хим.ж., 1977, т. XXX, с. 601.
3. Քարաբյան Ռ.Ա. Ժողվածու ՀՊՄՀ պրոֆեսորադասախոսական ամձնակազմի, ասպիրանտների, հայցորդների և գիտաշխատողների 52-րդ գիտաժողովի նյութերի. Եր.: Մանկավագը, 2004, էջ. 291.
4. Ерицян М.Л., Сафарян Э.П., Авакян С.А. – Координационная химия, АН СССР, 1982, т. 8, №10, с. 1383–1385.
5. Хачатрян М.А., Аташян С.М., Запышный В.Н., Погосян Г.М. – Координационная химия, 1985, т. 11, № 8, с. 1050.
6. Хоменкова К.К., Френкель С.А., Корнев К.А. – Укр. хим. журн., 1973, т. XXXIX, № 5, с. 476.
7. Рафиков С.Р., Павлова С.А., Твердохлебова И.И. Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 238.

Գ. Վ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ռ. Ա. ՔԱՐԱՄՅԱՆ, Ս. Կ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Հ. Ն. ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ,
Մ. Լ. ԵՐԻԾՅԱՆ

1,3-ԴԻԿԱՐԲՈԽԵԹՈՔՍԻՄԵԹԻԼԻԶՈՑԱՆՈՒՐԱՏԻ ԽԵԼԱՏԱՅԻՆ
ԿՈՍՊԼԵՔՍԻ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} ՄԵՏԱԼՆԵՐԻ
ԻՈՆՆԵՐԻ ՀԵՏ

Ամփոփում

Ուսումնասիրվել են 1,3-դիկարբեթօքսիմեթիլիզոցիանուրատի նատրիումական աղի վոխազդեցության ռեակցիաները Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} մետաղների քլորիդների հետ:

Մինթեզված կոմպլեքսների կառուցվածքն ու կազմությունը ուսումնասիրվել են ԻԿ-, ՊՄԴ-սպեկտրոսկոպիկ մեթոդներով և էլեմենտների անալիզով:

G. V. HAKOBYAN, R. A. KARAMYAN, S. K. GRIGORYAN, H. N. ENGIBARYAN,
M. L. YERITSYAN

INTERACTION OF CHELATE COMPLEXES 1,3-DICARBOXYMETHYLIZOCYANURAT WITH IONS OF METALS Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}

Summary

The reaction of interaction Na of salt 1,3-dicarboxymethylizocyanurat with chloride of metals accordingly have been explored.

The structure and construction of synthesized complexes were investigated by YR-, NMR-spectrum methods and elements analysis.

Биология

УДК 541.124

Т. С. СУКИАСЯН

**ДИСПЕРСИЯ СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ
ФЕРМЕНТОВ ПРИ КОНКУРЕНТНОМ СВЯЗЫВАНИИ ИНГИБИТОРА
С ФЕРМЕНТОМ**

В работе вычислена дисперсия скорости реакции иммобилизованных ферментов при конкретном связывании ингибитора с ферментом. Показано, что при малых концентрациях субстрата с увеличением концентрации дисперсия линейно растет, а при больших концентрациях субстрата – уменьшается. Показано также, что наличие ингибитора не влияет на величину максимальной дисперсии, но сдвигает координату максимума в сторону больших концентраций субстрата.

Введение. В настоящее время иммобилизованные ферменты успешно применяют во многих областях науки и техники. Наиболее впечатляющие успехи связаны с их применением в биосенсорах [1–3]. Полезный сигнал биосенсора возникает в результате обратимого связывания субстрата с иммобилизованным ферментом. Важным параметром биосенсора является его размер. Если он мал, то следует учесть влияние флуктуации числа комплексов субстрата с иммобилизованным ферментом [4] на полезный сигнал биосенсора. Надо отметить, что помимо субстрата в среде может быть и ингибитор, который, связываясь с активным центром иммобилизованного фермента, влияет как на уровень полезного сигнала биосенсора, так и на величину флуктуаций сигнала. Данная работа посвящена теоретическому исследованию влияния конкурентного ингибитора на дисперсию скорости реакции иммобилизованных ферментов.

Теоретическая часть. Примем, что фермент иммобилизован на некотором носителе, в то время как свободные субстрат, продукт и ингибитор находятся в растворе. Рассмотрим случай, когда вначале устанавливается быстрое равновесие между фермент-субстратным комплексом, свободным ферментом и субстратом, а затем наступает медленная стадия реакции – распад фермент-субстратного комплекса на продукт и свободный фермент. В этом случае скорость реакции иммобилизованных ферментов определяется количеством фермент-субстратного комплекса на носителе и скоростью его распада на продукт и свободный фермент. Расчет дисперсии скорости

ферментативной реакции сводится к расчету дисперсии количества фермент-субстратного комплекса на носителе. По аналогии с работой [5] можно определить вероятности того, что активный центр свободен (p_0), занят субстратом (p_s) или занят ингибитором (p_i), следующими формулами:

$$p_0 = \frac{1}{1 + K_s[S_0] + K_i[I]}, \quad p_s = \frac{K_s[S_0]}{1 + K_s[S_0] + K_i[I]}, \quad p_i = \frac{K_i I}{1 + K_s[S_0] + K_i[I]}, \quad (1)$$

где K_s и K_i – константы связывания субстрата и ингибитора с иммобилизованным ферментом соответственно, $[S_0]$ и $[I]$ – концентрации субстрата и ингибитора в растворе вблизи активного центра фермента. Считаем, что иммобилизованные ферменты не взаимодействуют друг с другом. В этом случае связывание субстрата с ними подчиняется вероятностной схеме Бернулли и, согласно ей, среднее число комплексов иммобилизованного фермента с субстратом $\overline{N_s}$ и его дисперсия $\overline{\Delta N_s^2}$ определяются по известным формулам [5]:

$$\overline{N_s} = N p_s, \quad (2)$$

$$\overline{\Delta N_s^2} = N p_s (1 - p_s), \quad (3)$$

где N – максимальное количество иммобилизованного фермента, которое обычно обозначают через $[E_0]$. Поскольку скорость ферментативной реакции V определяется произведением количества фермент-субстратного комплекса N_s на константу скорости распада этого комплекса на свободный фермент и продукт k_2 , т.е. $V = k_2 N_s$, то, учитывая (2) и (3), можно написать следующие окончательные выражения для средней скорости ферментативной реакции V (чтобы не вводить дополнительных обозначений среднюю скорость ферментативной реакции обозначим через V) и ее дисперсии $\overline{\Delta V^2}$ при конкурентном ингибировании в виде

$$V = \frac{V_{\max} [S_0]}{K_M + [S_0] + ([I] K_M / K_i)}, \quad (4)$$

$$\overline{\Delta V^2} = \frac{V_{\max}^2 [S_0] (K_M + [I] K_M / K_i)}{N (K_M + [S_0] + ([I] K_M / K_i))^2}, \quad (5)$$

где $V_{\max} = k_2 [E_0]$, K_M – константа Михаэлиса, в нашем случае $K_M = K_s^{-1}$ [6], K_i – константа ингибирования, которая определяется как $K_i = K_I^{-1}$.

Результаты и их обсуждение. Для анализа полученных результатов перепишем формулу (5) в виде

$$\overline{\Delta V^2} = \frac{V_{\max}^2 [S_0] K_M^1}{N (K_M^1 + [S_0])^2}, \quad \text{где } K_M^1 = K_M (1 + [I] / K_i). \quad (5a)$$

Сопоставление формулы (5a) с соответствующей формулой из работы [7] показывает, что если в (5a) заменить $K_M (1 + [I] / K_i)$ на K_M , то получится

результат работы [7]. Наличие конкурентного ингибитора формально приводит к переопределению константы Михаэлиса. Как и следовало ожидать, если $[I] = 0$, то формула (5а) переходит в соответствующую формулу из работы [7]. Из (5а) видно, что дисперсия скорости ферментативной реакции при малых концентрациях субстрата пропорциональна $[S_0]$, а при больших концентрациях – уменьшается как $1/[S_0]$. Максимальная дисперсия $V_{\max}^2/(4N)$ достигается при $[S_0] = K_M(1 + [I]/K_i)$.

Таким образом, в данной работе вычислена дисперсия скорости реакции иммобилизованных ферментов при наличии конкурентного ингибитора и показано, что его присутствие качественно не меняет зависимость дисперсии скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата. Величина максимальной дисперсии тоже не меняется, однако координата максимума становится равной $[S_0] = K_M(1 + [I]/K_i)$.

Кафедра биофизики

Поступило 11.07.2005

ЛИТЕРАТУРА

1. Mason M.J. – Assoc. Anal. Chem., 1983, v. 66, p. 981–984.
2. Биосенсоры, основы и приложения. Ред. Тернер Э., Карубе И., Уилсон Дж. М.: Мир, 1992, с. 614.
3. Кулис Ю.Ю. Аналитические системы на основе иммобилизованных ферментов. Вильнюс: Мокслас, 1981, с. 200.
4. Arakelyan V.B., Simonyan A. and Wild J. – Biosensors and Bioelectronics, 1998, v. 13, № 1, p. 55–59.
5. Arakelian V.B. – Membr. Cell. Biol., 1996, v. 10, p. 477–482.
6. Келети Т. Основы ферментативной кинетики. М.: Мир, 1990, с. 350.
7. Arakelian V.B., Simonyan A.L., Gevorkyan E.S., Sukiasyan T.S., Arakelyan A.V., Grigoryan B.A., Gevorkyan A.E. – Electronic Journal of Natural Sciences, 2004, v. 3, p. 43–45.

Տ. Ս. ՍՈՒԳԻԱՍՅԱՆ

ԻՄՄՈԲԻԼԻԶԱՑՎԱԾ ՖԵՐՄԵՆՏՆԵՐԻ ՌԵԱԿՑԻԱՅԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ
ԴԻՄՈՒՄՆԱԿԱՆ ՖԵՐՄԵՆՏԻ ԵՎ ԻՆՀԻԲԻՏՈՐԻ ՄՐՅԱԿՑԱՅԻՆ
ԿԱՊՈԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ամփոփում

Աշխատանքում հաշվարկված է իմմոբիլիզացված ֆերմենտների ռեակցիայի արագության դիսպերսիան ինիբիտոր-ֆերմենտ մրցակցային կապման դեպքում: Ցույց է տրված, որ սուրատրատի ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում դիսպերսիան գծայնորեն աճում է սուրատրատի կոնցենտրացիայի ավելացման հետ, իսկ սուրատրատի մեծ կոնցենտրացիաների դեպքում դիսպերսիան փոքրանում է: Ցույց է տրված նաև, որ ինիբիտորի առկա-

յությունը չի ազդում դիսպերսիայի առավելագույն արժեքի վրա՝ համեմատած այն դեպքի հետ, երբ այն բացակայում է: Ինիդիտորի առկայությամբ դիսպերսիայի մաքսիմումը տեղաշարժվում է դեպի սուրաստի մեծ կոնցենտրացիաները:

T. S. SUKIASYAN

DISPERSION OF REACTION RATE OF IMMOBILIZED ENZYMES DURING ENZYME INHIBITOR CONCURRENT BINDING

Summary

In this paper the dispersion of reaction rate of immobilized enzymes during enzyme inhibitor concurrent binding was calculated. It is shown that in substrate small concentration the dispersion grows linearly with increasing of that concentration, and when the number of substrates is huge the dispersion is decreasing. It's also shown that the presence of inhibitor doesn't affect on maximal dispersion value in comparison with the case when there is no inhibitors. Inhibitor moves the maximum coordinate to the side of big concentration.

Биология

УДК 577.352

И. А. БАДАЛЯН, А. Л. ГРИГОРЯН

ВЛИЯНИЕ АМИНОКИСЛОТ НА АМИДНЫЕ ГРУППЫ БЕЛКОВ ПЕЧЕНИ

Изучено изменение амидных групп белков печени крыс при инкубировании гомогенатов в присутствии аминокислот. Наблюдаемый при этом реальный прирост аммиака (сумма аммиака, глютамина и мочевины) не сопровождается уменьшением суммарного количества амидных групп белков. Наблюдается лишь определенное перераспределение между легко- и трудно-гидролизуемыми амидными группами. Можно заключить, что амидные группы белков не участвуют в механизмах аммиакообразования при инкубации гомогенатов с аминокислотами.

Ранее было показано, что при инкубировании гомогенатов печени крыс в присутствии различных L-аминокислот не наблюдается прирост свободного аммиака, но при этом синтезируется мочевина. С учетом того, что свободный аммиак вовлекается в биосинтез мочевины под влиянием карбамилфосфат-синтетазы, присутствующей в митохондриях печени [1], было сделано заключение о немедленном включении образовавшегося из аминокислот аммиака в биосинтез мочевины. Очевидно, о процессах аммиакообразования из аминокислот следует судить не только по приросту свободного аммиака, но и мочевины [2]. Для окончательного вывода необходимо проверить возможность дезамидирования белков в условиях наших экспериментов. Хотя амидным группам белков и придается большое значение в качестве источников аммиака [3], тем не менее отсутствуют прямые доказательства относительно дезамидирования белков в механизме аммиакообразования при инкубации срезов и гомогенатов органов. Имеются многочисленные данные об изменении амидированности белков, особенно мозга, в зависимости от функционального состояния организма и его реакций на действие экстремальных факторов среды (мышечное утомление, электрический ток, радиация, гипероксия, гипотония, камфора, этиловый спирт, инсулин, мединал и др.) [4–7]. Изменений амидных групп белков органов, в том числе печени, при инкубировании гомогенатов не наблюдалось, хотя при этом продуцируется аммиак [8].

Целью нашей работы было исследовать изменения амидных групп белков при инкубировании гомогенатов печени в присутствии аминокислот.

Опыты проводили на белых крысах весом 200г. Извлекали печень и гомогенизировали в 0,05M К-фосфатном буфере, pH 7,4. Инкубировали 3ч

при 37°C в присутствии $0,6\cdot10^{-3}M$ L-аминокислот. После этого определяли в ТХУ-осадке амидные группы белков [9]. Для этого осадок последовательно обрабатывали смесями этанола с хлороформом (2:1), дважды этанола с эфиром (2:1) и трижды чистым эфиром. Затем пробы подвергали гидролизу в 1N H_2SO_4 при 100°C (30мин для легкогидролизуемых амидных групп (ЛАГ), 180мин для суммарных амидных групп (САГ), разность САГ и ЛАГ дает количество трудногидролизуемых амидных групп (ТАГ)). После нейтрализации гидролизата в нем определяли содержание аммиака микродиффузным методом Зелинкsona в модификации Силаковой и сотрудников [10].

Таблица

Содержание амидного азота белков гомогената печени крыс до и после трехчасовой инкубации в присутствии L-аминокислот (мкмоль на 1г свежей ткани), n=4

Амидные группы	До инкубации	После инкубации в присутствии аминокислот				
		-	орнитин	цитрулин	глютаминовая кислота	аспарагиновая кислота
САГ	$31,04\pm1,20$	$31,29\pm0,84$	$31,64\pm2,62$	$29,43\pm3,04$	$33,50\pm1,28$	$29,63\pm1,42$
ЛАГ	$21,08\pm1,86$	$18,18\pm0,82$	$16,42\pm1,14$	$16,36\pm1,84$	$17,21\pm2,24$	$21,55\pm1,68$
ТАГ	9,96	12,71	15,22	13,07	16,29	8,08
						15,71

Как видно из данных таблицы, при трехчасовой инкубации гомогенатов без аминокислот САГ не претерпевают изменений, хотя при этом происходит определенный прирост аммиака и мочевины [2]. При этом наблюдается некоторое перераспределение ЛАГ и ТАГ, а именно, несколько уменьшаются ЛАГ и увеличиваются ТАГ. При инкубации гомогенатов с различными аминокислотами, когда происходит значительный прирост мочевины, САГ не подвергаются существенным изменениям. Лишь в варианте с аланином можно отметить некоторую тенденцию к увеличению САГ (35,00мкмоль против 31,29мкмоль в инкубированной без аминокислот пробе), хотя и в данном варианте происходит определенный прирост мочевины [2]. Во всех вариантах с аминокислотами меняется соотношение ЛАГ и ТАГ в пользу увеличения ТАГ, за исключением варианта с аспарагиновой кислотой, когда ТАГ несколько уменьшается. Другими авторами [11] указывалось на перераспределение амидного азота между ЛАГ и ТАГ при экстремальных состояниях организма вследствие трансконформационных изменений белков. Это весьма интересный вопрос, дальнейшее изучение которого может раскрыть роль амидированности белков в механизмах обеспечения различных функциональных состояний органов и организма. На данном этапе исследований существенным является обнаруженный нами факт отсутствия заметных изменений в содержании САГ при инкубации гомогенатов с аминокислотами и без них, когда происходит значительный синтез мочевины. Это позволяет заключить, что при инкубации гомогенатов амидные группы белков не играют более или менее заметную роль в процессах аммиакообразования. Очевидно, наблюдавшиеся при этом аммиакообразование и синтез мочевины обусловлены, главным образом, дезаминированием аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grisolia S., Cohen P.P. – J. Biol. Chem., 1951, т. 191, р. 189.
2. Григорян Л. – Образование и наука в Арцахе, 2005, № 1–2, с. 136.
3. Vrba R. – Nature, 1955, т. 176, № 4472, р. 117.
4. Vrba R. – Там же, № 4496, р. 1258.
5. Гершенович З.С., Кричевская А.А., Лукаш А.И., Ходыкина Н.А. В кн.: Третья все-союзная конференция по биохимии нервной системы. Ер.: Изд-во АН Арм. ССР, 1963, с. 91.
6. Векслер И.Я., Магомедова К.М. – Укр. биохим. ж., 1987, т. 53, № 3, с. 7.
7. Кометиани П.А. – Биохимия, 1970, т. 35, № 2, с. 394.
8. Бадалян И.А., Давтян М.А. – Биол. ж. Армении, 1986, т. 39, № 11, с. 986.
9. Гершенович З.С., Кричевская А.А. – Биохимия, 1960, т. 25, № 2, с. 310.
10. Силакова А.И., Труш Г.П., Явилякова А. – Вопросы мед. химии, 1962, т. 8, № 5, с. 538.
11. Гаевская М.С., Носова Е.А., Слез Л.М. – Укр. биохим. ж., 1965, т. 37, № 5, с. 69.

Ի. Ա. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Ա. Լ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԱՍԻՆԱԹԹՈՒՏԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼՅԱՐԴԻ ՍՊԻՏԱԿՈՒՑՆԵՐԻ ԱՄԻԴԱՅԻՆ ԽՄԲԵՐԻ ՎՐԱ

Ամփոփում

Ուսումնասիրված են առնետների լյարդի սպիտակուցների ամիդային խմբերի փոփոխությունները հոմոգենատներում ամինաթթուների առկայությամբ ինկուբացնելիս: Այդ ընթացքում նկատվող ամոնիակի իրական աճը (ամոնիակի, զյուտամինի և միզանյութի գումարը) չի ուղեկցվում սպիտակուցների ամիդային խմբերի գումարային քանակության նվազումով: Միայն նկատվում է հեշտ ու դժվար հիդրոլիզվող ամիդային խմբերի վերաբաշխում: Կարելի է եզրակացնել, որ լյարդի հոմոգենատները ամինաթթուների հետ ինկուբացնելիս սպիտակուցների ամիդային խմբերը չեն նաև ակցում ամոնիակի գոյացման մեխանիզմում:

I. A. BADALYAN, A. L. GRIGORYAN

THE EFFECT OF AMINOACIDS ON THE PROTEIN AMID GROUPS OF LIVER

Summary

The effect of aminoacids was studied on the level of protein amid groups during incubation of rat liver homogenates. It has been established that ammonia and urea formed on incubation is not due to deamination of proteins. Only some inter change was shown between readily hydrolysable and hardly hydrolysable protein amid groups.

ՀՀ ԳԱԱ ԱԿԱԴԵՄԻԿՈՍ Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆԻ ԾՆՆԴՅԱՆ
70-ԱՍՏԱԿԻ ԱՌԹԻՎ

Լրացավ անվանի գիտնական, ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, գիտության վաստակավոր գործիչ, ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր, ԵՊՀ մեխանիկայի ֆակուլտետի դեկան Վաղիմիր Սարգսի Սարգսյանի ծննդյան 70-ամյակը:

Վ.Ս. Սարգսյանը 1957թ., ավարտելով Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկամաթեմատիկական ֆակուլտետի մեխանիկայի բաժինը, աշխատանքի է նշանակվում մեխանիկայի ամբիոնում ասիստենտի պաշտոնում: 1959թ. ընդունվում է ԵՊՀ ասպիրանտուրան ակադեմիկոս Ն.Խ. Հարությունյանի մոտ առաջականության և պլաստիկության տեսության մասնագիտությամբ: 1962թ. Մոսկվայի համալսարանում պաշտպանում է թեկնածուական ատենախոսությունը: 1961–1963թթ. Վ.Ս. Սարգսյանը մեխանիկամաթեմատիկական ֆակուլտետի բարձրագույն մաքենատիկայի ամբիոնում ավագ դասախոս է, 1963թ.՝ առաջականության և պլաստիկության տեսության ամբիոնի դոցենտ: 1972թ. Կազանի համալսարանում Վ.Ս. Սարգսյանը պաշտպանում է դոկտորական ատենախոսություն: 1973-ից նա առաջականության և պլաստիկության տեսության ամբիոնի պրոֆեսոր է: 1969–1978թթ. պրոֆ. Վ.Ս. Սարգսյանը միաժամանակ եղել է ԵՊՀ նախապատրաստական բաժանմունքի վարիչ: Նա 1978 թվականից սկսած 25 տարի եղել է հոծ միջավայրի մեխանիկայի ամբիոնի վարիչ: 1986-ին ընտրվել է ՀՀ ԳԱԱ բոլորից անդամ, իսկ 1996-ին՝ ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս:

Պրոֆ. Վ.Ս. Սարգսյանը դեֆորմացվող պինդ մարմնի մեխանիկայի ճանաչված մասնագետն է: Լայն է նրա գիտական հետաքրքրությունների շրջանակը: Նա էական ներդրում ունի գիտության այն ճյուղերի գարգացման մեջ, որոնք սերտորեն կապված են ժամանակակից տեխնիկայի և մեխանիկայի զանազան բնագավառների նորագույն հարցերի լուծման հետ: Վ.Ս. Սարգսյանի գիտական հետազոտությունները վերաբերում են անիզոտրոպ անհամասեռ մարմինների մեխանիկայի մի շարք ժամանակակից հարցերին՝ կոմպոզիտ նյութերից պատրաստված կառուցվածքների ամրությանը, ծողերի, սալերի, բաղանթների ձևի ու նյութի օպտիմալ նախագծմանը,



տատանման օպտիմալ կայունացմանը, անհամասեռ անիզոտրոպ սալերի ու քաղանթերի կայունությանը, տատանումների, ծովան, ջերմառաձգականության ու հարվածի տեսություններին, անիզոտրոպ անհամասեռ միջավայրերի դինամիկական խնդիրներին, առաճգական վերադիրներով առաճգական մարմինների կոնտակտային խնդիրներին, տարրեր կորագծային անիզոտրոպիայով օժտված մարմինների առաճգականության տեսության եզրային խնդիրներին, եթե տիրությի եզրագծերը չեն համընկնում անիզոտրոպիայի առանցքների հետ, սողոք և պաստիկության տեսության խնդիրներին և այլն: Վերոհիշյալ հարցերի ու խնդիրների լուծման համար էական նշանակություն ունեն նրա կողմից առաջարկված ու ընդհանրացված ֆիզիկական և երկրաշափական փոքր պարամետրերի մեթոդները, ինտեգրողիֆերենցիալ հավասարումների, փունկցիոնալ անալիզի կիրառությունների հիման վրա կառուցված մոտավոր էֆեկտիվ եղանակը, մաքենատիկական ֆիզիկայի ոչ ստացիոնար խնդիրների լուծման համար ստացված փոփոխականների անջատման մեթոդի նոր մոդիֆիկացիան և այլն: Պրոֆ. Վ.Ս. Սարգսյանը ստեղծել է անհամասեռ անիզոտրոպ մարմնի առաճգականության տեսության գիտական դպրոց: Նրա անմիջական ղեկավարությամբ պաշտպանվել են շուրջ 50 թեկնածուական և դրկտորական ատենախոսություններ ինչպես մեր, այնպես էլ Շեխիայից, Ալովակիայից, Լեհաստանից, Վիետնամից, Եգիպտոսից, Միջիայից, Ուգրեկստանից եկած գիտականների կողմից:

Անհամասեռ անիզոտրոպ մարմնի մեխանիկայի բնագավառում Վ.Ս. Սարգսյանի աստացած հիմնարար արդյունքները անփոփած են 7 մենագրություններում (երկուսը սլովակերեն՝ տպագրված Բրատիսլավայի համալսարանում), շուրջ 300 գիտական աշխատանքներում ու հոդվածներում, նա հեղինակ է 12 ուսումնական ձեռնարկների և գրքերի: Նրա հիմնական գիտահետազոտական արդյունքները բազմից ներկայացվել և գեկուցվել են գիտաժողովներում, կոնգրեսներում, սեմինարներում ինչպես նախկին ԽՍՀՄ երկրներում, այնպես էլ արտասահմանում (Գերմանիա, Բուլղարիա, Ռումինիա, Չինաստան, Շեխիա, Ալովակիա, Հունգարիա, Լեհաստան, Միջիա, Եգիպտոս, Ֆրանսիա, ԱՄՆ, Մեծ Բրիտանիա և այլն):

Պրոֆ. Վ.Ս. Սարգսյանը բարձրագույն կրթության հմուտ կազմակերպիչ է: Նա երկար տարիներ գլխավորում էր հոծ միջավայրի մեխանիկայի ամբիոնը, որը հիրավի դարձել է երիտասարդ մեխանիկոսների խելական դարբնոց: Դրան մեծապես նպաստել են Վ.Ս. Սարգսյանի մայրենի լեզվով հրատարակած ուսումնական ձեռնարկները՝ «Հոծ միջավայրի մեխանիկա», «Հոծ միջավայրի մեխանիկայի խնդիրների լուծման մոտավոր մեթոդներ», «Ասիմպտոտիկ մեթոդները պիտի մարմնի մեխանիկայում» (համահեղինակ Ս.Հ. Սարգսյան), «Կառուցվածքների օպտիմալ նախագծում» գիրքը (համահեղինակ Բ.Պ. Գեղամյան), «Տեսական մեխանիկայի խնդիրների լուծման ուղեցույց» քառահատոր ձեռնարկը (համահեղինակներ՝ Մ.Մ. Մանուկյան, Մ.Մ. Գաբրիելյան, Մ.Մ. Մինասյան) և այլն:

Պետք է նշել նաև Վ.Ս. Սարգսյանի գիտակազմակերպչական գործունեությունը: Նա բազմաթիվ անգամներ եղել է դեֆորմացվող պիտի մարմնի մեխանիկայի և կիրառական մաքենատիկայի ինչպես միութենական, այնպես էլ միջազգային կոնֆերանսների կազմկոմիտեի նախագահ, նախագահի տեղակալ, անդամ:

Մեծ է նրա մասնակցությունը նախկին ԽՍՀՄ գիտական կյանքում: Պրոֆ. Վ.Ս. Սարգսյանը եղել է գիտության և տեխնիկայի գծով ԽՍՀՄ պետական կոմիտեի «Կոնստրուկտիվ ամրություն և քայլայում» գիտական խորհրդի անդամ, ԽՍՀՄ բարձրագույն կրթության մինիստրության տեսական մեխանիկայի գիտամեթոդական հանձնաժողովի նախագահության անդամ՝ այդ հանձնաժողովի անդրկովկասյան ռեգիստրի նախագահ:

1988–1990թթ. պրոֆ. Սարգսյանը եղել է մեխանիկայի նորաստեղծ ֆակուլտետի առաջին դեկան, 1990–1992թթ. համալսարանի գիտական աշխատանքների գծով պրոռեկտոր, 1993–1994թթ. ՀՀ ԳԱԱ մեխանիկայի, ինժորմատիկայի և տեխնիկական գիտությունների բաժանմունքի ակադեմիկոս-քարտուղարի պաշտոնակատար և ՀՀ ԳԱԱ նախագահության անդամ, իսկ 1994թ. ՀՀ ԳԱԱ մաքենատիկայի և մեխանիկայի պրոբլեմային խորհրդի նախագահի տեղակալ: 1996թ.-ից մինչև այսօր նա դարձյալ դեկավարում է ԵՊՀ մեխանիկայի ֆակուլտետը:

1981թ. նա արժանացել է գիտության վաստակավոր գործիչ կոչմանը, 1999թ.՝ Անանիա Շիրակացու անվան պետական մերայի: Ծորջ 30 տարի Վ.Ս. Սարգսյանը դեկավարել է ԵՊՀ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների բեկանծողի աստիճան շնորհող՝ դեֆորմացվող պինդ մարմնի մեխանիկա մասնագիտությամբ խորհուրդը: Նա եղել է «Մեխանիկա» միջրուհական հանդեսի խմբագիրը, ԵՊՀ «Գիտական տեղեկագիր» և ՀՀ ԳԱԱ «Մեխանիկա» հանդեսների խմբագրակազմի անդամ:

Վ.Ս. Սարգսյանը միջազգային կշիռ և համբավ ունեցող գիտնական է: Նա ընտրվել է Սլովակիայի գիտությունների ակադեմիայի մեխանիկոսների ընկերության պատվավոր անդամ, ԽՍՀՄ տեսական և կիրառական մեխանիկայի ազգային կոմիտեի, մեխանիկայի և մաքենատիկայի համագործակցության միջազգային ընկերության, ինչպես նաև Ռուսաստանի ԳԱ տեսական և կիրառական մեխանիկայի ազգային կոմիտեի անդամ:

Միջազգային գիտական կապերի ամրապնդման և կարդերի պատրաստման գործում կատարած աշխատանքների համար Վ.Ս. Սարգսյանը պարզեցաւրել է Քրատիպավայի համալսարանի Յան Կոմենսկու անվան ուսկեցուության մեջազգային ընկերության, ինչպես նաև Ռուսաստանի մեջալու:

Պրոֆեսոր Վ.Ս. Սարգսյանը ակտիվ մասնակցում է ԵՊՀ գիտական և հասարակա-քաղաքական կյանքին, վայելում է պրոֆեսորա-դասախոսական կազմի և ուսանողների հարգանքը:

Ցանկանք մեծ գիտնականին, ուսուցչին և արժանավոր քաղաքացուն երկար տարիների բեղմնավոր աշխատանքով լի կյանք:

**ԵՊՀ ուսկառուատ, մեխանիկայի ֆակուլտետ,
իոծ միջազգայի մեխանիկայի ամրիոն**

ВЕРГИНЕ МАКАРОВНА ТАРАЯН
(к 100-летию со дня рождения)



Вергине Макаровна Тарайн родилась 6 ноября 1905 года в г. Тбилиси. В 1929 году окончила химико-фармацевтическое отделение педагогического факультета Тбилисского государственного университета, а в 1930 году переехала в г. Ереван и поступила на работу в Центральную лабораторию ВСНХ Арм. ССР.

Научная деятельность В.М. Тарайн в этот период была посвящена применению потенциометрического метода в анализе силикатов и полиметаллических руд, что определило ее дальнейшую узкую специализацию по аналитической химии. В 1932 г. В.М. Тарайн была командирована в г. Киев к известному ученному профессору Н.А. Тананаеву, под руководством которого она выполнила свою первую исследовательскую работу. С

сентября 1933 г. В.М. Тарайн переходит на преподавательскую работу в Ереванский государственный университет в качестве ассистента кафедры общей химии. В 1935–1938 гг. она работала по совместительству в Армянском филиале АН ССР. Вергине Макаровна защитила кандидатскую диссертацию в 1938 г., а в следующем году получила ученое звание доцента.

Большой интерес представляют исследования, проведенные В.М. Тарайн в области редуктометрических методов объемного анализа с применением меркуросолей. Ею были разработаны оригинальные методы определения ряда элементов и ионов, которые легли в основу ее докторской диссертации, защищенной в 1954 г. Всесторонне разработанный ею метод меркуоредуктометрии вошел в практику аналитической химии и нашел широкое применение как в заводских, так и в научно-исследовательских лабораториях. Данные, полученные В.М. Тарайн были обобщены в монографии «Меркуоредуктометрия», выдержавшей два издания (1958 г., 1980 г.). В 1956 году В.М. Тарайн было присвоено ученое звание профессора. В том же году она была избрана членом-корреспондентом АН Арм. ССР.

Новый этап творческой деятельности В.М. Тарайн начинается с 1957 г., когда в круг ее научных интересов вошла аналитическая химия редких и рассеянных элементов. Большой интерес вызвали ее исследования в области

аналитической химии рения, которые и стали основой для следующей монографии «Аналитическая химия рения» (1966 г.). С 1967 г. научная деятельность В.М. Тааян связана с разработкой экстракционно-фотометрических, экстракционно-флуориметрических, амперометрических методов определения редких и рассеянных элементов с использованием в качестве реагентов основных органических красителей. Перу В.М. Тааян принадлежат около 250 научных работ, выполненных совместно с сотрудниками кафедры аналитической химии ЕГУ и лаборатории аналитической химии редких и рассеянных элементов ИОНХ АН Арм.ССР. Под ее руководством защитили кандидатские диссертации более 30 сотрудников. Она является основателем научной школы химиков-аналитиков Армении и вырастила целую плеяду талантливых молодых химиков-аналитиков. Все, кому доводилось работать под ее руководством, заражались ее трудолюбием, целенаправленностью, умением определять наиболее важные современные направления развития науки вообще и аналитической химии в частности.

В 1938–1954 и 1962–1978 годах В.М. Тааян была заведующей кафедры аналитической химии ЕГУ, а в 1961–1964 гг. также и деканом химического факультета. Наряду с научно-педагогической деятельностью В.М. Тааян вела активную общественную работу: избиралась депутатом Ереванского городского Совета депутатов трудящихся, была членом Научного совета АН СССР по аналитической химии, членом редколлегии Армянской советской энциклопедии, членом редколлегий журналов «Доклады АН Арм. ССР», «Армянский химический журнал», «Ученые записки». Долгие годы В.М. Тааян была членом Ученого совета химического факультета ЕГУ и Ученого совета ЕГУ.

В.М. Тааян была награждена орденом «Знак почета», медалями СССР, Почетной грамотой Верховного Совета Арм.ССР, ей было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Арм.ССР».

Благодарные ученики Вергине Макаровны Тааян, которым посчастливились работать вместе с ней, никогда не забудут светлый образ ученого, гражданина и прекрасного человека.

*Ректорат,
химический факультет ЕГУ*

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Ю.Л. Вартанян – Специальный принцип относительности	3
-----------------------------------------------------------	---

МАТЕМАТИКА

М.О. Арабян – Исследование спектра одного вырождающегося оператора.....	31
Т.Н. Арутюнян, Г.Г. Саакян – Об одной спектральной задаче для системы уравнений с частными производными.....	40
А.А. Даниелян – Экстремальное свойство времен ожидания модели $G1 G1 \infty$	47
Э.А. Даниелян, В.К. Сагателян – Одна минимаксная задача на классе стареющих функций распределения	53
С.С. Давидов – Линейные представления бинарных абелевых алгебр	58

ФИЗИКА

Т.А. Арутюнян – Проблема собственных значений и собственных функций в тороидальном резонаторе	64
А.А. Казарян, Е.Б. Далян, С.Г. Арутюнян, Т.В. Чаликян – Спектральное исследование взаимодействий $TaI\text{PyP}(4)$ и $AgTaI\text{PyP}(4)$ с $\text{poly}(rG)\text{poly}(rC)$, $\text{poly}(rI)\text{poly}(rC)$ и $\text{poly}(rA)\text{poly}(rU)$	73
Г.К. Мерян – Спектрометрические измерения и обработка информации по инфра- красным исследованиям некоторых экологических параметров атмосферы	80

ХИМИЯ

С.К. Григорян, М.Л. Ерицян, Г.С. Григорян, К.М. Ерицян – Исследование и синтез клеевой композиции низкотемпературного отверждения	85
Н.О. Геокчян, Дж.А. Микаелян, А.А. Егиазарян, А.Г. Хачатрян – Экстракционно- абсорбциометрическое определение левомицетина оксиновым красителем – пиронином «Б»	90
Ж.М. Арстамян – Экстракционно-абсорбциометрическое определение железа фуксином в природных и сточных водах	94
Л.Л. Манасян – Синтез нового модифицированного хиального комплекса иона $Ni(II)$ с основанием Шиффа дегидроаминомасляной кислоты	98

БИОЛОГИЯ

А.М. Карапетян – Комбинированное влияние рентгеновских лучей и холодных условий на метаболизм и накопление свободного пролина у жуков и личинок фасолевой зерновки <i>Acanthoscelides obtectus say</i>	106
Э.С. Геворкян, С.М. Минасян, Ц.И. Адамян, Н.Н. Ксаджикян – Влияние учебной нагрузки на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы студентов	110
С.А. Абраамян, М.А. Карапетян, М.В. Надирян, Н.С. Акопян, Н.Ю. Адамян – Эффективность метода произвольного уменьшения частоты дыхания у студентов лечебных групп	116

А.Р. Агабабян, В.Г. Григорян, А.Ю. Степанян, Н.Д. Арутюнян, Л.С. Степанян –	
Нейрофизиологические механизмы мозгового обеспечения творчества	122
В.С. Погосян, Э.А. Агаджанян, А.Л. Атоянц, Р.М. Арутюнян – Выявление	
генотоксичности почв с применением растительных тест-систем	128
М.Г. Таслахчян, Н.А. Карапетян, Е.Ю. Согоян, А.М. Петросян – Патогенная	
микробиота возделываемых и дикорастущих видов клевера в Армении.....	132

ГЕОЛОГИЯ

В.П. Варданян, Р.С. Минасян – Распределение подземного стока Лорийского	
плато (по данным геофизических исследований).....	137

СООБЩЕНИЯ

Н.В. Ширванин, В.Л. Ширванин – О задании группы 7.7 из «Коуровской	
тетради».....	141
Г.В. Акопян, Р.А. Карамян, С.К. Григорян, Р.Н. Енгибарян, М.Л. Ерицян –	
Хелатные комплексы 1,3-дикарбазоксиметилизоцианурата с ионами металлов	
Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}	143
Т.С. Сукиасян – Дисперсия скорости реакции иммобилизованных ферментов при	
конкурентном связывании ингибитора с ферментом.....	147
И.А. Бадалян, А.Л. Григорян – Влияние аминокислот на амидные группы белков	
печени.....	151
 К 70-летию академика НАН РА В.С. Саркисяна.....	154
 Вергине Макаровна Тарайн (к 100-летию со дня рождения).....	157

CONTENTS

REVIEWS

Yu.L. Vartanyan – Special principle of relativity	3
----------------------------------------------------------------	---

MATHEMATICS

M.H. Arabyan – On an eigenvalue problem.....	31
T.N. Harutunyan, G.H. Sahakyan – On a spectral problem for a system of partial	
differential equations.....	40
A.A. Danielyan – Extremal property of waiting times in $G1 G1 \infty$ model	47
E.A. Danielian, V.K. Saghatelyan – On one minimax problem on the class of	
distribution functions increasing hazard rate.....	53
S.S. Davidov – Linear representation of binary abelian algebras	58

PHYSICS

T.A. Harutyunyan – The problem of own values and own functions in the toroidal	
cavity	64
A.A. Ghazaryan, Ye.B. Dalyan, S.G. Haroutounian, T.V. Chalikian – Spectral studi-	
es of interaction of meso-tetra-(4N-allylpyridyl)porphyrins with poly(rG)poly(rC),	
poly(rI)poly(rC) and poly(rA)poly(rU)	73

G.K. Msryan – Spectrometric measurements and processing of the information on infrared researches of some atmosphere's ecological parameters	80
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CHEMISTRY

S.K. Grigorian, M.L. Yeritsian, G.S. Grigorian, K.M. Yeritsian – Investigation and synthesis of glue composites obtained by low temperature condensation	85
N.O. Geokchyan, J.A. Mickaelyan, A.A. Eghiazaryan, H.G. Khachatryan – Extraction-absorptiometric determination of levomicytine by pironine «B»	90
Zh.M. Arstamyan – Extraction-absorptiometric determination of iron by fuchsine in natural and waste waters	94
L.L. Manasyan – Synthesis of new modified chiral Ni(II) complexes of Schiff's base of dehydroaminobutyric acids	98

BIOLOGY

H.M. Karapetyan – Combined influence of X-rays and cold conditions on heep and metabolism prolin in haricot beetles and larvae <i>Acanthoscelides obtectus say</i>	106
E.S. Gevorkyan, S.M. Minasyan, Ts.I. Adamyan, N.N. Ksadikyan – The influence of educational loading on the functional state of cardiovascular system of students	110
S.A. Abrahamyan, M.A. Karapetyan, M.V. Nadiryan, N.S. Akopyan, N.Y. Adamyan – Efficiency of the method of volitional decrease of breath rate of curative-group students	116
H.R. Aghababian, V.H. Grigoryan, A.Yu. Stepanyan, N.D. Harutyunyan, L.S. Stepanyan – Neurophysiological mechanisms of creative activity	122
V.S. Poghosyan, E.A. Aghadjanyan, A.L. Atoyan, R.M. Harutunyan – The revelation of soil genotoxicity using the plant assays	128
M.G. Taslakhchyan, N.H. Karapetyan, E.Yu. Soghoyan, A.M. Petrosyan – Parasitic mycobiota of cultivated and wild species of clover in Armenia	132

GEOLOGY

V.P. Vardanyan, R.S. Minasyan – Lory plateau ground water flow distribution (on the data of geophysical investigations)	137
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

COMMUNICATIONS

N.V. Shirvanyan, V.L. Shirvanyan – On presentations of the group 7.7 from Kourov notebook	141
G.V. Hakobyan, R.A. Karamyan, S.K. Grigoryan, H.N. Engibaryan, M.L. Yeritsyan – Interaction of chelate complexes 1,3-dicarboxymethylizocyanurat with ions of metals Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}	143
T.S. Sukiasyan – Dispersion of reaction rate of immobilized enzymes during enzyme inhibitor concurrent binding	147
I.A. Badalyan, A.L. Grigoryan – The effect of aminoacids on the protein amid groups of liver	151

On the occasion of the 70 th anniversary of Academician of Armenian Academy of Sciences V.S. Sarkisyan	154
Vergine Tarayan (on the occasion of the 100 th anniversary)	157

G.K. Msryan – Spectrometric measurements and processing of the information on infrared researches of some atmosphere's ecological parameters	80
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CHEMISTRY

S.K. Grigorian, M.L. Yeritsian, G.S. Grigorian, K.M. Yeritsian – Investigation and synthesis of glue composites obtained by low temperature condensation	85
N.O. Geokchyan, J.A. Mickaelyan, A.A. Eghiazaryan, H.G. Khachatryan – Extraction-absorptiometric determination of levomicytine by pironine «B»	90
Zh.M. Arstamyan – Extraction-absorptiometric determination of iron by fuchsine in natural and waste waters	94
L.L. Manasyan – Synthesis of new modified chiral Ni(II) complexes of Schiff's base of dehydroaminobutyric acids	98

BIOLOGY

H.M. Karapetyan – Combined influence of X-rays and cold conditions on heep and metabolism prolin in haricot beetles and larvae <i>Acanthoscelides obtectus say</i>	106
E.S. Gevorkyan, S.M. Minasyan, Ts.I. Adamyan, N.N. Ksadikyan – The influence of educational loading on the functional state of cardiovascular system of students	110
S.A. Abrahamyan, M.A. Karapetyan, M.V. Nadiryan, N.S. Akopyan, N.Y. Adamyan – Efficiency of the method of volitional decrease of breath rate of curative-group students	116
H.R. Aghababian, V.H. Grigoryan, A.Yu. Stepanyan, N.D. Harutyunyan, L.S. Stepanyan – Neurophysiological mechanisms of creative activity	122
V.S. Poghosyan, E.A. Aghadjanyan, A.L. Atoyan, R.M. Harutunyan – The revelation of soil genotoxicity using the plant assays	128
M.G. Taslakhchyan, N.H. Karapetyan, E.Yu. Soghoyan, A.M. Petrosyan – Parasitic mycobiota of cultivated and wild species of clover in Armenia	132

GEOLOGY

V.P. Vardanyan, R.S. Minasyan – Lory plateau ground water flow distribution (on the data of geophysical investigations)	137
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

COMMUNICATIONS

N.V. Shirvanyan, V.L. Shirvanyan – On presentations of the group 7.7 from Kourov notebook	141
G.V. Hakobyan, R.A. Karamyan, S.K. Grigoryan, H.N. Engibaryan, M.L. Yeritsyan – Interaction of chelate complexes 1,3-dicarboxymethylizocyanurat with ions of metals Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+}	143
T.S. Sukiasyan – Dispersion of reaction rate of immobilized enzymes during enzyme inhibitor concurrent binding	147
I.A. Badalyan, A.L. Grigoryan – The effect of aminoacids on the protein amid groups of liver	151

On the occasion of the 70 th anniversary of Academician of Armenian Academy of Scienses V.S. Sarkisyan	154
Vergine Tarayan (on the occasion of the 100 th anniversary)	157