

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱՇԽԱՏԱԿ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ  
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF ARMENIA

---

ISSN 0321-1339

**ՉԵՎՈՒՅՑՆԵՐ**  
**ДОКЛАДЫ**  
**REPORTS**

---

Երևան

Երևան

Yerevan

*Ֆունդիրվել է 1944 թ.: Լույս է տեսնում տարին 4 անգամ*

*Основан в 1944 г. Выходит 4 раза в год*

*Founded in 1944. Published quarterly*

**Գլխավոր խմբագիր՝** ակադեմիկոս Վ. Ս. ԶԱԲԱՐՅԱՆ

**Խմբագրական խորհուրդ՝** ակադեմիկոս Ա. Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Ս. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԿՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Ֆ. Տ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Մ. ՄԵԴՐԱԿՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ (սլափ. քարտուղար)

**Главный редактор академик В. С. ЗАХАРЯН**

**Редакционная коллегия:** академик А. А. АВЕТИСЯН (зам. главного редактора), академик С. А. АМБАРЦУМЯН, академик Э. Г. АФРИКЯН, академик Г. Е. БАГДАСАРЯН, академик Г. А. БРУТЯН, академик Э. С. ГАБРИЕЛЯН, академик Э. М. КАЗАРЯН, академик К. Г. КАРАГЕЗЯН, академик Р. М. МАРТИРОСЯН, академик Ф. Т. САРКИСЯН, академик Д. М. СЕДРАКЯН, академик А. А. ТАЛАЛЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН, Г. А. АБРАМЯН (отв. секретарь)

**Editor-in-chief academician V. S. ZAKARYAN**

**Editorial Board:** academician S. A. AMBARTSUMIAN, academician A. A. AVETISSYAN (vice-editor-in-chief), academician G. E. AFRIKIAN, academician G. E. BAGDASARIAN, academician G. A. BRUTIAN, academician E. S. GABRIELIAN, academician K. G. KARAGEUZYAN, academician E. M. KAZARYAN, academician R. M. MARTIROSYAN, academician F. T. SARGSSIAN, academician D. M. SEDRAKIAN, academician Yu. H. SHOUKOURIAN, academician A. A. TALALIAN, G. A. ABRAHAMYAN (executive secretary)

*Խմբագրության հասցեն՝ 0019 Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24գ*

*Адрес редакции: 0019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г*

*Communication links: address – 24g Marshal Bagramian Ave., Yerevan, 0019, Armenia*

*Phone: (37410) 56-80-67*

*URL: <http://elib.sci.am>*

© НАН РА. Президиум. 2009

© Издательство "Гитутюн"  
НАН РА. 2009

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

### ՍԱԹԵՍԱՏԻԿԱ

Վ. Ս. Զաքարյան, Ա. Գ. Առաքելյան – Արբելուսին ներգծված Պապի շրջանագծերի հաջորդականության վերաբերյալ..... 275

Հ. Ա. Գրիգորյան, Ա. Ս. Շուրուրյան – Պրոցեսների համարժեքությունը կոմուտատիվ և ոչ կոմուտատիվ օբյեկտներով օբյեկտակոդմնորոշված միջավայրերում ..... 283

### ԱՌԱՉԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Վ. Ս. Բելուբեկյան, Ս. Վ. Բելուբեկյան – Տեղայնացված սահքի էլեկտրաառաձգական ալիքները շերտի կիսատարածության նկատմամբ շարժման ընթացքում ..... 297

Լ. Ա. Աղալովյան, Տ. Վ. Զաքարյան – Օրթոտրոպ ուղղանկյուն սալի տարածական առաջին դինամիկական եզրային խնդրի լուծման մասին ..... 304

### ՖԻԶԻԿԱ

Ռ. Ա. Ալանակյան – Սկալյար լեպտոնների և սուպերսիմետրիկ Հրզսի բոզոնների ծնումը լեպտոն-անտիլեպտոն տրոհումներում ..... 310

Ն. Ռ. Բալասանյան – Լիցքավորված մասնիկների կորստի էներգիայի ճշգրտումը CIAS դետեկտորի սցինտիլյացիոն հաշվիչներում ..... 320

Ռ. Գ. Փարենուզյան – Քվազիիրական ֆոտոծնման դեպքերի ընտրումը էլեկտրաձևման փորձի տվյալներով ..... 328

### ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Զ. Թ. Կարապետյան, Ա. Ս. Գալստյան, Ա. Ա. Ավետիսյան – Նոր 2 (2-ալկոքսի-3-բրոմպրոպիլ)-2-էթօքսիկարբոնիլ-4-բութանոլիդների սինթեզ..... 335

### ԿԵՆՍԱԹԻՄԻԱ

Ա. Ա. Սիմոնյան, Ն. Դ. Սիմոնյան, Ա. Ս. Մարգարյան, Ի. Հ. Բատիկյան – ԱՏՖ-ֆոսֆոհիդրոլազային ակտիվության առանձնահատկությունները Սևանի կողակի երկու սեռերի հյուսվածքներից անջատված միտոքոնդրիումներում..... 339

Գ. Գ. Ղարազյուզյան, Ս. Դ. Սաֆարյան, Ա. Ս. Հովակիմյան, Հ. Ս. Ամիրխանյան – Ցածր մոլեկուլային երկալուբուրային ՌՆԹ-ի գերցածր քանակների կարգավորիչ ազդեցությունը ծովախոզուկների թոքերի փորձարարական տուբերկուլյոզի պայմաններում ֆոսֆոլիպիդների փոխանակության խախտված օղակների վրա..... 345

### ԲԺՇԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Ռ. Ա. Պետրոսյան – Կոլիսիցինով բուժման ազդեցությունը լյարդի և ենթաստամոքսային գեղձի որոշ ֆերմենտների ակտիվության վրա պարբերական հիվանդությամբ տառապող հիվանդների մոտ ..... 353

Ռ. Վ. Հակոբյան – Ներորոգայնային ճնշման մոնիթորինգի կանխատեսիչ նշանակությունը ինտենսիվ թերապիայի բաժանմունքում ..... 359

### ՍՆԿԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Կ. Ս. Գրիգորյան, Լ. Լ. Օսիպյան, Օ. Յուսեֆ – Հայաստանի եգիպտացորենի չոր հատիկների միկոբիոտան և նրա տոքսիգենությունը ..... 370

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

*В. С. Захарян, А. Г. Аракелян* – О последовательности окружностей Паппа, вписанных в Арбелос..... 275

*Г. А. Григорян, А. С. Шукурян* – Эквивалентность процессов в объективно-ориентированных средах с коммутативными и некоммутативными объектами ..... 283

### ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

*В. М. Белубекян, М. В. Белубекян* – Локализованные сдвиговые электроупругие волны при движении слоя вдоль полупространства..... 297

*Л. А. Агаловян, Т. В. Закарян* – О решении первой динамической пространственной краевой задачи для ортотропной прямоугольной пластинки ..... 304

### ФИЗИКА

*Р. А. Алапакян* – Рождение скалярных лептонов и суперсимметричных хиггсовских бозонов в лептон-антилептонных столкновениях..... 310

*Н. Р. Баласаян* – Коррекция величин депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS..... 320

*Р. Г. Паремюзян* – Извлечение событий квазиреального фоторождения из экспериментов электророждения на детекторе CLAS..... 328

### ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

*З. Т. Карапетян, А. С. Галстян, А. А. Аветисян* – Синтез новых 2-(2-алкокси-3-бромпропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолидов..... 335

### БИОХИМИЯ

*А. А. Симонян, Н. Д. Симонян, А. С. Маргарян, И. Г. Батикян* – Специфика АТФ-фосфогидролазной активности в изолированных митохондриях тканей Севанской храмули обоих полов ..... 339

*К. Г. Карагезян, М. Д. Сафарян, С. С. Овакимян, О. М. Амирханян* – Особенности корректирующего действия сверхнизких концентраций кальциевого преципитата двуспиральной РНК на нарушенные звенья липидного метаболизма у морских свинок с туберкулезным воспалением легких..... 345

### МЕДИЦИНА

*Р. А. Петросян* – Активность некоторых печеночных и панкреатических ферментов при периодической болезни у детей ..... 353

*Р. В. Акопян* – Прогностическое значение мониторинга внутрибрюшного давления в отделении интенсивной терапии..... 359

### МИКОЛОГИЯ

*К. М. Григорян, Л. Л. Осипян, О. Юссеф* – Микобиота сухого зерна кукурузы в Армении и ее токсигенность..... 370

## CONTENTS

### MATHEMATICS

*V. S. Zakaryan, A. H. Arakelyan* – On Pappus Chains Inside Arbelos..... 275

*H. A. Grigoryan, A. S. Shoukourian* – Equivalence of Processes in Object-Oriented environments with Commutative and Non-Commutative Objects..... 283

### ELASTICITY THEORY

*V. M. Belubekyan, M. V. Belubekyan* – Localized Shear Electroelastic Waves in the Case of the Motion of the Layer Along Semi-Space ..... 297

*L. A. Aghalovyan, T. V. Zakaryan* – On Solution of the First Dynamic 3D Boundary Problem for Orthotropic Rectangular Plate ..... 304

### PHYSICS

*R. A. Alanakyan* – Scalar Leptons and Supersymmetric Higgs Bosons Production in Lepton-Antilepton Collisions ..... 310

*N. R. Balasanyan* – Correction of Energy Deposition of Charged Particles in Scintillator Counters in CLAS Detector ..... 320

*R. G. Paremuzyan* – Extraction of Quasi-Real Photoproduction Events from the Experiments of Electroproduction ..... 328

### ORGANIC CHEMISTRY

*Z. T. Karapetyan, A. S. Galstyan, A. A. Avetisyan* – New 2-(2-Alkoxy-3-Bromopropyl)-2-Ethoxycarbonyl-4-Butanolids Synthesis..... 335

### BIOCHEMISTRY

*A. A. Simonyan, N. D. Simonyan, A. S. Margaryan, I. H. Batikyan* – The Sexual Difference of Mitochondrial ATP-Phosphohydrolase Activity in the Lake Sevan Khramulya ..... 339

*K. G. Karageuzyan, M. D. Safaryan, S. S. Hovakimyan, H. M. Amirkhanyan* – The Normalizing Action of Low Concentrations of the Calcium Precipitate of Double Stranded RNA of Disorders of Phospholipids Metabolism of Guinea-Pigs Tuberculosis of Lungs ..... 345

### MEDICINE

*R. A. Petrosyan* – The Impact of Colchicinetherapy on the Liver and Pancreatic Enzymes in Children with FMF ..... 353

*R. V. Hakobyan* – The Prognostic Potential of the Monitoring of Intraabdominal Pressure in the Intensiv Care Unit..... 359

### MYCOLOGY

*K. M. Grigoryan, L. I. Osipyanyan, O. Yussef* – Mycoflora of Dried Grain of Corn in Armenia and its Toxigenity..... 370

ՌԻՏԴ 514.11

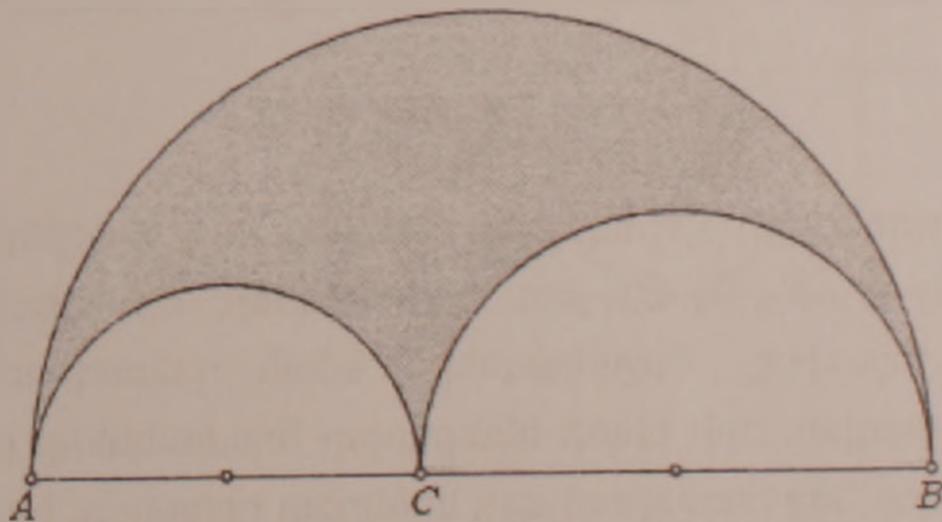
Ակադեմիկոս Վ. Ս. Զաքարյան, Ա. Ն. Առաքելյան

**Արբելոսին ներգծած Պապի շրջանագծերի հաջորդականության վերաբերյալ**

(Ներկայացված է 14/VIII 2009)

Առանցքային բառեր. *Արբելոս, Պապի շրջա, Դեկարտի թեորեմ*

1. Ներածություն: Վերջին տասնամյակների ընթացքում զգալիորեն մեծացել է երկրաչափների հետաքրքրությունը Արքիմեդի կողմից Արբելոս անվանված պարկերի նկարմամբ [1-4] (տես նկ.1): Այս պարկերի համար բազմաթիվ ուշագրավ հատկություններ են բացահայտվել, որոնցից մի քանիսը նկարագրված են [5,6] աշխատանքներում: Մասնավորապես [5]-ում հաշվված է Արբելոսին ներգծած շրջանագծի շառավիղը, իսկ [6]-ում բերված է Պապի թեորեմի ապացույցը, որը վերաբերում է Արբելոսին ներգծած Պապի շրջանագծերի հաջորդականությանը (Պապի շրջա):



Նկ. 1:

Արբելոսի  $AB$  տրամագիծ ունեցող  $w_{AB}$  կիսաշրջանագծի շառավիղը նշանակենք  $R$ -ով, իսկ  $AC$  տրամագիծ ունեցող  $w_{AC}$  ձախ կիսաշրջանագծինը՝  $r$ -ով: Ուստի պարզ է, որ  $CB$  տրամագիծ ունեցող  $w_{CB}$  կիսաշրջանագծի շառավիղը կլինի  $R - r$ :

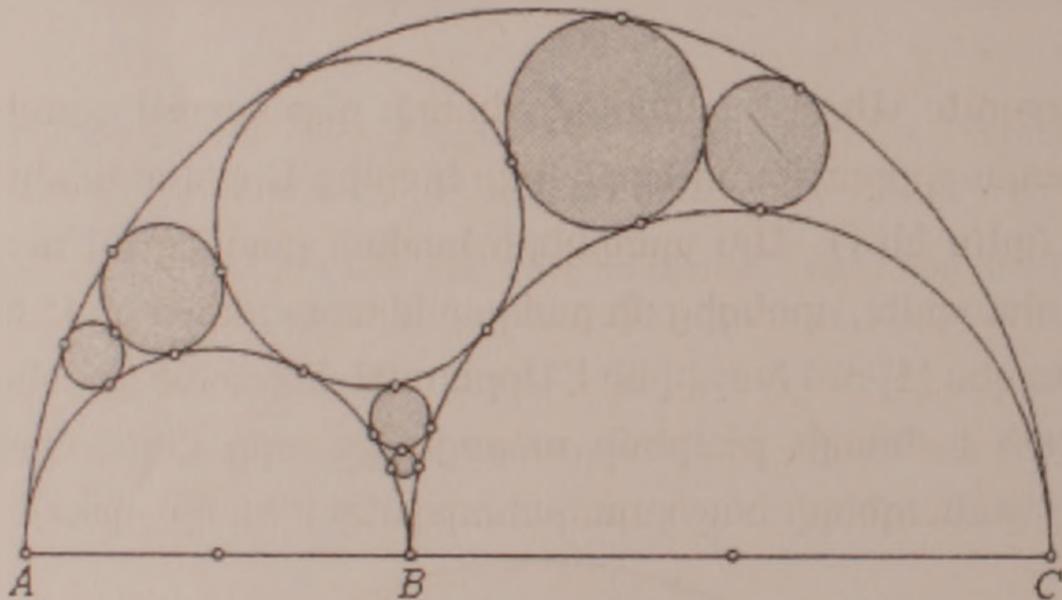
Եթե Արբելոսին ներգծած  $w_1$  շրջանագծին միացնենք անվերջ հաջորդականությամբ  $w_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) շրջանագծեր, որոնցից յուրաքանչյուրը շոշափում է

հարեւան  $w_{i-1}$  եւ  $w_{i+1}$  շրջանագծերը, ինչպես նաեւ Արբելոսը սահմանափակող երկու աղեղները, ապա ստացված շրջանագծերի հաջորդականությունը կանվանենք Պապի շղթա: Նկատենք, որ կամայական Արբելոսի համար կարելի է կառուցել երեք փարբեր Պապի շղթաներ (տե՛ս նկ.2): Նշանակենք  $A$ ,  $B$  եւ  $C$  կետերին ձգվող Պապի շղթաները համապատասխանաբար  $\Omega_A, \Omega_B$  եւ  $\Omega_C$  սիմվոլներով: Նշենք, որ, ըստ էության, Պապի թեորեմը վերաբերվում է միայն  $\Omega_A$  եւ  $\Omega_B$  շղթաներին, եւ համաձայն այդ շղթաների  $n$ -րդ ( $n = 1, 2, \dots$ ) շրջանագծերի համար [4]-ում եւ [6]-ում ստացված բանաձեւերի, փեղի ունեն հետևյալ առնչությունները՝

$$R_n^A = \frac{R \cdot r \cdot (R - r)}{n^2 r^2 + R \cdot (R - r)}; \quad (1)$$

$$R_n^B = \frac{R \cdot r \cdot (R - r)}{n^2 (R - r)^2 + R \cdot r}; \quad (2)$$

Սույն աշխատանքում ստանում ենք (1), (2) բանաձեւերի նմանակը  $\Omega_C$  շղթայի  $n$ -րդ  $n = 1, 2, \dots$  շրջանագծի  $R_n^C$  շառավղի համար՝ օգտվելով Դեկարտի թեորեմից եւ կիրառելով մաթեմատիկական ինդուկցիայի մեթոդը:



Նկ. 2:

2. Դեկարտի թեորեմը: Դիտարկենք միմյանց վեց փարբեր կետերում փոխադարձաբար շոշափող  $B_1, B_2, B_3, B_4$  չորս շրջանագծեր, որոնցից ցանկացած երեքը չունեն ընդհանուր շոշափող: Շրջանագծերի նման դասավորությունը կոչվում է Դեկարտի կոնֆիգուրացիա, որի բոլոր հնարավոր եղանակները բերված են նկար 3-ում: Այսպեղ հնարավոր ենք համարում այն կոնկրետ դեպքերը, երբ որոշ շրջանագծեր ուղիղներ են: Նշանակենք  $B_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) շրջանագծի շառավիղը  $r_i$ -ով, իսկ դրանց համապատասխան կորությունները (շրջանագծի շառավղի հակադարձ մեծությունը կոչվում է շրջանագծի կորություն)՝  $\beta_i = 1/r_i$ ,  $i = \overline{1,4}$ : Ենթադրվում է, որ ուղիղն ունի անվերջ շառավիղ, հետևաբար դրա կորությունը զրո է:

Դեկարտի կոնֆիգուրացիաներում շրջանագծերի շառավիղների միջեւ առնչությունների բացահայտումը հնագույն խնդիրներից է: Օրինակ, Արքիմեդը Արբելոսն

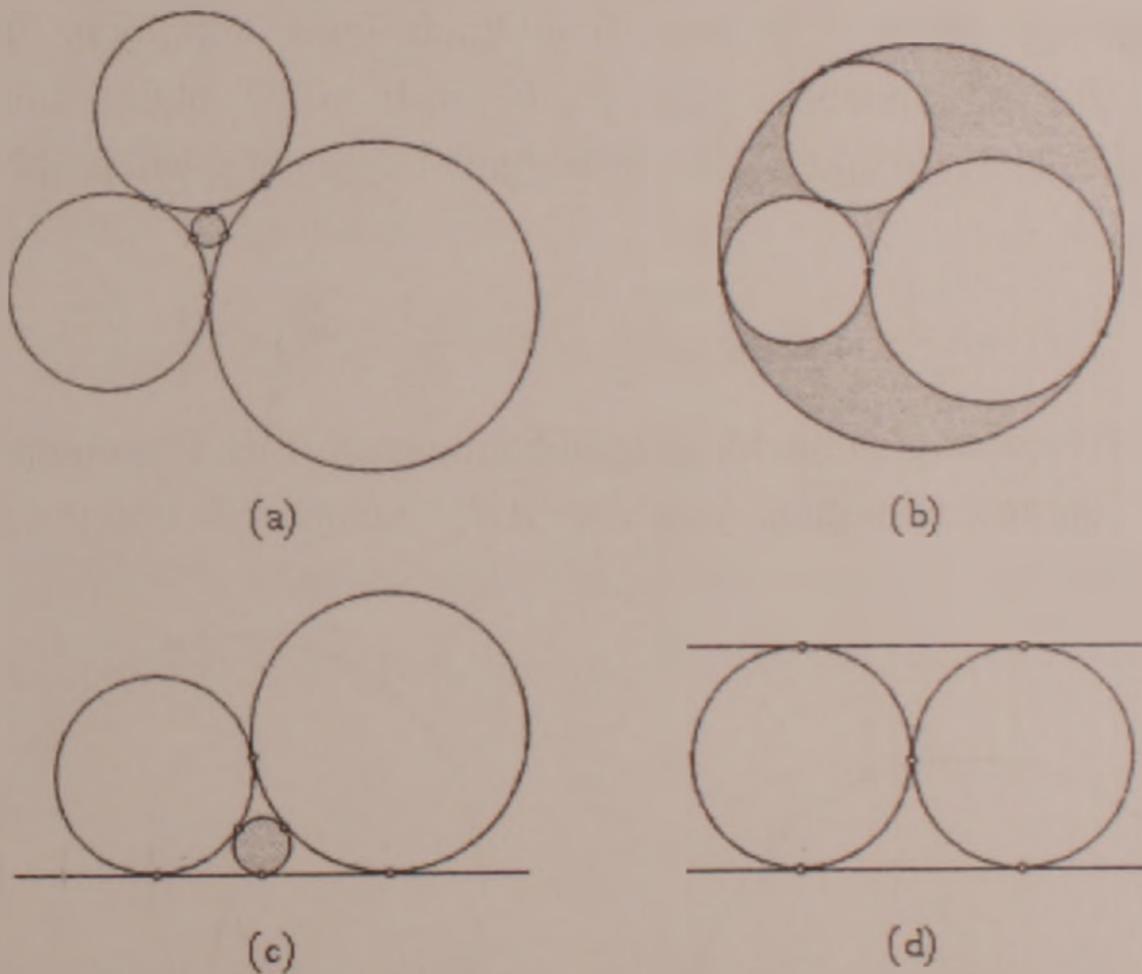
ուսումնասիրելիս ստացել է որոշ առնչություններ (c) փափկ կոնֆիգուրացիայի մի քանի մասնավոր դեպքերում [7]:

1643թ. Ռ. Դեկարտը նշում է մի առնչություն չորս շառավիղների միջև, որի բովանդակությունը, շրջանագծերի կորությունների փերմիններով, արտահայտված է հետևյալ թեորեմում:

Թեորեմ (Դեկարտ): Դեկարտի կոնֆիգուրացիայում միմյանց փոխադարձաբար շոշափող շրջանագծերի կորությունները բավարարում են հետևյալ առնչությանը՝

$$\sum_{i=1}^4 \beta_i^2 = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=1}^4 \beta_i \right)^2 : \quad (3)$$

Դեկարտը դիտարկում էր միայն (a) փափկ կոնֆիգուրացիան, սակայն նրա թեորեմը կիրառելի է բոլոր՝ (a)-(d) փափկերի կոնֆիգուրացիաների դեպքում, եթե միայն շրջանագծերի կորությունների համար սահմանենք որոշակի նշաններ հետևյալ կերպ. եթե կոնֆիգուրացիային մասնակցող  $B_i$  շառավիղով շրջանագիծը մյուսների հետ ունի միայն արտաքին շոշափում, ապա դրա կորությունը կընդունենք հավասար  $1/r_i$ , եւ  $-1/r_i$ , եթե այն մյուսների հետ ունի միայն ներքին շոշափում:

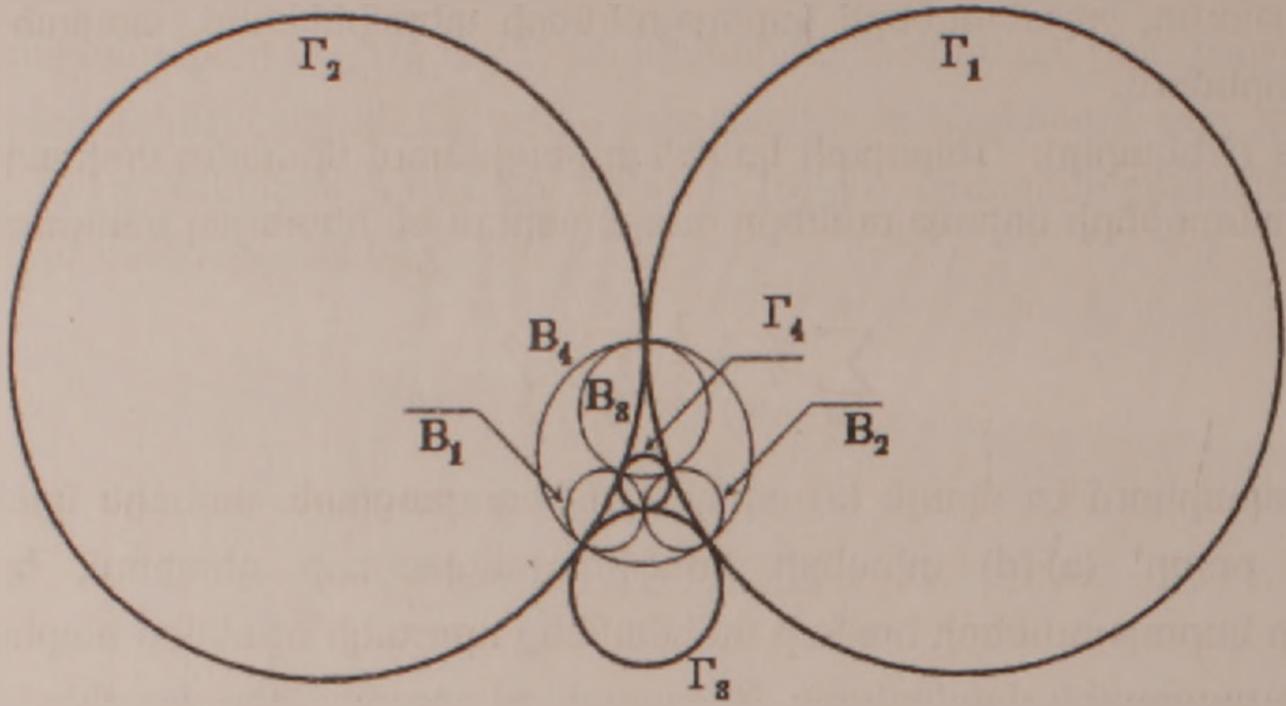


Նկ. 3:

Մաթեմատիկական գրականության մեջ հաճախ են հանդիպում Դեկարտի թեորեմի ամենապարբեր ապացույցներ, որոնցից մի քանիսին կարելի է ծանոթանալ, օրինակ, [8,9] աշխատանքներում: Սակայն, սույն աշխատանքում բերում ենք այս թեորեմի այնպիսի ապացույց, որի ընթացքում ավելի բացահայտ է դառնում Դեկարտի կոնֆիգուրացիաների խորհրդավորությունը:

Ապացույց: Նախ նկատենք, որ  $B_i$ ,  $i = \overline{1,4}$  շրջանագծերը որոշում են  $\Gamma_i$  չորս շրջանագծերի մեկ այլ կոնֆիգուրացիա, որոնք միմյանց փոխադարձաբար

շոշափում են միեւնույն վեց կետրում (տես նկ. 4): Ընդ որում  $\Gamma_1$ -ն անցնում է  $B_2, B_3, B_4$  շրջանագծերի շոշափումների երեք կետրով,  $\Gamma_2$ -ն՝  $B_1, B_3, B_4$  շրջանագծերի շոշափումների երեք կետրով եւ այլն: Նշանակենք  $\Gamma_i$  շրջանագծի կորությունը  $\gamma_i$ -ով:

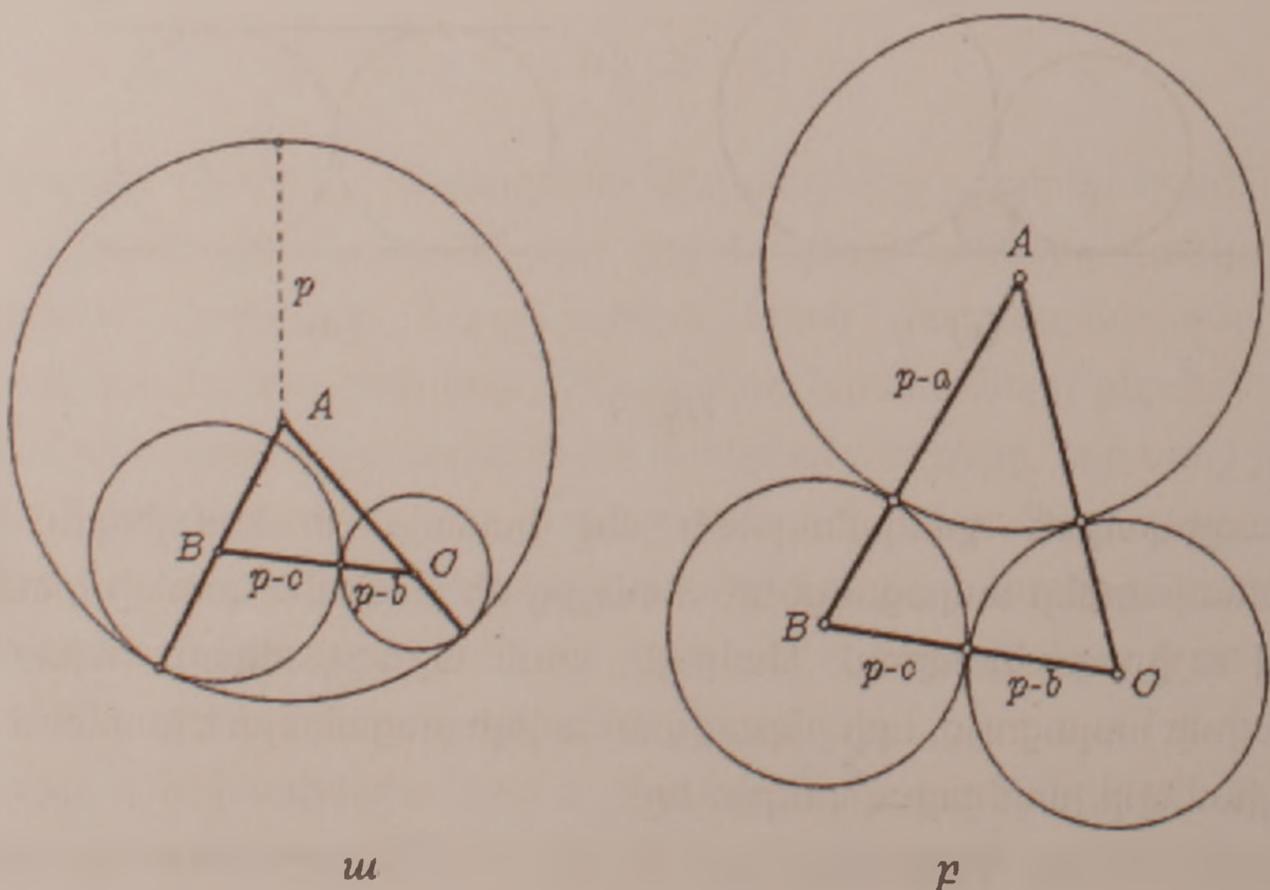


Նկ. 4:

Դժվար չէ նկատել, որ եթե  $B_1, B_2, B_3$  շրջանագծերի կենտրոնները կազմում են  $ABC$  եռանկյունը, ապա  $\Gamma_4$ -ը այդ եռանկյան կամ ներգծյալ, կամ առգծյալ շրջանագիծն է: Մասնավորապես, եթե  $B_1, B_2, B_3$ -ն ունեն նկար 5,ա-ում բերված դասավորությունը, ապա  $\Gamma_4$ -ը կլինի  $ABC$  եռանկյան ներգծյալ շրջանագիծը: Այս դեպքի համար կունենանք՝

$$\beta_1 = \frac{1}{p-a} : \beta_2 = \frac{1}{p-b} : \beta_3 = \frac{1}{p-c}, \gamma_4 = \mp \frac{1}{r},$$

Որտեղ  $a, b, c$ -ն  $ABC$  եռանկյան համապատասխանաբար  $A, B, C$  գագաթների դիմացի կողմերն են,  $p$ -ն՝ կիսապարագիծը, իսկ  $r$ -ը՝  $ABC$  եռանկյան ներգծյալ շրջանագծի շառավիղը:



ա

բ

Նկ. 5:

Այժմ, եթե  $B_1, B_2, B_3$  շրջանագծերն ունեն նկար 5,բ-ում պարկերված դասավորությունը, ապա  $\Gamma_4$ -ը կլինի  $ABC$  եռանկյան առգծյալ շրջանագիծ եւ կունենանք՝

$$\beta_1 = -\frac{1}{p}; \beta_2 = +\frac{1}{p-b}; \beta_3 = \frac{1}{p-c}; \gamma_4 = \pm \frac{1}{r_a},$$

որտեղ  $r_a$ -ն  $ABC$  եռանկյան  $A$  գագաթին հանդիպակաց առգծյալ շրջանագծի շառավիղն է:

Կիրառելով ներգծյալ եւ առգծյալ շրջանագծերի շառավիղների համար

$$r^2 = \left(\frac{S}{p}\right)^2 = \frac{(p-a)(p-b)(p-c)}{p} \text{ եւ } r_a^2 = \left(\frac{S}{p-a}\right)^2 = \frac{p \cdot (p-c)(p-b)}{p-a}$$

հայտնի բանաձեւերը՝ վերոհիշյալ երկու դեպքերում էլ ստանում ենք հետեւյալ առնչությունը՝

$$\beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 \cdot \beta_3 + \beta_2 \cdot \beta_3 = \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{1}{\beta_3}\right) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 = \gamma_4^2: \quad (4)$$

Հանգումորեն կարելի է ցույց տալ, որ

$$\gamma_1 \cdot \gamma_2 + \gamma_1 \cdot \gamma_3 + \gamma_2 \cdot \gamma_3 = \beta_4^2: \quad (5)$$

Պարզ է, որ (4) եւ (5) առնչություններում 1,2,3,4 ինդեքսների տեղափոխությունը կրկին կբերի հավասարության, ուստի

$$\begin{aligned} \left(\sum_{i=1}^4 \beta_i\right)^2 &= \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 + \beta_4^2 + 2\beta_1\beta_2 + 2\beta_1\beta_3 + \\ &+ 2\beta_1\beta_4 + 2\beta_2\beta_3 + 2\beta_2\beta_4 + 2\beta_3\beta_4 = \sum_{i=1}^4 \beta_i^2 + \sum_{i=1}^4 \gamma_i^2: \end{aligned} \quad (6)$$

Քանի որ վերջին հավասարության աջակողմյան մասը սիմետրիկ է  $\beta_i$ -ի եւ  $\gamma_i$ -ի նկատմամբ, ապա կարող ենք պնդել, որ այն հավասար է նաեւ  $\left(\sum_{i=1}^4 \gamma_i\right)^2$ , այսինքն՝

$$\left(\sum_{i=1}^4 \gamma_i\right)^2 = \sum_{i=1}^4 \beta_i^2 + \sum_{i=1}^4 \gamma_i^2: \quad (7)$$

Հավասարություններ (6)-ից եւ (7)-ից անմիջապես ստանում ենք

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 > 0$$

առնչությունը: Այժմ կարարելով ձեւափոխությունների հետեւյալ շղթան՝

$$\begin{aligned} (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4) \cdot (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4) &= (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3)^2 - \beta_4^2 = \\ &= \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 - \beta_4^2 + 2\gamma_4^2 = \\ &= (\gamma_2\gamma_3 + \gamma_2\gamma_4 + \gamma_3\gamma_4) + (\gamma_1\gamma_3 + \gamma_1\gamma_4 + \gamma_3\gamma_4) + (\gamma_1\gamma_2 + \gamma_1\gamma_4 + \gamma_2\gamma_4) - \\ &\quad - (\gamma_1\gamma_2 + \gamma_1\gamma_4 + \gamma_2\gamma_3) + 2\gamma_4^2 = \\ &= 2(\gamma_1\gamma_4 + \gamma_2\gamma_4 + \gamma_3\gamma_4) + 2\gamma_4^2 = 2\gamma_4(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4), \end{aligned}$$

կստանանք

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 = 2\gamma_4, \quad (8)$$

որտեղից 1,2,3,4 ինդեքսների տեղափոխության շնորհիվ կստանանք 4 նմանատիպ առնչություններ, որոնց երկու կողմերը բարձրացնելով քառակուսի եւ գումարելով դրանց համապատասխան կողմերը, կստանանք՝

$$\sum_{i=1}^4 \beta_i^2 = \sum_{i=1}^4 \gamma_i^2 :$$

Նկատի ունենալով այս առնչությունը՝ (6)-ից անմիջապես ստանում ենք թեորեմի ապացույցը.

$$\left(\sum_{i=1}^4 \beta_i\right)^2 = \sum_{i=1}^4 \beta_i^2 + \sum_{i=1}^4 \gamma_i^2 = 2 \sum_{i=1}^4 \beta_i^2 :$$

3. Համաձայն 1-ում կատարված նշանակումների տեղի ունի հետևյալը:

Թեորեմ: Արբելուսին ներգծած Պապի շրջանագծերի  $\Omega_c$  շղթայի  $n$ -րդ շրջանագծի  $R_n^c$  շառավղի համար՝

$$R_n^c = \frac{R \cdot r \cdot (R - r)}{n^2 R^2 - r \cdot (R - r)} : \quad (9)$$

Ապացույց: Թեորեմն ապացուցելու համար օգտվենք մաթեմատիկական ինդուկցիայի մեթոդից:  $n = 1$  դեպքում ունենք

$$R_1^c = \frac{R \cdot r \cdot (R - r)}{R^2 - r \cdot (R - r)}, \quad (10)$$

հետևաբար այս դեպքում պնդումը ճիշտ է, քանի որ Պապի շղթայի առաջին շրջանագիծը հենց Արբելուսին ներգծած շրջանագիծն է, որի շառավղի համար տեղի ունի (10) բանաձևը (տես, օրինակ, [6]):

Այժմ ենթադրենք, որ (9) բանաձևը ճիշտ է ցանկացած  $k \leq n$  բնական թվի համար եւ ցույց տանք, որ այն ճիշտ է նաեւ  $(n + 1)$ -ի համար: Նկատենք, որ Պապի  $\Omega_c$  շղթայի  $w_n, w_{n+1}$  շրջանագծերը Արբելուսի  $w_{AC}$  եւ  $w_{CB}$  շրջանագծերի հետ մեկտեղ կազմում են Դեկարտի կոնֆիգուրացիա, հետևաբար, կիրառելով Դեկարտի թեորեմը, կստանանք՝

$$2(\beta_n^2 + \beta_{n+1}^2 + \beta_{AC}^2 + \beta_{CB}^2) = (\beta_n + \beta_{n+1} + \beta_{AC} + \beta_{CB})^2 \quad (11)$$

որտեղ  $\beta_n, \beta_{n+1}, \beta_{AC}, \beta_{CB}$  մեծությունները  $w_n, w_{n+1}, w_{AC}, w_{CB}$  շրջանագծերի կորություններն են:

Ակնհայտ է, որ (11)-ը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝

$$\beta_{n+1}^2 - 2\beta_{n+1}(\beta_n + \beta_{AC} + \beta_{CB}) + \beta_n^2 + \beta_{AC}^2 + \beta_{CB}^2 - 2(\beta_n\beta_{AC} + \beta_{AC}\beta_{CB} + \beta_n\beta_{CB}) = 0 :$$

Լուծելով այս քառակուսի հավասարումը՝ կստանանք.

$$\beta_{n+1} = \beta_n + \beta_{AC} + \beta_{CB} + 2\sqrt{\beta_n\beta_{AC} + \beta_{AC}\beta_{CB} + \beta_n\beta_{CB}} :$$

Վերջին հավասարության մեջ փեղադրելով  $\beta_{AC} = \frac{1}{r}$ ,  $\beta_{BC} = \frac{1}{R-r}$  եւ  $\beta_n = \frac{R \cdot r(R-r)}{n^2 R^2 - r \cdot (R-r)}$ ՝ կունենանք՝

$$\begin{aligned} \beta_{n+1} &= \frac{n^2 R^2 - r(R-r)}{R \cdot r(R-r)} + \frac{1}{r} + \frac{1}{R-r} + \\ &+ 2\sqrt{\frac{n^2 R^2 - r(R-r)}{R \cdot r^2(R-r)} + \frac{1}{r(R-r)} + \frac{n^2 R^2 - r(R-r)}{R \cdot r(R-r)^2}} = \\ &= \frac{n^2 R^2 + R^2 - r(R-r)}{R \cdot r(R-r)} + \frac{2nR}{r(R-r)} = \frac{(n+1)^2 R^2 - r(R-r)}{R \cdot r(R-r)} : \end{aligned}$$

Հետևաբար

$$R_{(n+1)}^c = \frac{1}{\beta_{n+1}} = \frac{R \cdot r(R-r)}{(n+1)2R^2 - r(R-r)} :$$

Այս առնչությունից բխում է, որ (9) պնդումը ճիշտ է նաեւ  $(n+1)$ -ի համար, ուստի այն ճիշտ է ցանկացած  $n \geq 1$  ամբողջ թվի համար:

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան

Ակադեմիկոս Վ. Ս. Ջաբարյան, Ա. Ն. Առաքելյան

Արբելոսին ներգծած Պապի շրջանագծերի հաջորդականության վերաբերյալ

Դիտարկվում է Արբելոսին ներգծած Պապի շրջանագծերից եւս մեկ հաջորդականություն: Այդ հաջորդականության  $n$ -րդ շրջանագծի շառավղի համար սրացվում են որոշ առնչություններ արտահայտված Արբելոսին ներգծած շրջանագծի շառավղի միջոցով:

Академик В. С. Захарян, А. Г. Аракелян

О последовательности окружностей Паппа, вписанных в Арбелос

Рассматривается еще одна последовательность окружностей Паппа, вписанных в Арбелос. С помощью теоремы Декарта о конфигурации четырех окружностей получаем соотношение для радиуса  $n$ -й окружности данной последовательности в терминах радиуса вписанной окружности Арбелоса.

Academician V. S. Zakaryan, A. H. Arakelyan

On Pappus Chains Inside Arbelos

Another infinite chain of Pappus circles inscribed inside the Arbelos is considered. By means of Descartes' theorem the identity involving the radius of  $n$ -th circle of the chain and the incircle radius is obtained.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Dodge C.W., Schoch T., Woo P.Y., Yiu P. - Math. Mag. 1999. V. 72. P. 202-213.
2. Power F. - Forum Geom. 2005. V. 5. P. 133-134.
3. Woo P.Y. - Forum Geom. 2001. V. 1. P. 133-136.
4. Bankoff L. - In: The Lighter Side of Mathematics. ed. R.K. Guy and R.E. Woodrow, Mathematical Association of America. 1994. P. 247-253.
5. Չարիրյան Վ., Առարեկյան Ա. - Բնագետ, 2003, N5-6. էջ 61-68:
6. Չարիրյան Վ., Առարեկյան Ա. - Բնագետ, 2003, N3-4. էջ 43-48:
7. Архимед. Соч. Гос. изд. ФМ. литературы. М. 1962. 637 с.
8. Шарыгин И.Ф. Задачи по геометрии. М. 1998.
9. Coxeter H. S. M. Introduction to Geometry, Second Edition. New York. John Wiley and Sons. 1969.

УДК 519.681

H. A. Grigoryan, A. S. Shoukourian

## Equivalence of Processes in Object-Oriented Environments with Commutative and Non-Commutative Objects

(Submitted by academician S.K. Shoukourian 30/IX 2009)

**Keywords:** *object-oriented environments, model of an environment, processes, equivalence of processes, multitape multidimensional automata, partially commutative semigroups, partially commutative alphabet, regular expressions*

**1. Introduction.** The concept of a process [1, 2] is fundamental to many areas of science and engineering. The common idea of a process is a pattern of activity performed by distributed entities (often named objects, agents [3]) to achieve particular objectives. As sub-processes are often set up to perform equivalent operations, solutions to problem of deciding the equivalence of processes are of high practical relevance for all applications that involve design, monitoring, and control of processes. Many forms of equivalences (specifically, bisimulation, trace equivalence, functional equivalence [2-5]) have been considered, but the problem for distributed, temporally extended processes has mainly been investigated for process models that do not contain peculiarities of object/agent-oriented environments [3]. Meantime these peculiarities are inherent and essential for modern manufacturing frameworks [6].

This paper addresses a model of manufacturing processes introduced in [3]. An extension of the general model defined over an object-oriented environment is suggested for consideration of functional equivalence problem for processes. The considered formalism does not cover completely all the peculiarities of the model in [3], it is intended for applications where triggering of events for a given situation occurs periodically, according to some cycle. The formalism includes a definition of commutative operations and objects, semantics of process execution and a definition of the functional equivalence problem for processes.

It is shown that, if there are no commutative operations, the problem is reduced to the equivalence problem of multidimensional multitape automata [7] and, thus, is solvable [8, 9].

In the case of commutative operations the equivalence problem for environments with two commutative objects, with two or more operations per each, is insolvable [10].

If there is only one object among commutative objects with two or more operations then it is shown that the equivalence problem is reduced to the equivalence problem of regular expressions over a partially commutative alphabet [11] and, thus, is solvable.

**2. Model Equations and Semantics.** A formal model of an environment based on a finite set of communicating objects is introduced below. Objects are communicating with each other via a finite set of messages. As there could be several messages passed to a given object, each object has a possibility to gather a finite number of received input messages in a queue before processing. A newly received message is ignored, if it comes after the message queue is filled completely.

Object consists of a unique identifier, a finite set of states and a finite set of operations. Operations are carried out in response to messages, last some time interval, and, for a current state, result in a new state as well as in a vector of messages to be sent to other objects. A state of the environment is a vector of states of contained objects. State and operation sets of different objects within the environment are considered disjoint.

Basic model equations describing environment, object, operation as well as duration of operations and finite message queues are defined as follows:

$$\text{Environment} = (o_1, \dots, o_n), \text{ where } o_i \in \{\text{Object}\}, i = 1, \dots, n$$

$$\text{Object} = (ID, \{\text{State}\}, \{\text{Operation}\})$$

$$\text{MSG} = \{\text{msg}_e, \text{msg}_1, \dots, \text{msg}_k\}$$

$$\text{Operation} = \{\text{State}\} \times \text{MSG} \rightarrow \{\text{State}\} \times \{\text{Reaction}\}$$

$$\text{Reaction} \in \text{MSG}^n, \text{ Reaction } [i] \text{ is the component } i \text{ of the vector Reaction, } i = 1, \dots, n$$

$$\text{Duration} = \{\text{Operation}\} \rightarrow \{1, 2, \dots\}$$

Then the next group of model equations is added to describe message communication within the environment, including message addition to queues for objects of the environment. Each object queue has its own length  $p_i$ .

$$\text{EnvState} = (s_1, \dots, s_n), s_i \in \{\text{State}\} \text{ for the object } o_i, i = 1, \dots, n, \\ \text{EnvState}[i] = s_i$$

$$\text{MSGQueue}^{(p)} = \bigcup_{m=0}^p (\text{MSG} - \text{msg}_e)^m, p \in \{0, 1, 2, \dots\}, \text{MSGQueue}^{(p)}[i] \text{ is the } \\ \text{component } i \text{ of the vector } \text{MSGQueue}^{(p)}$$

$$\text{EnvInput} \in \text{MSGQueue}^{(p_1)} \times \dots \times \text{MSGQueue}^{(p_n)}$$

Finally, a notion of scene is introduced, which describes the status of the environment at a given time instance  $t$  as well as the change of  $EnvInput$  basing on a given  $Reaction$ .

$$Scene = (t, EnvState, EnvInput), t \in \{1, 2, \dots\}$$

$$EnvInput \oplus Reaction = (EnvInput[1] \oplus Reaction[1], \dots, EnvInput[n] \oplus Reaction[n])$$

$$MSGQueue^{(p)} = (msg^{(1)}, \dots, msg^{(m)}), \text{ where } msg^{(1)}, \dots, msg^{(m)} \in (MSG - msg_e), m \leq p$$

$$MSGQueue^{(p)} \oplus msg = (msg^{(1)}, \dots, msg^{(m)}, msg), \text{ if } m < p, msg \in (MSG - msg_e)$$

$$MSGQueue^{(p)} \oplus msg = MSGQueue^{(p)}, \text{ if } m = p$$

$$MSGQueue^{(p)} \oplus msg_e = MSGQueue^{(p)}$$

Any operation  $op$  of a given object  $o$  can be naturally extended to operation  $op^{(ext)} : \{EnvState\} \times \{EnvInput\} \rightarrow \{EnvState\} \times \{EnvInput\}$  in the following way.

$$\forall EnvState \forall EnvInput \quad op^{(ext)}(EnvState, EnvInput) = (EnvState', EnvInput'),$$

where

$$EnvState'[j] = EnvState[j], j \neq i$$

$$EnvState'[i] = (op(EnvState[i], (EnvInput[i])[1]))[1]$$

$$EnvInput' = EnvInput \oplus (op(EnvState[i], (EnvInput[i])[1]))[2],$$

where  $(EnvInput[i])[1]$  is the first message in the queue  $EnvInput[i]$ ,  $(op(EnvState[i], (EnvInput[i])[1]))[v]$ ,  $v = 1, 2$  are, correspondingly, first and second components of the resulting vector for the source operation  $op$ .

Only extended operations will be considered further. To simplify the notation,  $op$  will be used instead of  $op^{(ext)}$  meaning the mapping:  $EnvStateSet \times EnvInputSet \rightarrow EnvStateSet \times EnvInputSet$ .

A binary meta-operation named *concatenation* and denoted by  $*$  is defined over extended object operations of a given environment.

Let  $op_i$  be an extended operation of an object  $o_i$  and  $op_j$  be an extended operation of an object  $o_j$ . Then  $op_i * op_j$  is an operation meaning the mapping  $\{EnvState\} \times \{EnvInput\} \rightarrow \{EnvState\} \times \{EnvInput\}$  in the following way:

$$op_i * op_j(EnvState, EnvInput) = op_j(op_i(EnvState, EnvInput)).$$

Let  $Op = \{op_1, \dots, op_k\}$  be a set of all extended operations for all objects of a given environment including also an empty operation which provides a trivial same-to-same mapping  $\{EnvState\} \times \{EnvInput\}$  into  $\{EnvState\} \times \{EnvInput\}$ .

Then, using the introduced meta-operation of concatenation a semi-group of all words in the alphabet  $Op$  can be considered. It will be denoted further by  $F_{Op}$ .

Two objects  $o_i$  and  $o_j$  are named *commutative* if and only if for any extended operation  $op_{i,1}$  of the object  $o_i$  and for any extended operation  $op_{j,1}$  of the object  $o_j$ ,  $\forall EnvState \forall EnvInput$

$$op_i * op_j(EnvState, EnvInput) = op_j * op_i(EnvState, EnvInput).$$

A notion of process is introduced to provide a possibility of a programmable control over an environment. It is started by introducing the following primitives:

$TimeConstraint = \{t_0 + n * \Delta t | n \in \{0, 1, 2, \dots\}\}$ , where  $t_0$  and  $\Delta t$  are non-negative integers

$BasicPred = \{\pi_1, \dots, \pi_r\}$ , where  $\pi_j$  is a predicate symbol of arity  $n_j$

$Condition = \pi_j(o_{i_1}.State, \dots, o_{i_{n_j}}.State)$ , where  $j \in BasicPred$

$Assertion = (Condition, TimeConstraint)$

$Situation = (Object, Assertion)$

$SituationBatch = \{Situation\}$

Let  $\Theta = \{o_1, \dots, o_n\}$  be an environment.

A process over an environment  $\Theta$  is a tuple  $P = \langle \Theta, \Sigma, B, \Gamma, b_s \rangle$ , where:

$\Sigma$  - is an ordered finite set of situations, such that  $\forall \sigma \in \Sigma, \sigma.Object \in \Theta$

$B$  - is a set of situation-batches, such that  $\forall b \in B, b \subseteq \Sigma, b_e = \emptyset \in B$  is the end situation batch

$\Gamma$  - is a relation  $\{(\sigma, b, \omega) | \sigma \in \Sigma\}$ , where  $b \in B, \omega \in \sigma.Object.Operations$

$b_s$  - is the start situation batch.

An interpretation is built for a given process, if the initial state of the environment and following functions are defined:

- initial  $EnvState : es_0 = (st_0^{(1)}, \dots, st_0^{(n)})$
- a function  $f_{op} : \{EnvState\} \times \{EnvInput\} \rightarrow \{EnvState\} \times \{EnvInput\}$  for each operation symbol  $op \in Op$
- a function  $\rho_{\pi_j} : o_{i_1}.StateSet \times \dots \times o_{i_{n_j}}.StateSet \rightarrow \{TRUE, FALSE\}$  ( $n_j$  is the arity of the corresponding predicate symbol) for each predicate symbol.

The semantics of a process interpretation is described below via the following execution algorithm.

To ensure consistent execution of the process, concurrent execution of two and more operations of the same object is not allowed. So, in case if there are two pending situations, ready to be executed at the same time, it must be chosen which one to execute first. The other situation should stay in a pending state. To implement this, the set of situations ( $\Sigma$ ) is defined above as ordered, as well as corresponding checks are performed in the execution algorithm.

Data structures and functions used in the execution algorithm are listed below.

- **InputScene** - the initial scene (input of the algorithm)
- **Pending** - a set of situations that are waiting to be executed
- **Running** - a set of situations  $\Sigma'$ , for which  $\forall \sigma \in \Sigma', operation(\sigma)$  is currently running

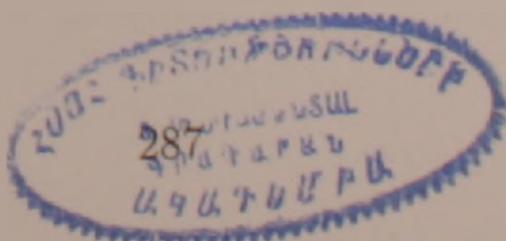
- **CurrentEnvInput** - the current environment input
- $\text{nextNode}(\sigma) = b$ , if  $(\sigma, b, \omega) \in \Gamma$
- $\text{operation}(\sigma) = \omega$ , if  $(\sigma, b, \omega) \in \Gamma$
- $\text{receivedMsg}(\sigma) = \text{TRUE}$ , if a message needed for  $\text{operation}(\sigma)$  is in **CurrentEnvInput** (in the message queue of the corresponding object).
- $\text{canExecute}(\sigma) = \text{receivedMsg}(\sigma) \& \sigma.\text{Assertion.Condition}$ , where  $\sigma$  is a situation.
- **beginExecution**( $\sigma$ ) - removes the message needed for  $\text{operation}(\sigma)$  from **CurrentEnvInput** (from the message queue of the corresponding object).
- **finalizeExecution**( $\sigma$ ) - changes the state of the corresponding object and adds the *ObjectReaction* of  $\text{operation}(\sigma)$  to **CurrentEnvInput** (**CurrentEnvInput** = **CurrentEnvInput**  $\oplus$  *ObjectReaction*).
- $\text{executed}(\sigma) = \text{TRUE}$ , if  $\text{duration}(\text{operation}(\sigma))$  time has passed from the corresponding **beginExecution**( $\sigma$ ).
- **add**(**dest**, **sitBatch**) - adds all situations of the situation batch **sitBatch** to the set **dest** (no duplications).
- **remove**(**source**, **sit**) - removes situation **sit** from the set **source**.
- **move**(**sit**, **source**, **dest**) - removes situation **sit** from the set **source** and adds to the set **dest** (no duplications).
- **foreach**( $\sigma$ ,  $\text{cond}(\sigma)$ ) - iterates sequentially over any situation  $\sigma$  for which a given condition over  $\sigma - \text{cond}(\sigma)$  is true, according to the order defined in  $\Sigma$ .

#### Execution Algorithm

```

Pending = Running =  $\emptyset$ ;
CurrentEnvInput = InputScene.EnvInput;
add(Pending,  $b_s$ );
for( $t = \text{InputScene.t}$ ; ;  $++t$ )
begin
  foreach( $\sigma$ ,  $\sigma \in \text{Running} \& \text{executed}(\sigma)$ )
  begin
    finalizeExecution ( $\sigma$ );
    remove(Running,  $\sigma$ );
    add(Pending,  $\text{nextNode}(\sigma)$ );
  end
end

```



```

foreach( $\sigma$ ,  $\sigma \in \text{Pending} \ \& \ \text{canExecute}(\sigma)$ 
  &  $t \in \sigma.\text{Assertion}.\text{TimeConstraint}$ 
  &  $(\forall \sigma_1 \in \text{Running} \ \sigma_1.\text{object} \neq \sigma.\text{object})$ )
begin
  move( $\sigma$ , Pending, Running);
  beginExecution( $\sigma$ );
end

if( $\text{Running} = \emptyset \ \& \ (\forall \sigma \in \text{Pending} \neg \text{canExecute}(\sigma))$ )
  exit;
end

```

The execution is **successful** if **Pending** =  $\emptyset$  at the end, otherwise the execution is **failed**. For a successful execution, the result of the algorithm is the last scene before the end of the algorithm (output scene). The tuple (*Pending*, *Running*, *CurrentTime*, *CurrentEnvInput*) will be called an *execution state* of the algorithm.

Two processes defined over the same environment will be called *functionally equivalent* if and only if for every input scene the execution of both processes either fails or the environment inputs and environment states in output scenes are equal for all interpretations.

We will denote the equivalence of  $P_1$  and  $P_2$  as  $P_1 \sim P_2$ .

The functional equivalence problem for the case when there are no commutative objects in a given environment was considered in [9] for a more simplified model. It was shown, that the problem could be reduced to the equivalence problem of multidimensional multitape automata, which is solvable [8]. It will be shown below, that the result also holds when the introduced extension is considered.

The equivalence problem in environments with commutative objects will be also considered below.

An equivalent representation of a process, named *sequential execution scheme of the process* - SESP, is defined next. This representation is more convenient for further considerations.

Let  $P = \langle \Theta, \Sigma, B, \Gamma, b_s \rangle$  be a process and  $\Sigma = \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ . Let also  $T_i = \{t_0 + n * \Delta t_i | n \in \{0, 1, 2, \dots\}\}$  is a time constraint for a given situation  $\sigma_i$  of  $\Sigma$ . Let  $\Delta t$  be the least common multiple for all  $\Delta t_i$ ,  $t_0$  be the maximum of all  $t_0_i$ .

The set of states of the SESP( $P$ ) corresponds to the set of execution states of the execution algorithm (taking into account the periodicity of time constraints). It is defined as  $2^\Sigma \times R \times T \times \{EnvInput\}$ , where  $2^\Sigma$  is the set of pending situations,  $R = \{[(\sigma_1, \tau_1), \dots, (\sigma_b, \tau_b)] | \sigma_i.\text{object} \neq \sigma_j.\text{object}, 0 < \tau_i < \text{duration}(\text{operation}(\sigma_i))\}$

is the set of running situations ( $\tau_i$  is the time remaining for the completion of operation( $\sigma_i$ )),  $T = \{0, \dots, t_0 + \Delta t - 1\}$  is the set of possible values of current time,  $\{EnvInput\}$  is the set of current environment inputs. Let  $NextT(t) = t + 1$  if  $t < t_0 + \Delta t - 1$ ,  $NextT(t) = t_0$  if  $t = t_0 + \Delta t - 1$ . A transition is defined from state  $s^{(1)} = (P^{(1)}, R^{(1)}, t^{(1)}, IE^{(1)})$  to state  $s^{(2)} = (P^{(2)}, R^{(2)}, t^{(2)}, IE^{(2)})$ , where  $P^{(1)}, P^{(2)} \in 2^\Sigma$ ,  $R^{(1)}, R^{(2)} \in R$ ,  $t^{(1)}, t^{(2)} \in T$ ,  $IE^{(1)}, IE^{(2)} \in \{EnvInput\}$ , if  $t^{(2)} = NextT(t^{(1)})$  and  $s^{(2)}$  can be reached from  $s^{(1)}$  by one step of the execution algorithm for  $t = t^{(1)}$  for some interpretation.

The execution algorithm is modified to work with SESP in the following way. As the sets *Pending*, *Running* and *CurrentEnvInput* are already encoded in the states of SESP, we just need to start from the state corresponding to the input scene and go to a next state corresponding to the *Pending*, *Running* and *CurrentEnvInput* sets of the original algorithm, executing the operations and changing the states of objects as in the original algorithm.

Let  $StateT(t) = t$  if  $t < t_0$ ,  $StateT(t) = t_0 + (t - t_0) \bmod \Delta t$  otherwise. Let  $InputState(S_I) = (b_s, \emptyset, StateT(S_I.t), S_I.EnvInput)$  be the state corresponding to the input scene  $S_I$ ,  $OutputState(S_O) = (\emptyset, \emptyset, StateT(S_O.t), S_O.EnvInput)$  be the state corresponding to the output scene  $S_O$ .

The following lemma states the correspondence between a given process and its SESP.

**Lemma 1 [9].** *For every interpretation  $I$  and every input scene  $S_I$ :*

a) *if the execution of the process completes successfully with an output scene  $S_O$ , there is a path in the SESP from  $IS = InputState(S_I)$  to  $OS = OutputState(S_O)$ , and the execution of the SESP with the input scene  $S_I$  reaches  $OS$  and vice versa;*

b) *if the execution of the process fails, the execution of the SESP never completes and vice versa.*

**3. Equivalence of Processes In Environments With Non-Commutative Objects.** A multidimensional multitape automaton modeling a given process  $P$  is built below.

The corresponding automaton  $A(P)$  has:

- one tape with an alphabet  $\{0, 1\}$  for each condition, the dimension of which is the same as the number of objects that the condition uses (condition tapes);
- one 1-dimensional tape for each object for encoding the operation history; it will store operation and message pairs (operation tapes);
- one 1-dimensional tape for reading the start time, input and output messages from (I/O tape);

- one 1-dimensional tape for each operation  $op$ , for encoding the function  $f_{opi}$  it will store elements from the set  $\{Reaction\}$  (message tapes).

The set of states of the automaton  $A(P)$  consists of three subsets. These are a set of initialization states, which are used for reading the input scene time and messages, a set of states that are used to read the the output scene messages and a set of main states, used for modeling the execution of the process.

We will assume that the graph of main states of the automaton  $A(P)$  is divided into subgraphs - blocks that correspond to the states of the SESP. The block corresponding to the state  $s$  is denoted  $B(s)$ . Each block has one start state, and the only transitions possible between blocks are to a start state. If there is a transition from state  $s$  to state  $s'$  in the SESP, then there is a transition from block  $B(s)$  to block  $B(s')$ . Below the actions performed in each block are described.

The value of the condition is read from the corresponding condition tape (the heads on condition tapes are not advanced at this point). The output messages (reactions) are read from the corresponding message tapes. Upon completion of an operation, each head on the condition tapes which use the active object (the object, an operation of which just completed) is advanced in the direction corresponding to that object, and the corresponding operation-message pair is read from an operation tape.

The automaton starts by reading the input scene and getting to the corresponding block. After successful execution (the automaton gets to a block corresponding to the end situation batch  $b_e$ ), the automaton reads the output scene messages from the I/O tape and compares them to the current messages. If they match, then the tapes are accepted, otherwise, they are rejected.

**Lemma 2.** *The positions of heads of the automaton  $A$  on the condition and message tapes are uniquely determined by the positions of heads on operation tapes.*

Let  $y = ((y_{11}, y_{12}, \dots), \dots, (y_{n1}, y_{n2}, \dots))$  be the sequences of operation-message pairs of all objects. We will say, that a filling of the tapes models an interpretation, bounded by  $y$ , if these operation-message pairs are written on the operation tapes, the message functions are written on the message tapes and the values of the cells of condition tapes, corresponding to any subsequences of  $y$ , equal the values of conditions for that interpretation after performing the operations on the given messages. Let  $I$  be an interpretation,  $S_I$  be an input scene,  $y = ((y_{11}, y_{12}, \dots), \dots, (y_{n1}, y_{n2}, \dots))$  be the sequences of operation-message pairs, that the process would perform for  $I$  and  $S_I$ .

**Lemma 3.** *For the automaton  $A(P)$  working on a filling of tapes modeling  $I$  and bounded by  $y$ , if in the  $i^{th}$  step of the execution of the SESP  $s$  is the active state, then in the sequence of active blocks of  $A$  the  $i^{th}$  would be  $B(s)$  and vice versa.*

**Lemma 4.** *If a filling of the tapes is such, that there is no interpretation for*

which the filling is modeling, bounded by some sequences of operation-message pairs, then for any process  $P$  corresponding to the signature of tapes, the corresponding automaton  $A$  will never stop on the filling.

Let  $P_1$  and  $P_2$  be two processes,  $A(P_1)$  and  $A(P_2)$  be the corresponding multi-dimensional multitape automata, constructed in the above-mentioned way.

**Theorem 1.**  $P_1 \sim P_2 \Leftrightarrow A(P_1) \sim A(P_2)$ .

**Proof.**  $A(P_1) \sim A(P_2) \Rightarrow P_1 \sim P_2$ . It follows from Lemma 3.

$P_1 \sim P_2 \Rightarrow A(P_1) \sim A(P_2)$ . Let  $P_1 \sim P_2$ , and  $\mu$  is a filling of the tapes on which  $A(P_1)$  stops. We'll show that  $A(P_2)$  also stops on that filling and the positions of the heads are the same.

According to Lemma 4, there is an interpretation  $I_\mu$ , for which  $\mu$  is modeling, bounded by the sequences of operation-message pairs of  $\mu$ . From  $P_1 \sim P_2$  will follow that  $P_2$  gives the same results as  $P_1$  for all input scenes for  $I_\mu$ , hence  $A(P_2)$  stops for all I/O tape fillings (and  $\mu$ ) as  $A(P_1)$ . The same positions of heads of the two automata follow from Lemma 2.

**4. SESP Modeling Via Regular Expressions Over A Partially Commutative Alphabet.** Let  $Y$  be a finite alphabet,  $Y_1, \dots, Y_m$  be the partition of the alphabet  $Y$  on disjoint non-commutative subsets by a relation  $\rho$ .  $Y$  is named a partially commutative alphabet [11]. Let  $R_1$  and  $R_2$  be regular expressions in the alphabet  $Y$ . If for every word  $w \in R_1$  there exists a word  $w' \in R_2$ , that coincides to  $w$  within commutation of symbols from different subsets of the alphabet  $Y$  and, vice versa, if for every word  $w' \in R_2$  there exists a word  $w \in R_1$ , that coincides to  $w'$  within commutation of symbols from different subsets of the alphabet  $Y$  then regular expressions  $R_1$  and  $R_2$  are named  $\rho$ -equivalent and denoted by  $R_1 \sim R_2(\rho)$  [11].

The set of all operations of all objects of an environment  $\Theta$  will be denoted by  $\Theta_{op} = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^{m_i} o_i.op_j$ . Let  $Y$  be a partially commutative alphabet [11],

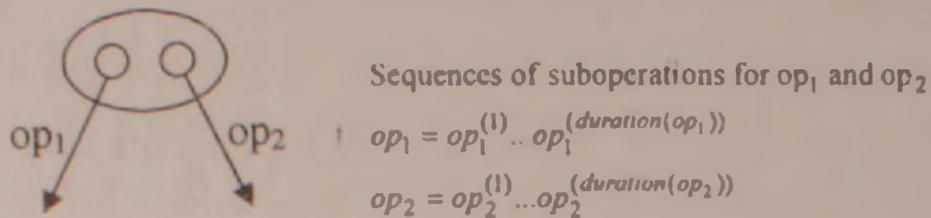
$Y = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^{m_i} \{op_{ij}^1 \dots op_{ij}^{duration(o_i.op_j)}\}$  where  $op_{ij}^1 \dots op_{ij}^{(duration(o_i.op_j))}$  is a representation of a given operation  $j$  of object  $i$  as a sequence of sub-operations that are executed within one time unit of the operation duration. Evidently, if  $o_i^{(1)}.op_j^{(1)} * o_i^{(2)}.op_j^{(2)} = o_i^{(2)}.op_j^{(2)} * o_i^{(1)}.op_j^{(1)}$  then  $op_{i_1j_1}^{(k)} op_{i_1j_1}^{(l)} = op_{i_1j_1}^{(l)} op_{i_1j_1}^{(k)}$ .

It is easy to transform a given SESP into a regular expression over the alphabet  $Y$ : it is requested just to add for each node transitions for missed operations leading to the endless loop. For a given SESP  $P$  the corresponding regular expression will be denoted  $R(P)$ . The figure below demonstrates the transformation from a source process to an automaton that recognizes the corresponding regular expression.

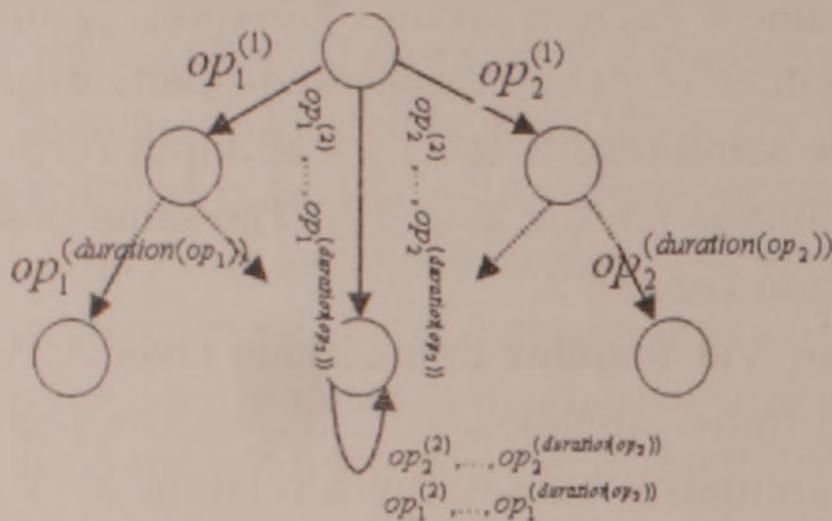
**Lemma 5.** For any SESP  $P_1$  and  $P_2$  in the environment  $\Theta$  with commutative objects  $P_1 \sim P_2 \Leftrightarrow R_1(P_1) \sim R_2(P_2)(\rho)$ .

**Proof.**  $P_1 \sim P_2 \Rightarrow R_1(P_1) \sim R_2(P_2)(\rho)$ . Suppose the contrary: processes  $P_1$  and

$P_2$  are equivalent, but the corresponding regular expressions  $R_1(P_1)$  and  $R_2(P_2)$  are not. The latter, according to the definition, means that there either exists a word  $w_1$  from  $R_1(P_1)$  that does not coincide, up to commutation of symbols from different subsets of the alphabet, with any other word  $w_2$  from  $R_2(P_2)$  or vice versa. Let's assume that the first case takes place.



Fragment of the automaton



Fragment of a source process  $P$  corresponding to regular expression  $R(P)$

This, in its turn, according to the transformation of the source process to an automaton, means that there exists at least one sequence of operations of process  $P_1$ , that corresponds to the word  $w_1$  from  $R_1(P_1)$ , which does not have corresponding, in terms of affecting the environment, sequence of operations in process  $P_2$ . This contradicts to the assumption that processes  $P_1$  and  $P_2$  are equivalent.

As  $R_1(P_1) \sim R_2(P_2)(\rho) \Rightarrow P_1 \sim P_2$  is evidently true, due to the transformation algorithm depicted above, the lemma is proved.

### 5. Equivalence of Processes In Environments With Commutative Objects.

**Theorem 2.** *If there exist two commutative objects in an environment  $\Theta$  with more than one operation then the equivalence problem of processes in the environment is unsolvable.*

This can be proved using the technique similar to [10], i.e. via reducing the considered problem to the equivalence problem of non-deterministic multitape automata.

**Theorem 3.** *The problem of functional equivalence of processes in an environment with commutative objects, when there is only one object with more than one operation, is solvable.*

Per Lemma 5, to prove this theorem, it is sufficient to show that the problem of equivalence of regular expressions over a partially commutative alphabet is

solvable. This is proved in [11]. For the maturity of consideration, the main idea of the proof along with necessary definitions is adduced below.

Let  $r$  be a positive integer,  $N = \{0, 1, \dots\}$ . The set  $N^r$  is called an  $r$ -dimensional tape. Any element of  $N^r - (a_1, \dots, a_r)$  is called a cell of the tape and the numbers  $a_1, \dots, a_r$  are called the coordinates of the corresponding cell. The cell  $(0, \dots, 0)$  is the initial cell. Let  $X$  be a finite alphabet. Any mapping  $N^r \rightarrow X$  is called a fill of the tape with the symbols of  $X$ .

Let  $A = \langle Y, S, \delta, F, s_0 \rangle$  be a deterministic automaton, that recognizes exactly the regular expression  $R$  in the input alphabet  $Y$ , with the set of states  $S$ , the transition function  $\delta$ , the set of final states  $F$  and the initial state  $s_0$ . Let  $Y = \bigcup_{i=1}^n Y_i$ , where  $|Y_1| \geq 2$ ,  $|Y_i| = 1$ ,  $i = 2, \dots, n$ .  $|Y_1|$  is denoted by  $q$ . Consider  $(n + q - 1)$ -dimensional tape  $N^{n+q-1}$ .  $q$  dimensions of the tape are used for expressing the movement on symbols from  $Y_1$ , and the rest  $n - 1$  dimensions are used for expressing the movement on symbols from  $Y_i$ ,  $i = 2, \dots, n$ .

Binary representation of cell coordinates, adduced in [7] is used. The binary representation of the initial cell is  $(0, \dots, 0)$ . The binary representation of any other cell is built basing on the binary representation of the predecessor of the given cell as each cell has only one predecessor. The length of the code of a coordinate of a cell is either equal or greater by one than the length of code of the corresponding coordinate of the predecessor.

The cell  $a_1 = (\alpha_{11}, \dots, \alpha_{1n+q-1})$  is called the predecessor of the cell  $a_2 = (\alpha_{21}, \dots, \alpha_{2n+q-1})$ , and the corresponding predicate, denoted by  $\pi(a_1, a_2)$ , has the value true, if and only if,  $\exists j \in \{1, \dots, n + q - 1\}$ ,  $k = 1, \dots, j - 1, j + 1, \dots, n + q - 1$ , that

$$1) \alpha_{2k} = \alpha_{1k}.$$

$$2) \alpha_{2j} = \alpha_{1j} + (L + 1), \text{ if } j = k, L = \alpha_{11} + \dots + \alpha_{1n+q-1}.$$

If  $\pi(a_1, a_2)$  is true, and the cells  $a_1$  and  $a_2$  differ by the coordinate  $j$ , then this is represented by the new predicate  $\pi_j$  as  $\pi_j(a_1, a_2)$  is true.

The partially mapping  $\varphi : N^n \rightarrow 2^S$  is called the set of all execution traces of the automaton  $A$ , if and only if:

$$1) \varphi_A(0, \dots, 0) = \{s_0\}, P(0, \dots, 0) = \emptyset$$

$$2) \forall a \in N^n \setminus \{0, \dots, 0\}, P(a) = \{a_{pred}^{(j)} | \pi_j(a_{pred}^{(j)}, a) \text{ is true, } j = n_1, \dots, n_k, k \leq n + q - 1\}, \varphi_A(a) = \Delta(\varphi_A(a_{pred}^{(n_1)}), y_{n_1}) \cup \dots \cup \Delta(\varphi_A(a_{pred}^{(n_k)}), y_{n_k}).$$

The finite subset of execution traces, where the sum of coordinates of each cell is less or equal to,  $k - 1$ , will be called an (execution) trace word of length  $k$ . The set of all trace words is denoted by  $\Omega_A$ . The set of all cells, used in the given trace word  $\omega$  is denoted by  $\mathcal{U}_\omega$ .

The part of a trace word  $\omega$ , where sum of coordinates of each cell is equal to  $k$ , is called the  $k^{\text{th}}$  diagonal of the trace word  $\omega$  and denoted by  $d_k(\omega)$ . The length

of  $d_k(\omega)$  is equal to  $k + 1$ . The length  $l(\omega)$  of a trace word  $\omega$  is equal to the number of the diagonals it contains.

For a given trace word  $\omega$  a path  $p = a_{p_1} \dots a_{p_m}$ ,  $m \geq 1$ ,  $a_{p_j} \in U_\omega$ ,  $j \in \{1, \dots, m\}$  is defined as sequence of cells where  $\pi(a_{p_v}, a_{p_{v+1}})$ ,  $v = 1, \dots, m - 1$ .

For a given path  $p = a_{p_1} \dots a_{p_m}$  the word  $\chi_p = y_{p_1} \dots y_{p_{m-1}}$  in the alphabet  $Y$  is called the characteristics of the path  $p$  if and only if,  $\forall j \in \{1, \dots, m\}$ ,  $i \in \{1, \dots, n + q - 1\}$ :

$$1) y_{p_j} \in Y_i, i \neq 1 \Rightarrow \alpha_{p_{j+1}}[i] = \alpha_{p_j}[i] + 1,$$

$$2) y_{p_j} \in Y_1 \Rightarrow \alpha_{p_{j+1}}[i] = \alpha_{p_j}[i] + (L + 1),$$

$$L = \alpha_{p_j}[1] + \dots + \alpha_{p_j}[n + q - 1].$$

The path  $p = a_{p_1} \dots a_{p_m}$  is called complete, if  $a_{p_1} = (0, \dots, 0)$ . A complete path  $p = a_{p_1} \dots a_{p_m}$  is called accepted by the automaton  $A$ , if  $\varphi_A(a_{p_m})$  contains final state of automaton  $A$ . The coordinates of cell  $a_{p_m}$  are called canonical form of the complete path  $p = a_{p_1} \dots a_{p_m}$ .

For each automaton  $A$ , the set of all accepted paths in a trace word  $\omega$  is denoted by  $AP_A(\omega)$ , and the set of their canonical forms -  $CF_{AP_A(\omega)}$ .

Suppose that automata  $A_1$  and  $A_2$  recognize exactly regular expressions  $R_1$  and  $R_2$ , correspondingly, and  $S_1, S_2$  - are their sets of states. Also suppose that  $k = 2^S - 1$ , where  $S = |S_1| + |S_2|$ ,  $\omega_1$  and  $\omega_2$  are trace words of automata  $A_1$  and  $A_2$  of length  $k$ .

**Lemma 6.**  $CF_{AP_{A_1}(\omega_1)} = CF_{AP_{A_2}(\omega_2)} \Leftrightarrow R_1 \sim R_2(\rho)$ .

Assume  $R_1$  is not  $\rho$ -equivalent to  $R_2$ , and there are no canonical forms of paths of the length less or equal to  $k$  in trace words  $\omega_1$  and  $\omega_2$  that are recognized by the automaton  $A_1$ , but are not recognized by the automaton  $A_2$ , or, vice versa, are recognized by the automaton  $A_2$ , but are not recognized by the automaton  $A_1$ .

Due to assumption there is a canonical form of corresponding complete paths  $p^{(j)} = a_{p_1} \dots a_{p_m}$  with a length greater than  $k$ ,  $m > k$ , which is recognized by one of the automata, say  $A_1$ , but is not recognized by the automaton  $A_2$ . This means that  $\varphi_{A_1}(a_{p_m})$  contains final state of automaton  $A_1$ , whereas  $\varphi_{A_2}(a_{p_m})$  does not contain a final state of the automaton  $A_2$ . As  $m > k$ , there exist two cells  $a^{(j)}$  and  $a^{(j')}$  in the path  $p$ , such that the sum of coordinates of the cell  $a^{(j')}$  is greater than the sum of coordinates of the cell  $a^{(j)}$ ,  $\varphi_{A_1}(a^{(j)}) = \varphi_{A_1}(a^{(j')})$ ,  $j = 1, 2$ , and  $p^{(j)} = a_{p_1} \dots a^{(j)} \dots a^{(j')} \dots a_{p_m}$ .

Let  $\chi_p^{(j')}$  be the characteristics of the sub-path  $p^{(j')} = a^{(j')} \dots a_{p_m}$  of the path  $p$ , and  $p^{(j'')} = a^{(j)} \dots a''$  is a path starting from the cell  $a^{(j)}$ , to some cell  $a''$ , which has the same characteristics  $\chi_p^{(j')}$ . It is evident that such a path exists. The sub-path of the path  $p$ , which starts from  $a_{p_1}$  and ends with the predecessor of the cell  $a^{(j)}$  is denoted by  $p^{(j''')}$ . The concatenation of two paths  $p^{(j''')}$  и  $p^{(j'')}$  is denoted by  $p_{new}^{(j)} = p^{(j''')}p^{(j'')}$ . It's length is less than the length of the initial path  $p^{(j)}$ . Evidently,

$\varphi_{A_1}(a'') = \varphi_{A_1}(a_{p_m})$  contains the final state of the automaton  $A_1$ , and  $\varphi_{A_2}(a'') = \varphi_{A_2}(a_{p_m})$  does not contain the final state of the automaton  $A_2$ . If the length of the path  $p_{new}$  is still greater than  $k$ , similar considerations shall be performed until the obtained path has a length not exceeding  $k$ . But this contradicts to the initial suggestion that if a path is accepted in trace words  $\omega_j$  by the automaton  $A_j$ , Then there exists another path with the same canonical form which is accepted by the automaton  $A_{j'}$ ,  $j, j' \in \{1, 2\}$ ,  $j \neq j'$ .

As the assumption  $R_1 \sim R_2(\rho) \Rightarrow CF_{AP_{A_1}(\omega_1)} = CF_{AP_{A_2}(\omega_2)}$  is obviously true, lemma is proved.

Yerevan State University

Institute for Informatics and Automation Problems NAS RA

H. A. Grigoryan, A. S. Shoukourian

### Equivalence of Processes in Object-Oriented Environments with Commutative and Non-Commutative Objects

The equivalence of processes is an important constituent of process optimization. Functional equivalence problem for processes in object-oriented environments is considered. Two cases are investigated: when the turn of executing operations for objects is essential and when for some objects it is not essential. In the latter case the objects are named commutative. It is shown that the equivalence problem for environments that contain two or more commutative objects with more than one operation is insolvable. It is also shown that if there is only one object with two or more operations among commutative objects then the equivalence problem is solvable.

Ն. Ա. Գրիգորյան, Ա. Ս. Շուքուրյան

#### Պրոցեսների համարժեքությունը կոմուտատիվ եւ ոչ կոմուտատիվ օբյեկտներով օբյեկտակողմնորոշված միջավայրերում

Պրոցեսների համարժեքությունը դրանց օպերիմիզացիայի կարեւոր բաղկացուցիչ է: Այս հոդվածում դիտարկված է պրոցեսների ֆունկցիոնալ համարժեքության խնդիրը օբյեկտակողմնորոշված միջավայրերում: Ուսումնասիրված են երկու դեպք՝ երբ օբյեկտների համար գործողությունների կատարման հաջորդականությունը կարեւոր է, եւ երբ, ինչ-որ օբյեկտների համար, այն կարեւոր չէ: Վերջին դեպքում օբյեկտները կոչվում են կոմուտատիվ: Տույց է փրված, որ պրոցեսների համարժեքության խնդիրը լուծելի չէ այն դեպքում, երբ միջավայրում գոյություն ունեն երկու կամ ավելի կոմուտատիվ օբյեկտներ, որոնք ունեն մեկից ավելի գործողություն: Տույց է փրված նաեւ, որ եթե կոմուտատիվ օբյեկտների մեջ գոյություն ունի

միայն մեկ օբյեկտ էրկու կամ ավել գործողություններով, ապա համարժեքության խնդիրը լուծելի է:

Г. А. Григорян, А. С. Шукурян

**Эквивалентность процессов в объектно-ориентированных средах с коммутативными и некоммутативными объектами**

Распознавание эквивалентности процессов является важной составляющей их оптимизации. В статье рассмотрена проблема функциональной эквивалентности процессов в объектно-ориентированной среде. Исследованы два следующих случая: когда очередность выполнения операций для объектов важна, и когда для некоторых объектов она не имеет значения. В последнем случае объекты называются коммутативными. Показано, что проблема эквивалентности в средах, содержащих два или более коммутативных объекта с более чем одной операцией, неразрешима. Также показано, что если среди коммутативных объектов существует лишь один объект с двумя или более операциями, то проблема эквивалентности разрешима.

**References**

1. *Bergstra J.A.* In: A. Ponse and S. Smolka (eds.). Handbook of Process Algebra. Elsevier Science. 2001.
2. *Baeten J.C.M.* - Theoretical Computer Science. 2005. V. 335. Issue 2-3. P. 131-146.
3. *Raulefs P.* - IFIP World Computer Congress '94. 1994. V. 2. P. 18-30.
4. *Bard Bloom* - Formal Asp. Comput. 1994. V. 6(3). P. 317-338.
5. *Magnani L., Nersessian N.J., Thagard P.* Model-Based Reasoning in Scientific Discovery. Springer. 1999.
6. *Vargas-Villamil F. D., Rivera D.E., Kempf K.G.* - IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2003. V. 11. N 4. P. 578-87.
7. *Годлевский А. Б., Летичевский А. А., Шукурян С. К.* - Кибернетика. 1980. N 6. С. 1-7. (*A. B. Godlevskii, A. A. Letichevskii, S. K. Shukuryan* Cybernetics and Systems Analysis. 1980. N. 6. P. 1-7.)
8. *Grigorian H., Shoukourian S.* - Journal of Computer and System Sciences. 2008. V. 74. Issue 7. P. 1131-1138.
9. *Grigoryan H. A.* - Reports of the National Academy of Sciences of Armenia. 2008. V. 108. N 1. P. 50-59.
10. *Тузов В. А.* - Кибернетика. 1971. N5. С. 28-32. (*V.A.Tuzov* - Cybernetics and Systems Analysis. 1971. V. 7. N. 5. P. 778-789.)
11. *Шукурян А. С.* - Кибернетика и системный анализ. 2009. N3. С. 3-11. (*A.S. Shoukourian* - Cybernetics and Systems Analysis. 2009. V. 45. N. 3. P. 387-396.)

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

В. М. Белубекян<sup>1</sup>, М. В. Белубекян<sup>2</sup>

Локализованные сдвиговые электроупругие волны при движении  
слоя вдоль полупространства

(Представлено чл.-кор. НАН РА А.С. Аветисяном 25/V 2009)

**Ключевые слова:** *поверхностные волны, сдвиг, пьезоэлектрик, упругий слой, полупространство*

Рассматривается влияние движения слоя относительно полупространства на характер распространения поверхностной сдвиговой волны типа Гуляева – Блюстейна. Материалы слоя и полупространства – пьезоэлектрики класса бтт. Установлено, что существует определенная скорость равномерного движения слоя, превышение которой приводит к невозможности поверхностной волны. При малых скоростях возможны как одна, так и две различные скорости поверхностной волны.

1. В прямоугольной декартовой системе координат  $(x, y, z)$  полупространство занимает область  $-\infty < x < \infty$ ,  $0 \leq y < \infty$ ,  $-\infty < z < \infty$ , и слой-область  $-\infty < x < \infty$ ,  $-h \leq y < \delta_1$ ,  $-\infty < z < \infty$  (рисунок).

Предполагается, что материалы слоя и полупространства принадлежат к различным пьезоэлектрикам класса бтт. Слой движется относительно полупространства по направлению оси  $Ox$  с равномерной скоростью  $U$ .

Уравнения чисто сдвиговых волн для системы слой-полупространство, с учетом относительного движения слоя, имеют вид [1,2]

$$a_1^2 \Delta w_1 = \frac{\partial w_1}{\partial t^2}, \quad \Delta \psi_1 = 0 \text{ при } y > 0, \quad (1.1)$$

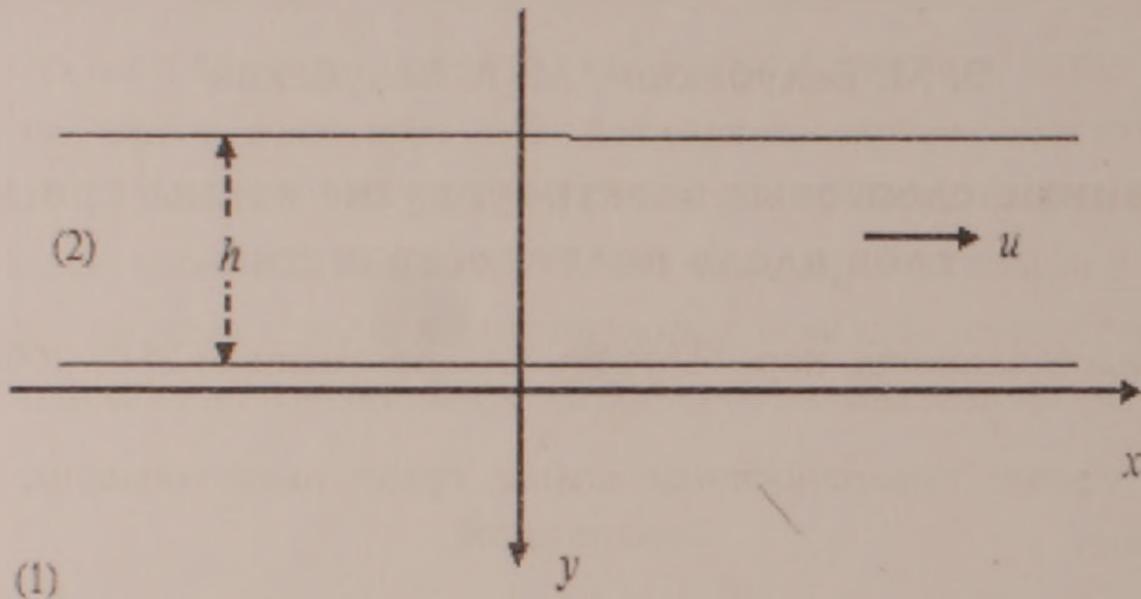
$$a_2^2 \Delta w_2 = \frac{\partial^2 w_2}{\partial t^2} + 2U \frac{\partial^2 w_2}{\partial t \partial x} + U^2 \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2}, \quad \Delta \psi_2 = 0 \text{ при } y < 0, \quad (1.2)$$

где

$$a_i^2 = \frac{C_{44}^{(i)}}{\delta_i} (1 + \chi_j), \quad \chi_j = \frac{[l_{15}^{(i)}]^2}{\varepsilon_i C_{44}^{(i)}}, \quad \psi_j = \varphi_j - \frac{l_{15}^{(i)}}{\varepsilon_i} w_i \quad (i = 1, 2),$$

$$a_i^2 = \frac{C_{44}^{(i)}}{\rho_i} (1 + \chi_j), \quad \chi_j = \frac{[e_{15}^{(i)}]^2}{\varepsilon_i C_{44}^{(i)}}, \quad \psi_j = \varphi_j - \frac{e_{15}^{(i)}}{\varepsilon_i} w_i \quad (i = 1, 2), \quad (1.3)$$

$w_i$  — упругие перемещения,  $\varphi_i$  — электрические потенциалы,  $c_{44}^{(i)}$  — модули сдвига,  $\chi_i$  — коэффициенты электромеханической связи полупространства и слоя соответственно.



Условия контакта между слоем и полупространством задаются в виде

$$\sigma_{23}^{(1)} = \sigma_{23}^{(2)} = 0, \quad \varphi_1 = \varphi_2, \quad D_2^{(1)} = D_2^{(2)} \quad \text{при } y = 0, \quad (1.4)$$

где  $\sigma_{23}^{(i)}$  — касательные напряжения,  $D_2^{(i)}$  — нормальные компоненты индукции электрического поля.

В общем случае на свободной поверхности слоя  $y = -h$  должны быть заданы условия равенства нулю касательного напряжения, условия непрерывности потенциалов и нормальных компонентов индукции электрического поля слоя и внешней среды  $y < -h$ . Однако здесь будут рассматриваться два предельных варианта граничных условий, для которых не требуется решать уравнения электродинамики для среды  $y < -h$  [1]. Первое условие применяется как приближение, когда коэффициент диэлектрической проницаемости среды  $y < -h$  [1] значительно меньше проницаемости материала слоя:

$$\sigma_{23}^{(2)} = 0, \quad D_2^{(2)} = 0 \quad \text{при } y = -h. \quad (1.5)$$

Второе условие соответствует случаю, когда свободная граница слоя металлизирована и заземлена:

$$\sigma_{23}^{(2)} = 0, \quad \varphi_2 = 0 \quad \text{при } y = -h. \quad (1.6)$$

Требуется найти решение уравнений (1.1), (1.2), удовлетворяющее граничным условиям (1.4), (1.5) или (1.6) и следующим условиям затухания:

$$\lim_{y \rightarrow \infty} w_1 = 0, \quad \lim_{y \rightarrow \infty} \psi_1 = 0. \quad (1.7)$$

Общее решение уравнений (1.1) в виде гармонических волн, удовлетворяющее условиям затухания (1.7), получается в виде

$$w_1 = A_1 e^{-k\gamma_1 y} \exp i(\omega t - kx), \quad (1.8)$$

$$\psi_1 = B_1 e^{-ky} \exp i(\omega t - kx),$$

$$\varphi_1 = [B_1 e^{-ky} + \frac{e_{15}^{(1)}}{\epsilon_1} A_1 e^{-k\gamma_1 y}] \exp i(\omega t - kx)$$

при условии

$$-1 < \eta < 1. \quad (1.9)$$

Общее же решение условий уравнений (1.2) следующее:

$$w_2 = (A_2 e^{\gamma_2 ky} + C_2 e^{-\gamma_2 ky}) \exp i(\omega t - kx), \quad (1.10)$$

$$\psi_2 = (B_2 e^{ky} + F e^{-ky}) \exp i(\omega t - kx),$$

$$\varphi_2 = [B_2 e^{ky} + F e^{-ky} + \frac{e_{15}^{(2)}}{\epsilon_2} (A_2 e^{\gamma_2 ky} + C_2 e^{-\gamma_2 ky})] \exp i(\omega t - kx).$$

В (1.8) - (1.10)  $A_i, B_i, C_2, F$  - произвольные постоянные.

$$\gamma_1 = \sqrt{1 - \eta^2}, \quad \gamma_2 = \sqrt{1 - \theta^2(\eta - p)}, \quad (1.11)$$

$$\eta^2 = \frac{\omega^2}{k^2 a_1^2}, \quad \theta^2 = \frac{a_2^2}{a_1^2}, \quad p = \frac{U}{a_2}.$$

2. Используя функциональные связи [1]

$$\sigma_{23}^{(i)} = C_{44}^{(i)} \frac{\partial w_i}{\partial y} + e_{15}^{(i)} \frac{\partial \varphi_i}{\partial y},$$

$$D_2^{(i)} = \epsilon \frac{\partial w_i}{\partial y} + e_{15}^{(i)} \frac{\partial w_i}{\partial y}, \quad (2.1)$$

граничные условия (1.4) - (1.6) приведем к виду

$$\bar{C}_{44}^{(i)} \frac{\partial w_i}{\partial y} + e_{15}^{(i)} \frac{\partial \psi_i}{\partial y} = 0, \quad \varphi_1 = \varphi_2, \quad \epsilon_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} = \epsilon_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial y} \quad \text{при } y = -h, \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \psi_2}{\partial y} = 0 \quad \text{при } y = -h \quad (2.3)$$

или

$$\bar{C}_{44}^{(2)} \frac{\partial w_2}{\partial y} + e_{15}^{(i)} \frac{\partial \psi_2}{\partial y} = 0, \quad \varphi_2 = 0 \quad \text{при } y = -h. \quad (2.4)$$

Подстановка (1.8) и (1.10) в граничные условия (2.2) приводит к следующей системе уравнений:

$$\begin{aligned} \gamma_1 A_1 + \frac{e_{15}^{(1)}}{\bar{C}_{44}^{(1)}} B_1 &= 0, \quad -\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} B_2 = B_2 - F, \\ \gamma_2 (A_2 - C_2) + \frac{e_{15}^{(2)}}{\bar{C}_{44}^{(2)}} (B_2 - F) &= 0, \\ B_1 + \frac{e_{15}^{(1)}}{\varepsilon_1} A_1 &= B_2 + F + \frac{e_{15}^{(2)}}{\varepsilon_2} (A_2 + C_2). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Удовлетворение граничным условиям (2.3) дает дополнительные уравнения

$$\begin{aligned} A_2 e^{\gamma_2 \zeta} - C_2 e^{-\gamma_2 \zeta} &= 0, \quad \zeta = kh, \\ B_2 e^\zeta - F e^{-\zeta} &= 0. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Система шести уравнений (2.5), (2.6) относительно произвольных  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_2$ ,  $F$  является однородной алгебраической системой.

Для варианта граничных условий (2.4) уравнения (2.6) заменяются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \gamma_2 (A_2 e^{-\gamma_2 \zeta} - C_2 e^{\gamma_2 \zeta}) + \frac{e_{15}^{(2)}}{\bar{C}_{44}^{(2)}} (B_2 e^{-\zeta} - F e^\zeta) &= 0, \\ B_2 e^{-\zeta} + F e^\zeta + \frac{e_{15}^{(2)}}{\varepsilon_2} (A_2 e^{-\gamma_2 \zeta} + C_2 e^{\gamma_2 \zeta}) &= 0. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Из уравнений (2.5) постоянные  $A_2$  и  $C_2$  определяются посредством  $B_2$  и  $F$  следующим образом:

$$\begin{aligned} A_2 &= -\frac{\varepsilon_2}{2e_{15}^{(2)}} [(1 + R_1 + R_2)B_2 + (1 - R_1 - R_2)F], \\ C_2 &= -\frac{\varepsilon_2}{2e_{15}^{(2)}} [(1 + R_1 - R_2)B_2 + (1 - R_1 + R_2)F], \end{aligned} \quad (2.8)$$

где

$$R_1 = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \left( 1 - \frac{\chi_1 \gamma_1^{-1}}{1 + \chi_1} \right), \quad R_2 = \frac{\chi_2 \gamma_2^{-1}}{1 + \chi_2}. \quad (2.9)$$

Подстановка (2.8) в систему (2.6) приводит к системе однородных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных  $B_2$  и  $F_2$

$$\begin{aligned} [(1 + R_1)sh\gamma_2 \zeta + R_2 ch\gamma_2 \zeta] B_2 + [(1 - R_1)sh\gamma_2 \zeta - R_2 ch\gamma_2 \zeta] F &= 0, \\ B_2 e^\zeta - F e^{-\zeta} &= 0. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Условия равенства нулю детерминанта системы (2.10) после некоторых преобразований приводят к виду

$$(ch\zeta - R_1 sh\zeta)sh\gamma_2\zeta - R_2 sh\zeta ch\gamma_2\zeta = 0. \quad (2.11)$$

Для варианта граничных условий (2.4) подстановка (2.8) в (2.6) приводит к системе

$$\begin{aligned} & [(1 + R_1)sh\gamma_2\zeta - R_2 ch\gamma_2\zeta + \frac{\chi_2\gamma_2^{-1}}{1 + \chi_2}e^{-\zeta}]B_2 + \\ & + [(1 - R_1)sh\gamma_2\zeta + R_2 ch\gamma_2\zeta - \frac{\chi_2\gamma_2^{-1}}{1 + \chi_2}e^{-\zeta}]F = 0, \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$[(1 + R_1)ch\gamma_2\zeta - R_2 sh\gamma_2\zeta - e^{-\zeta}]B_2 + [(1 - R_1)ch\gamma_2\zeta + R_2 sh\gamma_2\zeta - e^{\zeta}]F = 0.$$

Отсюда соответствующее дисперсионное уравнение получается в виде

$$\begin{aligned} & \chi_2\gamma_2^{-1}(1 + \chi_2)^{-1}[(ch\zeta + R_1 ch\zeta)ch\gamma_2\zeta - R_2 sh\zeta sh\gamma_2\zeta - 1] - \\ & - (sh\zeta + R_1 ch\zeta)sh\gamma_2\zeta + R_2(ch\zeta ch\gamma_2\zeta - 1) = 0. \end{aligned} \quad (2.13)$$

В частном случае  $U = 0$  ( $p = 0$ ) из (2.13) получаются соответствующие дисперсионные уравнения [3].

3. В приближении очень тонкого слоя (длинноволновое приближение)

$$\zeta \ll 1 \quad (3.1)$$

из дисперсионного уравнения (2.1) получается следующее уравнение:

$$\gamma_2 - R = 0. \quad (3.2)$$

С учетом (1.11) и (2.9) уравнение (3.2) имеет решение

$$\eta = p \pm \theta^{-1}(1 + \chi_2)^{-1/2}. \quad (3.3)$$

Решение (3.3) будет удовлетворять условиям затухания (1.9), если имеют место ограничения

$$\theta > (1 + \chi_2)^{-1/2}, \quad p < 1 - \theta^{-1}(1 + \chi_2)^{-1/2}. \quad (3.4)$$

Таким образом, в случае граничных условий (1.5) и в длинноволновом приближении (3.1) поверхностная волна будет существовать, если выполняются условия (3.4).

В приближении (3.1) уравнение (2.13) сводится к виду

$$R_1[\chi_2(1 + \chi_2)^{-1}\gamma_2^{-1} - \gamma_2] = 0. \quad (3.5)$$

В этом случае, т.е. при граничных условиях (1.5), задача имеет два решения

$$R_1 = 0 \Rightarrow \eta = \pm \sqrt{1 + \chi_1^2(1 + \chi_1^{-2})} \quad (3.6)$$

и решение вида (3.3), которое справедливо, если выполняются условия (3.4). Решение (3.6) соответствует скорости распространения волны Гуляева – Блюстейна [1].

<sup>1</sup>Ереванский государственный университет

<sup>2</sup>Институт механики НАН РА

**В. М. Белубекян, М. В. Белубекян**

**Локализованные сдвиговые электроупругие волны при движении слоя вдоль полупространства**

Исследуется влияние движения слоя относительно полупространства на характер распространения поверхностной электроупругой волны типа Гуляева – Блюстейна. Материалы слоя и полупространства – пьезоэлектрики класса 6mm. Установлена возможность существования поверхностных волн с двумя различными скоростями.

**Վ. Մ. Բելուբեկյան, Մ. Վ. Բելուբեկյան**

**Տեղայնացված սահիքի էլեկտրաառձգական ալիքները շերտի կիսափարածության նկատմամբ շարժման ընթացքում**

Հետազոտված է կիսափարածության նկատմամբ շերտի շարժման ազդեցությունը Գուլյաև-Բլյուստեյնի տիպի մակերևութային էլեկտրաառձգական ալիքի փարածման բնույթի վրա: Շերտի եւ կիսափարածության նյութերը պատկանում են 6mm դասի պլեզոէլեկտրիկներին: Հաստատված է երկու փարբեր արագություններով մակերևութային ալիքների գոյության հնարավորությունը:

**V. M. Belubekyan, M. V. Belubekyan**

**Localized Shear Electroelastic Waves in the Case of the Motion of the Layer Along the Semispace**

The influence of the motion of the layer relatively to the semispace on the Guljaev – Bleustein type surface electroelastic wave propagation is investigated. The materials of

the layer and semispace belong to the class 6mm. The existence of the surface waves with two different speeds is shown.

### Литература

1. Балакирев М.К., Гилинский И.А. Волны в пьезокристаллах. Новосибирск, Наука. 1982. 239 с.
2. Белубекян М.В., Белубекян В.М. - Изв. НАН Армении. Механика. 1994. Т. 47. N 3-4. С. 78-82.
3. Белубекян М.В., Белубекян В.М. - Ученые записки ЕГУ, Естест. н. 2006. N 3. С. 25-30.

УДК 539.3

Академик Л. А. Агаловян, Т. В. Закарян

**О решении первой динамической пространственной краевой задачи  
для ортотропной прямоугольной пластинки**

(Представлено 26/VI 2009)

**Ключевые слова:** колебания, упругость, асимптотический метод, резонанс

1. Классические и неклассические статические краевые задачи для тонких тел — балки, пластины, оболочки асимптотическим методом рассмотрены в [1-3]. Метод оказался особенно эффективным для решения динамических краевых задач. Установлена универсальная асимптотика для компонент тензора напряжений и вектора перемещения, позволившая найти решения внутренней задачи и пограничного слоя для широких классов динамических краевых задач теории упругости для тонких тел [4-6]. Обзор исследований по применению асимптотического метода содержится в [7]. В данной работе рассмотрена пространственная задача теории упругости о вынужденных колебаниях ортотропных прямоугольных пластин, когда на лицевых поверхностях пластины заданы значения соответствующих компонент тензора напряжений. Установлена отличная от статической краевой задачи асимптотика. Показано, что решение внутренней задачи полностью определяется после удовлетворения условий на лицевых поверхностях.

Требуется найти решение динамических уравнений теории упругости [8] для ортотропных прямоугольных пластин  $D = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, |z| \leq h, h \ll l, l = \min(a, b)\}$  при граничных условиях на лицевых поверхностях  $z = \pm h$ :

$$\sigma_{\alpha z}(x, y, h, t) = \sigma_{\alpha z}^+(x, y) \exp(i\Omega t), \sigma_{\alpha z}(x, y, -h, t) = -\sigma_{\alpha z}^-(x, y) \exp(i\Omega t), \alpha = x, y, z \quad (1.1)$$

и условиях на боковой поверхности, которые пока не будем конкретизировать. Решение сформулированной задачи будем искать в виде

$$\sigma_{\alpha\beta}(x, y, z, t) = \sigma_{jk}(x, y, z) \exp(i\Omega t), \quad (u(x, y, z, t), v, w) = (u_x(x, y, z), u_y, u_z) \exp(i\Omega t),$$

$$\alpha, \beta = x, y, z, \quad j, k = 1, 2, 3. \quad (1.2)$$

В динамических уравнениях теории упругости, перейдя к безразмерным координатам  $\xi = x/l$ ,  $\eta = y/l$ ,  $\zeta = z/h$  и перемещениям  $U = u_x/l$ ,  $V = u_y/l$ ,  $W = u_z/l$  и подставив (1.2) в эти уравнения, получим сингулярно возмущенную малым параметром  $\varepsilon = h/l$  систему

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \Omega_*^2 U = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \Omega_*^2 V = 0,$$

$$\frac{\partial \sigma_{13}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \Omega_*^2 W = 0, \quad \frac{\partial U}{\partial \xi} = a_{11} \sigma_{11} + a_{12} \sigma_{22} + a_{13} \sigma_{33},$$

$$\frac{\partial V}{\partial \eta} = a_{12} \sigma_{11} + a_{22} \sigma_{22} + a_{23} \sigma_{33}, \quad \varepsilon^{-1} \frac{\partial W}{\partial \zeta} = a_{13} \sigma_{11} + a_{23} \sigma_{22} + a_{33} \sigma_{33},$$

$$\frac{\partial V}{\partial \xi} + \frac{\partial U}{\partial \eta} = a_{66} \sigma_{12}, \quad \frac{\partial W}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial U}{\partial \zeta} = a_{55} \sigma_{13}, \quad \frac{\partial W}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial V}{\partial \zeta} = a_{44} \sigma_{23}. \quad \Omega_*^2 = \rho h^2 \Omega^2. \quad (1.3)$$

Решение системы (1.3) складывается из решений внутренней задачи ( $I^{int}$ ) и пограничного слоя ( $I_b$ ). Решение внутренней задачи будем искать в виде

$$\sigma_{jk}^{int} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_{jk}^{(s)}(\xi, \eta, \zeta),$$

$$(U^{int}, V^{int}, W^{int}) = \varepsilon^s (U^{(s)}, V^{(s)}, W^{(s)}), \quad j, k = 1, 2, 3, \quad s = \overline{0, N}. \quad (1.4)$$

Подставив (1.4) в (1.3) и приравняв в каждом уравнении коэффициенты при одинаковых степенях  $\varepsilon$ , получим непротиворечивую систему для определения коэффициентов  $Q_{jk}^{(s)}$ . Из этой системы напряжения  $\sigma_{jk}^{(s)}$  можно выразить через перемещения по формулам

$$\sigma_{13}^{(s)} = \frac{1}{a_{55}} \left( \frac{\partial U^{(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \xi} \right), \quad \sigma_{23}^{(s)} = \frac{1}{a_{44}} \left( \frac{\partial V^{(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \eta} \right),$$

$$\sigma_{12}^{(s)} = \frac{1}{a_{66}} \left( \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \xi} \right),$$

$$\sigma_{11}^{(s)} = \frac{1}{\Delta} \left( -A_{23} \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} + A_{22} \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} - A_{12} \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right),$$

$$\sigma_{22}^{(s)} = \frac{1}{\Delta} \left( -A_{13} \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} - A_{12} \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + A_{33} \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right),$$

$$\sigma_{33}^{(s)} = \frac{1}{\Delta} \left( A_{11} \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} - A_{23} \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} - A_{13} \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right), \quad (1.5)$$

$$A_{11} = a_{11} a_{22} - a_{12}^2, \quad A_{12} = a_{12} a_{33} - a_{23} a_{13}, \quad A_{13} = a_{11} a_{23} - a_{13} a_{12},$$

$$A_{22} = a_{22} a_{33} - a_{23}^2, \quad A_{23} = a_{13} a_{22} - a_{12} a_{23}, \quad A_{33} = a_{11} a_{33} - a_{13}^2,$$

$$\Delta = a_{11} A_{22} - a_{12} A_{12} - a_{13} A_{23},$$

$$Q^{(m)} \equiv 0 \text{ при } m < 0.$$

Для определения  $U^{(s)}$ ,  $V^{(s)}$ ,  $W^{(s)}$  получаются уравнения

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U^{(s)}}{\partial \zeta^2} + a_{55} \Omega_*^2 U^{(s)} &= R_U^{(s)}, \quad \frac{\partial^2 V^{(s)}}{\partial \zeta^2} + a_{44} \Omega_*^2 V^{(s)} = R_V^{(s)}, \\ A_{11} \frac{\partial^2 W^{(s)}}{\partial \zeta^2} + \Delta \Omega_*^2 W^{(s)} &= R_W^{(s)}, \\ R_U^{(s)} &= -a_{55} \left( \frac{\partial \sigma_{11}^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12}^{(s-1)}}{\partial \eta} \right) - \frac{\partial^2 W^{(s-1)}}{\partial \xi \partial \eta}, \\ R_V^{(s)} &= -a_{44} \left( \frac{\partial \sigma_{12}^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22}^{(s-1)}}{\partial \eta} \right) - \frac{\partial^2 W^{(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta}, \\ R_W^{(s)} &= -\Delta \left( \frac{\partial \sigma_{13}^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{23}^{(s-1)}}{\partial \eta} \right) + A_{23} \frac{\partial^2 U^{(s-1)}}{\partial \xi \partial \eta} + A_{13} \frac{\partial^2 V^{(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Решениями уравнений (1.6) являются

$$\begin{aligned} U^{(s)} &= U_0^{(s)} + U_\tau^{(s)}, \quad U_0^{(s)} = C_1^{(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1 \zeta + C_2^{(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1 \zeta, \\ (U, V, W; C_1^{(s)}, C_2^{(s)}; C_3^{(s)}, C_4^{(s)}; C_5^{(s)} C_6^{(s)}; \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3), \\ \gamma_1 &= \Omega_* \sqrt{a_{55}}, \quad \gamma_2 = \Omega_* \sqrt{a_{44}}, \quad \gamma_3 = \Omega_* \sqrt{\Delta/A_{11}}, \end{aligned} \quad (1.7)$$

где  $U_\tau^{(s)}$ ,  $V_\tau^{(s)}$ ,  $W_\tau^{(s)}$  – частные решения уравнений (1.6). По формулам (1.5) определив напряжения  $\sigma_{13}^{(s)}$ ,  $\sigma_{23}^{(s)}$ ,  $\sigma_{33}^{(s)}$  и удовлетворив условиям (1.1), определим функции  $C_j^{(s)}(\xi, \eta)$  и следовательно решение внутренней задачи. Имеем

$$\begin{aligned} U_0^{(s)} &= \frac{\sqrt{a_{55}}}{\Omega_* \sin 2\gamma_1} [-(\sigma_{xz}^{+(s)} - f_{13}^{(s)}(\xi, \eta, 1)) \cos \gamma_1 (1 + \zeta) - \\ &\quad - (\sigma_{xz}^{-(s)} + f_{13}^{(s)}(\xi, \eta, -1)) \cos \gamma_1 (1 - \zeta)], \\ V_0^{(s)} &= \frac{\sqrt{a_{44}}}{\Omega_* \sin 2\gamma_2} [-(\sigma_{yz}^{+(s)} - f_{23}^{(s)}(\xi, \eta, 1)) \cos \gamma_2 (1 + \zeta) - \\ &\quad - (\sigma_{yz}^{-(s)} + f_{23}^{(s)}(\xi, \eta, -1)) \cos \gamma_2 (1 - \zeta)], \\ W_0^{(s)} &= \sqrt{\frac{\Delta}{A_{11}}} \frac{1}{\Omega_* \sin 2\gamma_3} [-(\sigma_{zz}^{+(s)} - f_{33}^{(s)}(\xi, \eta, 1)) \cos \gamma_3 (1 + \zeta) - \\ &\quad - (\sigma_{zz}^{-(s)} + f_{33}^{(s)}(\xi, \eta, -1)) \cos \gamma_3 (1 - \zeta)], \\ f_{13}^{(s)} &= \frac{1}{a_{55}} \left( \frac{\partial U_\tau^{(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \xi} \right), \quad f_{23}^{(s)} = \frac{1}{a_{44}} \frac{\partial V_\tau^{(s)}}{\partial \zeta} + \frac{1}{a_{55}} \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \eta}, \\ f_{33}^{(s)} &= \frac{A_{11}}{\Delta} \frac{\partial W_\tau^{(s)}}{\partial \zeta} - \frac{1}{\Delta} \left( A_{23} \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + A_{13} \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right). \end{aligned} \quad (1.8)$$

Напряжения будут вычислены по формулам (1.5). Полученное решение будет конечным, если

$$\sin 2\gamma_1 \neq 0, \sin 2\gamma_2 \neq 0, \sin 2\gamma_3 \neq 0. \quad (1.9)$$

Эти условия будут нарушены при следующих значениях  $\Omega$ :

$$\Omega = \frac{\pi n}{2h\sqrt{\rho a_{55}}} = \frac{\pi n}{2h} \sqrt{\frac{G_{13}}{\rho}}, \quad \Omega = \frac{\pi n}{2h} \sqrt{\frac{G_{23}}{\rho}}, \quad \Omega = \frac{\pi n}{2h} \sqrt{\frac{A_{11}}{\Delta\rho}}. \quad (1.10)$$

Эти значения  $\Omega$  совпадают со значениями главных значений частот собственных колебаний ортотропных прямоугольных пластин со свободными лицевыми поверхностями ( $\sigma_{13}(\zeta = \pm 1) = \sigma_{23}(\zeta = \pm 1) = \sigma_{33}(\zeta = \pm 1) = 0$ ). При таких значениях  $\Omega$  будет возникать резонанс.

По сравнению со статической первой краевой задачей решение динамической задачи имеет ряд интересных свойств — оно полностью определено после удовлетворения условий при  $\zeta = \pm 1$ . Этого нет в соответствующей статической задаче [1,2]. Асимптотика (1.4) принципиально отличается от асимптотики в статической задаче:

$$Q_{jk}^{int} = \varepsilon^{-qQ+s} Q^{(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad q_{\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}} = -2, \quad (1.11)$$

$$q_{\sigma_{xz}, \sigma_{yz}} = -1, \quad q_{\sigma_{zz}} = 0, \quad q_{u,v} = -2, \quad q_w = -3.$$

Поскольку решение внутренней динамической задачи полностью определено, пограничный слой не будет влиять на решение внутренней задачи и будет устранять неувязку, возникающую на боковой поверхности. Пограничный слой строится указанным в [2,6,7] способом.

Если функции  $\sigma_{jk}^{\pm}$  являются полиномами относительно  $\xi, \eta$ , итерационный процесс обрывается и получается математически точное решение внутренней задачи (слоя). В частности, при  $\sigma_{xz}^+, \sigma_{yz}^+, \sigma_{zz}^+ = \text{const}$ ,  $\sigma_{xz}^-, \sigma_{yz}^-, \sigma_{zz}^- = 0$  итерационный процесс обрывается при  $s = 0$  и получается решение

$$u = -\frac{h\sqrt{a_{55}}}{\Omega_* \sin 2\gamma_1} \sigma_{xz}^+ \cos \gamma_1 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$v = -\frac{h\sqrt{a_{44}}}{\Omega_* \sin 2\gamma_2} \sigma_{yz}^+ \cos \gamma_2 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$w = -\sqrt{\frac{\Delta}{A_{11}}} \frac{h}{\Omega_* \sin 2\gamma_3} \sigma_{zz}^+ \cos \gamma_3 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$\sigma_{xz} = \frac{1}{\sin 2\gamma_1} \sigma_{xz}^+ \sin \gamma_1 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t), \quad (1.12)$$

$$\sigma_{yz} = \frac{1}{\sin 2\gamma_2} \sigma_{yz}^+ \sin \gamma_2 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$\sigma_{zz} = \frac{1}{\sin 2\gamma_3} \sigma_{zz}^+ \sin \gamma_3 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$\sigma_{xx} = -\frac{A_{23}}{A_{11} \sin 2\gamma_3} \sigma_{zz}^+ \sin \gamma_3 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t),$$

$$\sigma_{yy} = -\frac{A_{13}}{A_{11} \sin 2\gamma_3} \sigma_{zz}^+ \sin \gamma_3 (1 + \zeta) \exp(i\Omega t), \quad \sigma_{xy} = 0.$$

Несложно выписать решения, соответствующие полиномам высоких степеней.

Институт механики НАН РА

Академик Л. А. Агаловян, Т. В. Закарян

**О решении первой динамической пространственной краевой задачи для ортотропной прямоугольной пластинки**

Асимптотическим методом определено решение первой динамической трехмерной краевой задачи для ортотропных пластин. Установлена асимптотика напряжений и перемещений, позволившая определить общее решение внутренней задачи. Выведены условия возникновения резонанса. Получены точные решения частных задач.

Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Տ. Վ. Չաքարյան

**Օրթոտրոպ ուղղանկյուն սալի փարածական առաջին դինամիկական եզրային խնդրի լուծման մասին**

Ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է առաձգականության փեսության փարածական դինամիկական առաջին եզրային խնդիրը օրթոտրոպ սալի համար: Գտնված է ասիմպտոտիկա լարումների թենզորի եւ փեղափոխման վեկտորի բաղադրիչների համար, որը սկզբունքորեն փարբերվում է համապատասխան սփարիկական խնդրի ասիմպտոտիկայից: Ցույց է տրված, որ ներքին խնդրի լուծումը լիովին որոշվում է, երբ բավարարվում են սալի դիմային մակերեսային վրա տրվող պայմանները: Արտադրված են ռեզոնանսի առաջացման պայմանները: Ներքին խնդրի համար ստացված են ճշգրիտ լուծումներ այն դեպքերում, երբ սալի դիմային մակերեսային վրա տրվող ֆունկցիաները հանդիսանում են բազմանդամներ:

Academician L. A. Aghalovyan, T. V. Zakaryan

**On Solution of the First Dynamic 3D Boundary Problem for Orthotropic Rectangular Plate**

The solution of the first dynamic 3D boundary problem for orthotropic plates is obtained by the asymptotic method. The asymptotics of stresses and displacements, determining the general solution of inner problem, is established. The conditions of resonance initiation are reduced. The exact solutions of particular problems are obtained.

## Литература

1. Гольденвейзер А.Л. - Теория упругих тонких оболочек. М. Наука. 1976. 510 с.
2. Агаловян Л.А. - Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. 1997. 414 с.
3. Агаловян Л.А., Геворкян Р.С. - Неклассические краевые задачи анизотропных слоистых балок, пластин и оболочек. Ереван. Изд.-во. "Гитутюн". НАН РА. 2005. 468 с.
4. Агаловян Л.А. - Изв. вузов РФ, Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2000. N3 С. 8-11.
5. Агаловян Л.А. - Проблемы механики тонких деформируемых тел. Ереван. Изд.-во. "Гитутюн". НАН РА. 2002. С. 9-19.
6. Агаловян Л.А. Закарян Т.В. - В сб.: Актуальные проблемы механики сплошной среды. Ереван: 2007. С. 21-27.
7. Агаловян Л.А. - Успехи механики. Т. 3. Киев. А. С. К. 2007. С. 373-393.
8. Лехницкий С. Г. - Теория упругости анизотропного тела. М. Наука. 1977. 416 с.

ФИЗИКА

УДК 539.12

Р. А. Аланакян

**Рождение скалярных лептонов и суперсимметричных хиггсовских бозонов в лептон-антилептонных столкновениях**

(Представлено академиком Э. В. Чубаряном 26/VI 2009)

**Ключевые слова:** хиггсовский бозон,  $R$ -четность, sneйтрино, слептон,  $MSSM$

**1. Введение.** Как известно, в суперсимметричных теориях с нарушением  $R$ -четности возможно рождение одиночных суперсимметричных частиц в результате столкновения обычных частиц (о суперсимметричных теориях с сохранением и нарушением  $R$ -четности, а также минимальной суперсимметричной стандартной модели см. работы [1,2] и библиографию в них).

Так, в [3] было рассмотрено резонансное рождение скалярного нейтрино в  $e^+e^-$ -столкновениях

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}. \quad (1)$$

Масса sneйтрино, однако, является свободным параметром теории. Неясно, какие энергии необходимы для рождения sneйтрино в резонансе. Поэтому представляет интерес рождение скалярных нейтрино с калибровочными бозонами.

В [4] рассматривалось рождение скалярных нейтрино в ассоциации с фотоном в лептон-антилептонных столкновениях:

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}\gamma. \quad (2)$$

В данной статье рассматриваются процессы рождения скалярных нейтрино и скалярных лептонов в ассоциации с  $W^\pm$ -  $Z^0$ -бозонами<sup>1</sup>:

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0, \quad (3)$$

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\ell}_{kL}^\mp W^\pm. \quad (4)$$

Эти процессы описываются диаграммами на рис. 1.

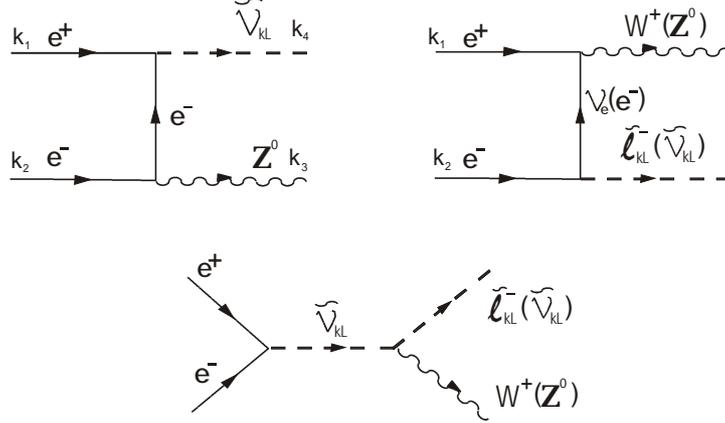


Рис. 1. Диаграммы, соответствующие процессам (3), (4).

Мы также рассматриваем в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели (МССМ) рождение заряженных  $H^\pm$  и нейтральных хиггсовских бозонов  $H_1^0, H_2^0, H_3^0$  в ассоциации с  $W^\pm, Z^0$ -бозонами:

$$\mu^+\mu^- \rightarrow H_i^0Z^0, \quad (5)$$

$$\mu^+\mu^- \rightarrow H^\pm W^\mp. \quad (6)$$

Следует отметить, что результаты, полученные ниже для процессов (3),(4), могут быть также использованы для древесных процессов (5),(6) рождения псевдоскалярных и заряженных хиггсовских бозонов (рис.2) в МССМ в пределе больших  $\tan\beta$ .

В процессы  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_1^0Z^0, \mu^+\mu^- \rightarrow H_2^0Z^0$  дает вклад также  $s$ -канальная диаграмма с обменом  $Z$ -бозоном. Этот вклад ничем не отличается от процесса  $e^+e^- \rightarrow H_{1,2}^0Z^0$  (см., например, литературу в [1]). Ниже будет показано, что при достаточно больших  $\tan\beta$  в определенной области масс псевдоскалярного бозона вклад  $t, u$ -канальных диаграмм и диаграммы с виртуальным  $H_3^0$ -бозоном

<sup>1</sup>Процессы (3), (4) рассмотрены в [5]. Однако наши результаты существенно отличаются от результатов этой статьи. Например, формулы для поперечного сечения процесса (3) в [5] не содержат  $a_L = -\frac{1}{2} + \sin^2\theta_W, a_R = \sin^2\theta_W$  несмотря на наличие взаимодействия  $Z^0$ -бозона с лептонами. В [5] обсуждался также процесс (2), однако поперечное сечение этого процесса не было вычислено.

в процессы  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_1^0 Z^0$ ,  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_2^0 Z^0$  превосходят вклад с виртуальным  $Z^0$ -бозоном. При достаточно больших  $\tan\beta$  древесный вклад превосходит петлевой вклад, описываемый диаграммами рис. 3.

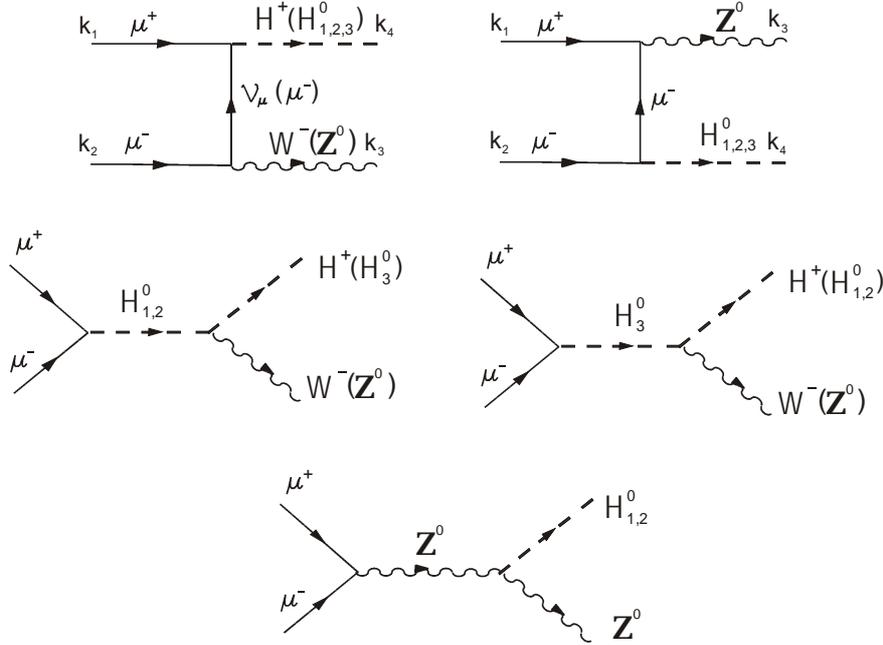


Рис. 2. Древесные диаграммы, соответствующие процессам (5), (6).

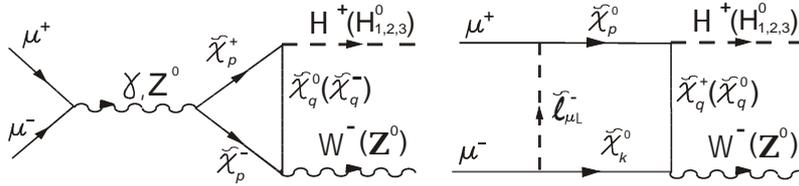


Рис. 3. Некоторые из петлевых диаграмм, соответствующих процессам (5), (6). Есть также петлевые диаграммы и с другими частицами, например, в треугольную диаграмму, кроме  $\tilde{\chi}_k^0$ -нейтралино,  $\tilde{\chi}_k^\pm$ -чарджино, дают вклад виртуальные кварки, лептоны, скварки, слептоны, калибровочные и хиггсовские бозоны.

**2. Сечения и амплитуды процессов (3) и (4).** Нарушающее  $R$ -четность взаимодействие скалярных лептонов с заряженными лептонами и нейтрино имеет вид:

$$\mathcal{L} = h_{ijk}(\bar{l}_i P_L l_j \tilde{\nu}_{kL} + \bar{l}_i P_L \nu_j \tilde{l}_{kL}) + h.c, \quad (7)$$

где  $\tilde{\nu}_{kL}, \tilde{l}_{kL}$  — скалярные нейтрино и скалярные лептоны  $k$ -го поколения. Благодаря антисимметрии констант  $h_{ijk}$  по двум последним индексам ( $h_{ijk} = -h_{ikj}$ ) имеем  $h_{eee} = 0$ , и следовательно, в  $e^+e^-$ -столкновениях (1)-(4) возможно рождение только мюонного ( $k = \mu$ ) или тау-лептонного ( $k = \tau$ ) снейтрино и слептона.

Используя (7) для амплитуд процессов (2), (3), имеем:

$$M(e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0) = \frac{gh_{eek}}{\cos\theta_W} \bar{u}(k_1) \left( a_L \frac{\hat{k}_4 \hat{Z}}{t} - a_R \frac{\hat{Z} \hat{k}_4}{u} - \frac{(k_4 Z)}{s - m_{\tilde{\nu}}^2} \right) P_L u(k_2), \quad (8)$$

$$M(e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^+ W^-) = \frac{gh_{eek}}{\sqrt{2}} \bar{u}(k_1) \left( \frac{\hat{k}_4 \hat{W}}{t} + 2 \frac{(k_4 W)}{s - m_{\tilde{\nu}}^2 + im_{\tilde{\nu}} \Gamma_{\tilde{\nu}}} \right) P_L u(k_2). \quad (9)$$

При выводе мы пренебрегали массами лептонов и использовали обозначения:  $Z_\mu, W_\mu$  – 4-векторы поляризации  $Z^0$ - и  $W^\pm$ -бозонов,  $s = (k_1 + k_2)^2$ ,  $t = (k_1 - k_4)^2$ ,  $u = (k_2 - k_4)^2$ ,  $m_{\tilde{l}}, m_{\tilde{\nu}}$  – массы скалярных лептонов и скалярных нейтрино,  $\Gamma_{\tilde{\nu}}$  – полная ширина скалярных нейтрино.

Для дифференциального сечения процессов (3),(4) имеем следующий результат:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0)}{dt} &= \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{8 \sin^2 \theta_W \cos^2 \theta_W s^2} \left( (a_L^2 + a_R^2) (tu - m_{\tilde{\nu}}^2 m_Z^2) + \right. \\ &+ \frac{2a_L a_R (t - m_{\tilde{\nu}}^2)(u - m_{\tilde{\nu}}^2)}{tu} + \left. \frac{sm_{\tilde{\nu}}^2}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)} \left( \frac{a_L}{t} - \frac{a_R}{u} \right) + \left( \frac{1}{8} m_Z^2 - \frac{1}{2} m_{\tilde{\nu}}^2 \right) \frac{s}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)^2} \right), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{d\sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^+ W^-)}{dt} = \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{16 \sin^2 \theta_W s^2} \left( a \frac{1}{t} - m_W^2 m_{\tilde{l}}^2 \frac{1}{t^2} + b \right), \quad (11)$$

$$a = m_W^2 + m_{\tilde{l}}^2 - s - \frac{2sm_{\tilde{l}}^2}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)^2 + \Gamma_{\tilde{\nu}}^2 m_{\tilde{\nu}}^2} (s - m_{\tilde{\nu}}^2), \quad (12)$$

$$b = -1 - \frac{2m_{\tilde{l}}^2 s}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)^2 + m_{\tilde{\nu}}^2 \Gamma_{\tilde{\nu}}^2} + \frac{s}{2m_W^2} \left| -1 + \frac{(s - m_{\tilde{l}}^2 - m_W^2)}{s - m_{\tilde{\nu}}^2 + im_{\tilde{\nu}} \Gamma_{\tilde{\nu}}} \right|^2, \quad (13)$$

$$t_- < t < t_+, \quad (14)$$

где

$$t_{\pm} = \frac{m_{\tilde{\nu}, \tilde{l}}^2 + m_{Z,W}^2 - s \pm \sqrt{(m_{\tilde{\nu}, \tilde{l}}^2 + m_{Z,W}^2 - s)^2 - 4m_{\tilde{\nu}, \tilde{l}}^2 m_{Z,W}^2}}{2}. \quad (15)$$

Для полного сечения получаем

$$\begin{aligned} \sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0) &= \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{8 \sin^2 \theta_W \cos^2 \theta_W s^2} \left( (a_L^2 + a_R^2) (m_Z^2 + m_{\tilde{\nu}}^2 - s) + \right. \\ &+ \frac{4a_L a_R m_{\tilde{\nu}}^2 (s - m_Z^2)}{(m_Z^2 + m_{\tilde{\nu}}^2 - s)} - \left. \frac{1}{2} \frac{sm_{\tilde{\nu}}^2}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)} \right) \ln(t_+/t_-) + \\ &+ (t_+ - t_-) \left( 2a_L a_R - 2(a_L^2 + a_R^2) + \frac{1}{8} \frac{s(m_Z^2 - 4m_{\tilde{\nu}}^2)}{(s - m_{\tilde{\nu}}^2)^2} \right), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^\mp W^\pm) = \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{16 \sin^2 \theta_W s^2} (a \ln(t_+/t_-) + (b-1)(t_+ - t_-)). \quad (17)$$

При  $\sqrt{s} \gg m_{\tilde{\nu}}, m_{\tilde{l}}, m_W$  предыдущие формулы упрощаются:

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL} Z^0) = \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{4 \sin^2 \theta_W \cos^2 \theta_W s} ((a_L^2 + a_R^2) (\ln(\frac{s}{m_{\tilde{\nu}} m_Z}) - 1) + a_L a_R), \quad (18)$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^+ W^-) = \frac{\alpha|h_{eek}|^2}{8 \sin^2 \theta_W s} (\ln(\frac{s}{m_{\tilde{l}} m_W}) - 1). \quad (19)$$

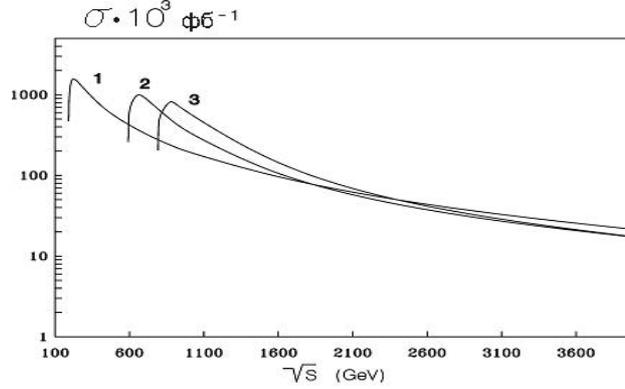


Рис. 4. Число событий  $\tilde{\nu}_{kL} Z^0$  в год ( $\sigma L$ ), рожденных в реакции (3) в зависимости от  $\sqrt{s}$  при годовой светимости  $L = 1000 \text{ фб}^{-1}$  и  $h_{eek} = 10^{-2}$ . Кривые 1, 2, 3 соответствуют  $m_{\tilde{\nu}} = 0.1, 0.5, 0.7 \text{ ТэВ}$ .

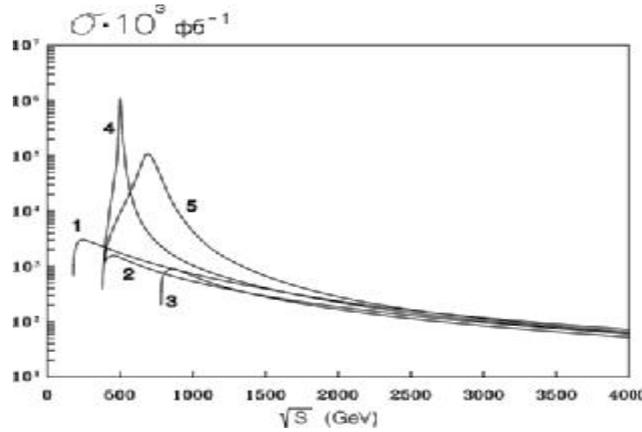


Рис. 5. Число событий  $\tilde{l}_{kL}^+ W^-$  в год ( $\sigma L$ ), рожденных в реакции (4) в зависимости от  $\sqrt{s}$  при фиксированном  $m_{\tilde{\nu}}$  при годовой светимости  $L = 1000 \text{ фб}^{-1}$  и  $h_{eek} = 10^{-2}$ . Кривые 1-5 соответствуют  $m_{\tilde{\nu}} = m_{\tilde{l}} = 100 \text{ ГэВ}$ ;  $m_{\tilde{\nu}} = m_{\tilde{l}} = 300 \text{ ГэВ}$ ;  $m_{\tilde{\nu}} = m_{\tilde{l}} = 700 \text{ ГэВ}$ ;  $m_{\tilde{\nu}} = 500, m_{\tilde{l}} = 300 \text{ ГэВ}$ ;  $m_{\tilde{\nu}} = 700, m_{\tilde{l}} = 300 \text{ ГэВ}$ .

На рис. 4, 5 показано число событий в год  $\tilde{\nu}_{kL} Z^0$  и  $\tilde{l}_{kL}^+ W^-$  в процессах (2), (3) в зависимости от  $\sqrt{s}$  при фиксированных  $m_{\tilde{\nu}}, m_{\tilde{l}}$  и годовой светимости  $L = 1000 \text{ фб}^{-1}$ . В представленных численных результатах предполагалось, что

снейтрино распадается преимущественно в  $W^+\tilde{l}_{kL}^-$  пары (т.е.  $\Gamma_{\tilde{\nu}} = \Gamma(\tilde{\nu}_{kL} \rightarrow W\tilde{l}_{kL})$ ).

Отметим, что возможно не только рождение скалярных нейтрино, но также скалярных антинейтрино в процессах  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}^*Z^0$ ,  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}^*\gamma$ , сечения которых равны полным сечениям процессов (2) и (3).

Процессы рождения скалярных лептонов и скалярных нейтрино [1]

$$e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}\tilde{\nu}^*, \quad e^+e^- \rightarrow \tilde{l}^+\tilde{l}^-, \quad (20)$$

описываемые диаграммами с виртуальными калибровочными бозонами, имеют большее поперечное сечение, чем процессы (3),(4). Однако они возможны при энергиях  $\sqrt{s} > 2m_{\tilde{\nu}}, (2m_{\tilde{l}})$ , в то время как процессы (3), (4) возможны при более низких энергиях  $\sqrt{s} > m_{\tilde{\nu}} + m_Z, m_{\tilde{l}} + m_W$ . То же верно и для процессов

$$e^+e^- \rightarrow H_{1,2}^0H_3^0, \quad e^+e^- \rightarrow H^+H^-, \quad (21)$$

которые возможны при больших энергиях  $\sqrt{s} > m_{1,2} + m_3, 2m_4$ , чем процессы (5),(6). О процессах парного рождения (20), (21) см. работу [1] и ссылки в ней.

**3. Рождение хиггсовских бозонов в ассоциации с калибровочными бозонами.** Используя взаимодействие хиггсовских бозонов с лептонами (A4)-(A6) в пределе больших  $\tan\beta$ , получаем, что амплитуды процессов (5),(6) отличаются от амплитуд процессов (3),(4) (см. (8),(9)):

$$M(\mu^+\mu^- \rightarrow H^+W^-) = \frac{g^2}{2} \frac{m_\mu}{m_W} \tan\beta \bar{u}(k_1) \left( \frac{\hat{k}_4 \hat{W}}{t} + 2 \frac{(k_4 W)}{s - m_H^2} \right) P_L u(k_2), \quad (22)$$

$$M(\mu^+\mu^- \rightarrow H_3^0 Z^0) = M_L - M_R, \quad (23)$$

$$M(\mu^+\mu^- \rightarrow H_{1,2}^0 Z^0) = M_L + M_R + M_0, \quad (24)$$

где

$$M_{L,R} = \frac{g^2}{2 \cos\theta_W} \frac{m_\mu}{m_W} \tan\beta \bar{u}(k_1) \left( a_{L,R} \frac{\hat{k}_4 \hat{Z}}{t} - a_{R,L} \frac{\hat{Z} \hat{k}_4}{u} \mp \frac{(k_4 Z)}{s - m_3^2} \right) P_{L,R} u(k_2), \quad (25)$$

$M_0$  — вклад  $s$ -канальных диаграмм с виртуальным  $Z^0$ -бозоном. Амплитуды  $M_{L,R,0}$  не интерферируют друг с другом ( $M_L^+ M_R = M_{L,R}^+ M_0 = 0$ ) в пределе  $m_\mu \ll \sqrt{s}$ .

В области  $\tan\beta \gg 1$  при  $m_3 > m_Z$  сечение процесса  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_2^0 Z^0$  за счет обмена  $Z^0$ -бозоном при достаточно больших  $\tan\beta$  превосходит сечение процесса за счет  $t, u$ -канальных диаграмм и  $s$ -канальной диаграммы с виртуальным  $H_3^0$ -бозоном.

При  $m_3 < m_Z$  и  $\tan \beta \gg 1$ , наоборот, подавлена вершина  $Z^0 Z^0 H_2^0$ , в то время как  $t, u$ -канальные диаграммы и  $s$ -канальная диаграмма с виртуальным  $H_3^0$ -бозоном пропорциональны  $\tan \beta$ .

В области больших  $\tan \beta \gg 1$  при  $m_3 > m_Z$ , как ясно из вида вершин  $Z^0 Z^0 H_{1,2}^0$  (см. Приложение А),  $s$ -канальная диаграмма процесса  $\mu^+ \mu^- \rightarrow H_1^0 Z^0$  с виртуальным  $Z^0$ -бозоном подавлена множителем  $c_1$ , в то время как  $t, u$ -канальные диаграммы и  $s$ -канальная диаграмма с виртуальным  $H_3^0$ -бозоном пропорциональны  $\tan \beta$ . В области  $\tan \beta \gg 1$ ,  $m_3 < m_Z$  вклад диаграмм, в которых хиггсовский бозон взаимодействует с мюонами, в процесс  $\mu^+ \mu^- \rightarrow H_1^0 Z^0$ , подавлен по сравнению с вкладом с виртуальным  $Z^0$ -бозоном и его сечение такое же, как и для процесса  $e^+ e^- \rightarrow H_1^0 Z^0$  в [1].

В случае процесса  $\mu^+ \mu^- \rightarrow H_1^0 Z^0$  при достаточно больших  $\tan \beta$ , особенно в пределе  $m_3 \gg m_Z$ , как это следует из вида  $c_2$ ,  $t, u$ -канальные диаграммы и  $s$ -канальная диаграмма с виртуальным  $H_3^0$ -бозоном превосходят вклад с диаграммы с вершиной  $Z Z H_1^0$ .

Полные сечения процессов (5), (6) и дифференциальное сечение процесса (6) могут быть получены из формул (11)-(19) путем следующих замен:

$$h_{eek} \rightarrow \frac{g m_\mu}{\sqrt{2} m_W} \tan \beta, m_{\bar{\nu}} \rightarrow m_3, m_{\bar{l}} \rightarrow m_4, \quad (26)$$

где  $m_\mu$  — масса  $\mu$ -мезона, при этом следует также подставить  $\Gamma_{\bar{\nu}} = 0$ .

Дифференциальное сечение процесса (5) имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma(\mu^+ \mu^- \rightarrow H_3^0 Z^0)}{dt} = & \frac{\pi \alpha m_\mu^2 \tan^2 \beta}{8 m_W^2 \sin^4 \theta_W \cos^2 \theta_W s^2} ((a_L^2 + a_R^2) (\frac{1}{t^2} + \frac{1}{u^2}) (tu - m_3^2 m_Z^2) + \\ & + \frac{4 a_L a_R (t - m_{\bar{\nu}}^2) (u - m_3^2)}{tu} - \frac{s m_3^2}{2(s - m_3^2)} (\frac{1}{t} + \frac{1}{u}) + (\frac{1}{4} m_Z^2 - m_3^2) \frac{s}{(s - m_3^2)^2}). \end{aligned} \quad (27)$$

Вдали от порога имеем

$$\sigma(\mu^+ \mu^- \rightarrow H_3^0 Z^0) = \frac{\pi \alpha^2}{2 \sin^4 \theta_W \cos^2 \theta_W s} \frac{m_\mu^2}{m_W^2} \tan^2 \beta ((a_L^2 + a_R^2) (\ln(\frac{s}{m_3 m_Z}) - 1) + a_L a_R), \quad (28)$$

$$\sigma(\mu^+ \mu^- \rightarrow H^+ W^-) = \frac{\pi \alpha^2}{4 \sin^4 \theta_W s} \frac{m_\mu^2}{m_W^2} \tan^2 \beta (\ln(\frac{s}{m_4 m_W}) - 1). \quad (29)$$

При  $m_4 > m_t$  (где  $m_t = 176$  ГэВ масса  $t$ -кварка [6]),  $m_3 = m_4$  с большой точностью и для процессов (5), (6) мы можем использовать численные результаты рис.4,5. Для  $h_{eek} = 10^{-2}$  сечения процессов (3), (4) равны сечениям процессов (5),(6) при  $\tan \beta = 17.5$  (как следует из формул (21)-(24)). Для произвольного  $\tan \beta \gg 1$  необходимо умножить результаты рис.4,5 на  $(\tan \beta / 17.5)^2$ .

Сечение процессов  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_{1,2}^0 Z^0$  может быть получено из сечения процесса  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_3^0 Z^0$  путем подстановок  $m_{1,2} \leftrightarrow m_3$  в той области  $m_3$  и  $\tan \beta$ , где  $t, u$  – канальные вклады существенны и вкладом диаграммы с виртуальным  $Z^0$ -бозоном можно пренебречь.

Кроме древесных диаграмм рис. 2, вклад в процессы (5), (6) дают также петлевые диаграммы, некоторые из которых изображены на рис. 3.

Из вида диаграмм рис. 3 ясно, что поперечное сечение петлевых вкладов имеет порядок  $\sigma \sim \alpha^4/s$ , в то время как поперечное сечение древесных вкладов имеет порядок  $\sigma \sim \frac{m_\mu^2}{m_W^2} \tan^2 \beta \frac{\alpha^2}{s}$  и при  $\tan \beta \sim 6.2$  или больше древесный вклад превосходит петлевой. Следует отметить, вышеприведенная оценка для петлевого вклада неверна при  $\sqrt{s} \gg M$  (где  $M$  – масса самой тяжелой частицы в петлевых интегралах), так как в этом случае петлевые интегралы (являющиеся сложными функциями от  $s$ , масс частиц в петле и масс конечных частиц) в амплитуде содержат дополнительные степени  $M^2/s \ll 1$ . Таким образом, при  $\sqrt{s} \gg M$  с ростом  $\sqrt{s}$  петлевой вклад убывает быстрее древесного.

### Приложение А

В МССМ хиггсовский сектор содержит два дублета хиггсовских бозонов с противоположными гиперзарядами ( $Y = \pm 1$ ).

После спонтанного нарушения симметрии возникают следующие физические состояния: заряженные хиггсовские бозоны  $H^\pm$ , два скаляра  $H_1^0, H_2^0$  и один псевдоскаляр  $H_3^0$ .

На древесном уровне массы заряженных хиггсовских бозонов ( $m_4$ ), скаляров и угол  $\alpha$  (описывающий смешивание скалярных хиггсовских бозонов) выражаются через массу псевдоскаляра  $H_3^0$  и  $\tan \beta = v_2/v_1$  (где  $v_2, v_1$  – вакуумные средние обоих дублетов) следующим образом:

$$m_4^2 = m_3^2 + m_W^2, \quad (\text{A } 1)$$

$$m_{1,2}^2 = 1/2 [m_3^2 + m_Z^2 \pm ((m_3^2 + m_Z^2)^2 - 4m_Z^2 m_3^2 \cos^2 2\beta)^{1/2}], \quad (\text{A } 2)$$

$$\tan 2\alpha = \frac{m_3^2 + m_Z^2}{m_3^2 - m_Z^2} \tan 2\beta. \quad (\text{A } 3)$$

Из формулы (A2) следует, что МССМ гарантирует существование, по крайней мере, одного легкого хиггсовского бозона  $H_2^0$  с массой  $m_2 \leq m_Z$ .

Взаимодействие хиггсовских бозонов с мюонами имеет вид

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{gm_\mu \cos \alpha}{2m_W \cos \beta} \bar{\mu}\mu H_1^0 + \frac{gm_\mu \sin \alpha}{2m_W \cos \beta} \bar{\mu}\mu H_2^0 + \\ & + i\frac{gm_\mu}{2m_W} \tan \beta \bar{\mu}\gamma_5 \mu H_3^0 + \left( \frac{gm_\mu}{\sqrt{2}m_W} \tan \beta \bar{\mu} P_L \nu H^+ + h.c. \right). \end{aligned} \quad (\text{A } 4)$$

При  $\tan \beta \gg 1$  массовые соотношения (A2), (A3) и формула (A4) сильно упрощаются. При  $m_3 < m_Z$  и  $m_3 > m_Z$  соответственно имеем:

$$m_2 = m_3, m_1 = m_Z, \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = \tan \beta \gg \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}, \quad (\text{A } 5)$$

$$m_2 = m_{H_Z}, m_1 = m_3, \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \tan \beta \gg \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}. \quad (\text{A } 6)$$

Вершины  $Z^0 Z^0 H_i^0$  имеют вид

$$\mathcal{L} = \frac{gm_Z}{\cos \theta_W} (c_1 Z_a Z^a H_1^0 + c_2 Z_a Z^a H_2^0), \quad (\text{A } 7)$$

где  $\theta_W$  – угол Вайнберга,  $c_1 = \cos(\beta - \alpha)$ ,  $c_2 = \sin(\beta - \alpha)$ . При  $\tan \beta \gg 1$  и  $m_3 < m_Z$  имеем  $c_2^2 \ll 1$ ,  $c_1^2 = 1$  при  $\tan \beta \gg 1$  и  $m_3 > m_Z$  имеем  $c_2^2 = 1$ ,  $c_1^2 \ll 1$ . При  $m_3 \gg m_Z$  и  $\tan \beta \gg 1$  имеем  $c_1 = -2m_Z^2 / (m_3^2 \tan \beta)$ .

Для тех параметров  $\tan \beta$  и  $m_3$ , при которых взаимодействие  $H_{1,2}^0$ -бозонов с мюонами велико, формулы (A5), (A6) приближенно остаются в силе даже после учета радиационных поправок к массам хиггсовских бозонов [8-11]. Так, при  $m_3 < m_Z$ ,  $\tan \beta \gg 1$  по-прежнему  $m_2 \approx m_3$ , фактор  $\sin \alpha / \cos \beta \approx \tan \beta$  в константе взаимодействия  $H_2^0$ -бозона с мюонами много больше фактора  $\cos \alpha / \cos \beta$  в константе взаимодействия  $H_1^0$ -бозонов с мюонами. При  $m_3 > 100 - 120$  ГэВ,  $\tan \beta \gg 1$  по-прежнему  $m_1 \approx m_3$ ,  $\cos \alpha / \cos \beta \approx \tan \beta \gg$  фактора  $\sin \alpha / \cos \beta$  в константе взаимодействия  $H_2^0$ -бозонов с мюонами, в этой области формула  $m_2 = m_Z$  ощутимо изменяется, однако в этой же области обменом и рождением  $H_2^0$ -бозоном в (5), (6) благодаря взаимодействию с мюонами можно пренебречь. Выражение для  $c_i$  при  $\tan \beta \gg 1$  также приближенно остается в силе после учета радиационных поправок к массам хиггсовских бозонов.

Ереванский физический институт

**Р. А. Аланакян**

### **Рождение скалярных лептонов и суперсимметричных хиггсовских бозонов в лептон-антилептонных столкновениях**

В рамках моделей с нарушением  $R$ -четности рассмотрено рождение скалярных нейтрино и заряженных скалярных лептонов в процессах  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL} Z^0$  и  $e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^\mp W^\pm$ . Также рассмотрено рождение хиггсовских бозонов в процессах  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_i^0 Z^0$ ,  $\mu^+\mu^- \rightarrow H^\pm W^\mp$  в рамках минимальной суперсимметричной стандартной модели.

R. A. Alanakyan

## Scalar Leptons and Supersymmetric Higgs Bosons Production in Lepton-Intilepton Collisions

In the framework of models with  $R$ -parity violation scalar neutrino and charged scalar leptons production in processes  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0$  and  $e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^\mp W^\pm$  are studied. Also Higgs bosons production in processes  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_i^0Z^0$ ,  $\mu^+\mu^- \rightarrow H^\pm W^\mp$  in the framework of minimal supersymmetric standard model are also considered.

### Ռ. Ա. Ալանակյան

#### Սկալյար լեպտոնների և սուպերսիմետրիկ Տիգսի բոզոնների ծնումը լեպտոն-անտիլեպտոն փրոհումներում

$R$ -գույացորությունը խախտող մոդելների շրջանակներում քննարկված է սկալյար նեյտրինոների և լիցքավորված սկալյար լեպտոնների ծնումը  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu}_{kL}Z^0$  և  $e^+e^- \rightarrow \tilde{l}_{kL}^\mp W^\pm$  պրոցեսներում: Նույնպես քննարկված է Տիգսի բոզոնների ծնումը  $\mu^+\mu^- \rightarrow H_i^0Z^0$ ,  $\mu^+\mu^- \rightarrow H^\pm W^\mp$  պրոցեսներում մինիմալ սուպերսիմետրիկ մոդելի շրջանակներում:

### Литература

1. *Haber H. E., Kane G. L.* - Phys. Rep. 117(1985), P. 75-263.
2. *Gunion J. F., Haber H. E.* - Nucl. Phys. 1986 V. B272, P. 1.
3. *Barger V., Giudice G. F., Han T.* - Phys. Rev. D40(1989), P. 2987.
4. *Alanakyan R. A.* - Mod. Phys. Lett. A, V. 13, (1998), P. 3073-3080.
5. *Dreiner H., Lola S.* "e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> Collisions at 500 GeV: The Physics Potential", Munich, Annecy, Hamburg, 1991, Ed. P. M. Zerwas, Part.B, DESY 92-123B, P. 707.
6. European Phys. C 15, (2000). Review of Particles Properties.
7. *Weller T. J., Yuan T. C.* - Nucl. Phys. B318(1989), P. 337.
8. *Okada Y., Yamaguchi M., Yanagida T.* - Prog.Theor.Phys.35(1991), P. 477.
9. *Ellis J., Ridolfi G., Zwirner F.* - Phys.Lett. B262(1991), P. 477-484.
10. *Haber H.E., Hempfling R.* - Phys.Rev.Lett.66(1991), P. 1815-1818.
11. *Barbieri R., Frigeni M., Caravaglios F.* - Phys.Lett.B258(1991), P. 167-170.

УДК 539.1.074.3

Н. Р. Баласанян

### Коррекция величин депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS

(Представлено чл.-кор. НАН РА Р.М. Авакяном 28/VII 2009)

**Ключевые слова:** коррекция депозированной энергии частиц, сцинтилляционные счетчики

**Введение.** Измерение депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках имеет большое значение для идентификации частиц. Во время обработки экспериментальных данных, полученных с помощью детектора CLAS (CEBAF Large Acceptance Spectrometer) [1] запрос на депозированную энергию заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках дается в усредненном виде по всем сцинтилляционным счетчикам детектора. При более подробном анализе депозированной энергии заряженных частиц в каждом сцинтилляционном счетчике детектора CLAS было обнаружено, что в некоторых из них депозированная энергия частиц не соответствует действительному ее значению. Известно, что в используемых сцинтилляторах пион с энергией выше 0.5 ГэВ депозитует энергию  $\sim 2$  МэВ на 1 см. На рис. 1 представлены гистограммы, показывающие энерговыделение от пионов в зависимости от номера счетчика (счетчики толщиной 5 см), полученных от сцинтилляторов в шести секторах. Как следует из диаграмм, во всех секторах имеется некоторое количество сцинтилляционных счетчиков, для которых вышеприведенные условия не выполняются.

На всех гистограммах явно видны нехарактерные разбросы величин измеряемых энергий, что указывает на неточность восстановления депозированной энергии заряженных частиц из зарегистрированных сигналов фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков (рис. 1). Поэтому возникает

задача коррекции данных измерений и повышения точности измерений при обработке результатов экспериментов.

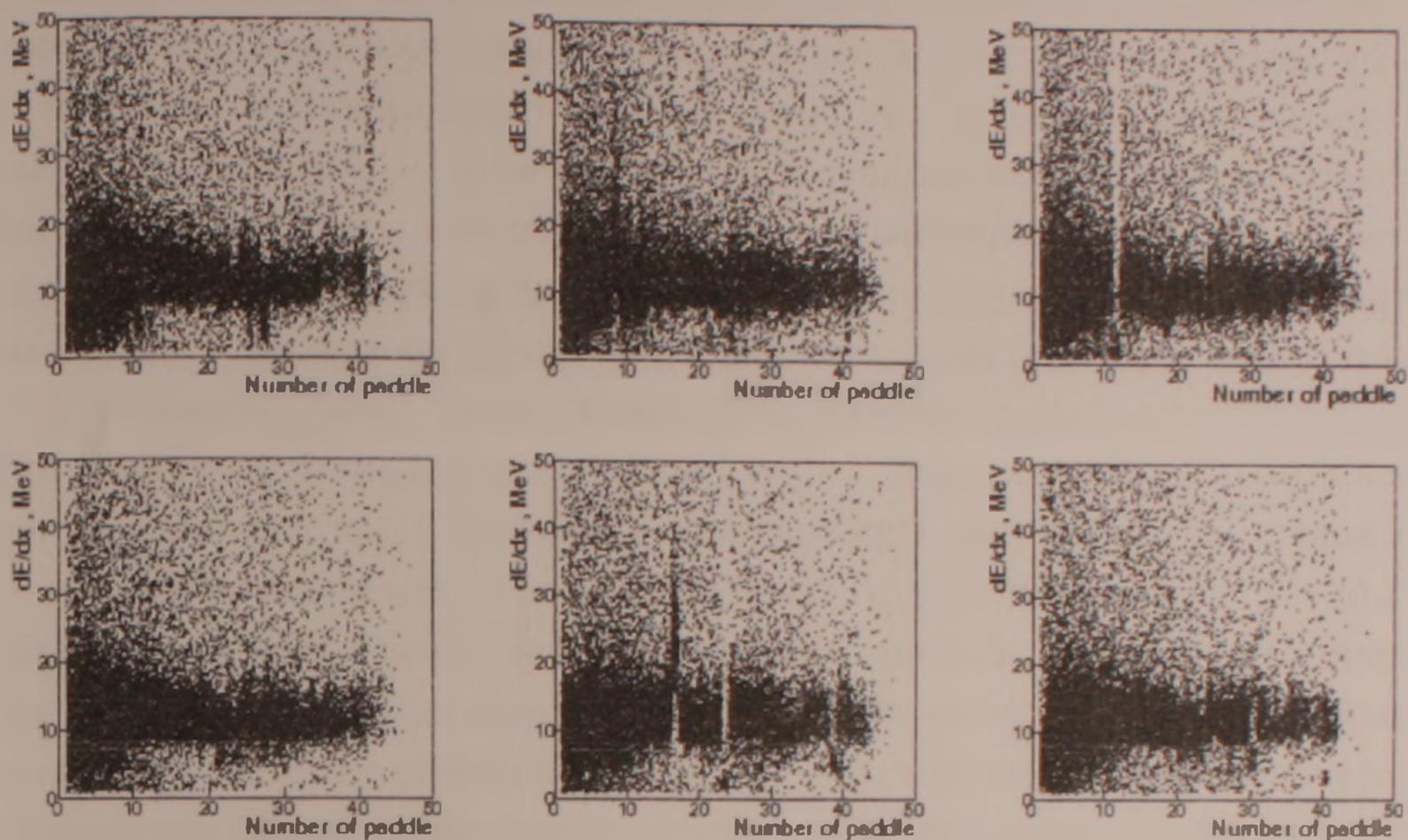


Рис.1. Энергия депозиции пионов в сцинтилляционных счетчиках для шести секторов CLAS в зависимости от номера сцинтилляционных счетчиков.

Таким образом, становится очевидной актуальность проведения работ, направленных на повышение точности данных для обработки результатов измерений, что особенно важно при идентификации частиц с помощью энерговыделения в сцинтилляторах.

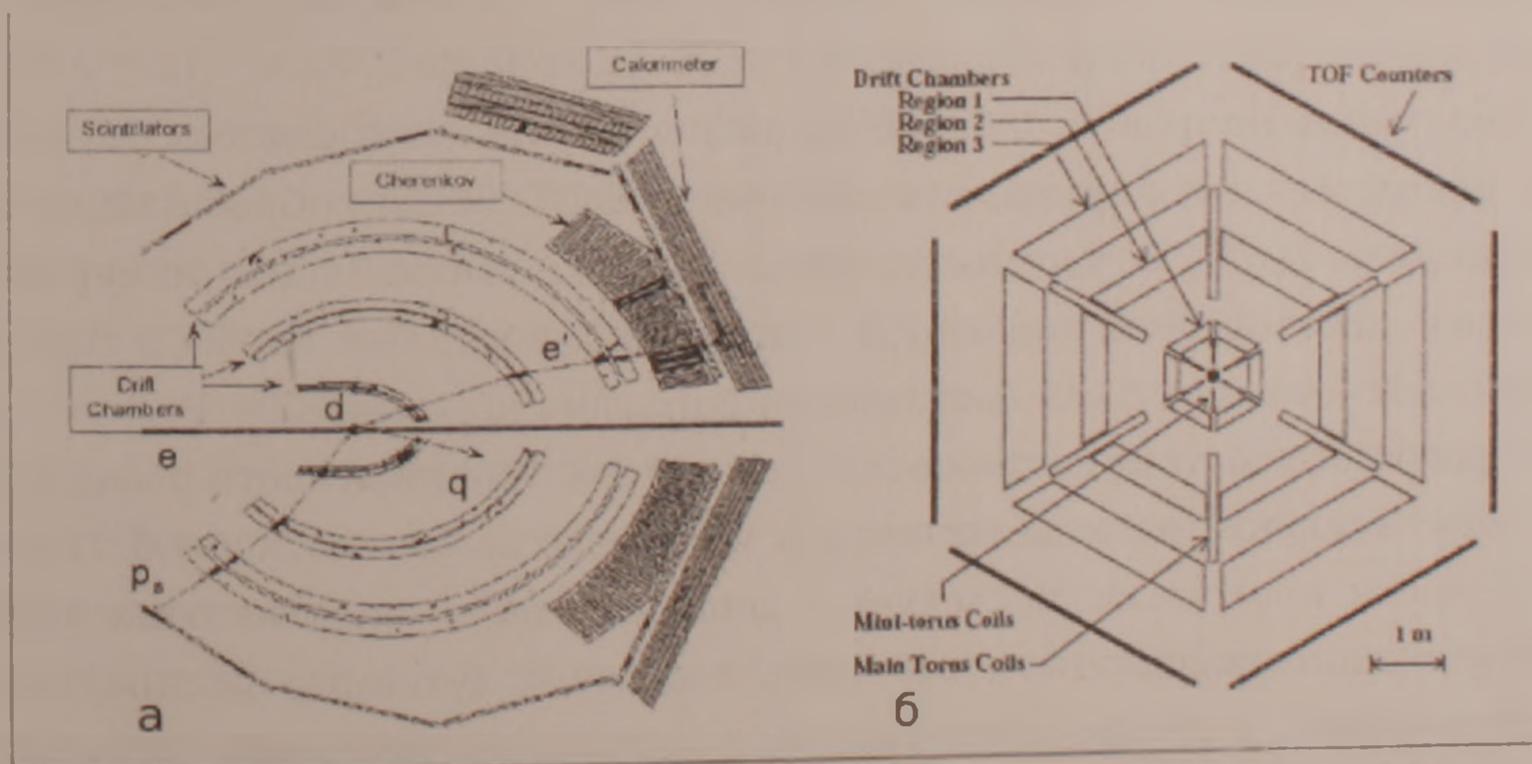


Рис. 2. Схематическая структура детектора CLAS параллельно (а) и перпендикулярно (б) к направлению пучка.

Экспериментальная установка. Эксперимент "eg3" был выполнен в Лаборатории имени Томаса Джеферсона (США), оснащенной ускорителем

электронов CEBAF и детекторным комплексом CLAS в экспериментальном зале "B". Схематическое изображение комплекса приведено на рис. 2. Это спектрометр с большим телесным углом, который представляет собой систему детекторов, составной частью которых являются дрейфовые камеры [2], черенковские газовые счетчики [3], сцинтилляционные счетчики [4] и электромагнитные колориметры [5]. Система CLAS спроектирована для регистрации элементарных частиц, рожденных при взаимодействии электронных или фотонных пучков с ядерными мишенями. Большой телесный угловой захват позволяет одновременно в довольно широком кинематическом объеме регистрировать рождение рассеянных частиц. Вид детектора CLAS параллельно и перпендикулярно к пучку представлен на рис.2. Конструктивно он основан на шести сверхпроводящих катушках тороидальной формы (рис.2,б). По сути, CLAS представляет собой шесть независимых магнитных спектрометров с одной мишенью, триггером и системой сбора информации. Каждый такой сектор имеет 48 сцинтилляционных счетчиков, при помощи которых измеряют время пролета заряженной частицы и депозированную энергию в данном счетчике [4]. Счетчики этого типа установлены на внешней поверхности детектора и по полярному углу охватывают область от  $8^\circ$  до  $142^\circ$ , а по азимуту — область  $\sim 2\pi$ . Как видно из рис.2,а, сцинтилляционные счетчики установлены после дрейфовых камер и черенковских счетчиков. Толщина сцинтилляторов во всех сцинтилляционных счетчиках CLAS одинакова и составляет 5.08 см. Пространственное расположение групп сцинтилляторов выбрано таким образом, чтобы плоскость группы была приблизительно перпендикулярна к траектории полета частиц. Длина сцинтилляторов в разных местах различна и меняется в пределах от 32 до 376 см.

**Получение поправок.** Обработка экспериментальных данных осуществлена с использованием программного пакета ROOT [6]. Для обработки данных эксперимента "e<sub>g</sub>3", в частности, базы данных, включающих измеренные величины сигналов депозированной энергии элементарных частиц в сцинтилляционных счетчиках, была составлена программа на языке C++.

Программа состоит из трех основных частей. В первой части реализуется идентификация положительных пионов, имеющих энергию больше 0.5 ГэВ. Во второй части программы исследуется депозированная энергия этих пионов в каждом сцинтилляционном счетчике, а далее полученные распределения депозированной энергии фитируются с помощью гауссовой функции, с целью выявления среднего значения депозированной энергии в данном счетчике. В третьей части программы среднее значение депозированной энергии сравнивается со средним значением по шести секторам ( $ED_{average}$ ) и составляется таблица коэффициентов поправок, которая может представлять

собой матрицу (48 × 6). Каждый элемент матрицы определяется отношением усредненных величин значений депозированной энергии пиона в данном сцинтилляционном счетчике к среднему значению энергии  $ED_{average}$  по всему детектору CLAS. Среднее значение по детектору является репером для определения коэффициентов коррекции:

$$ED_{average} = \frac{\sum ED_i}{6}, \quad i = 1 \dots 6, \quad (1)$$

где  $ED_i$  – среднее значение депозированной энергии пионов в данном секторе.

Имея реперное значение для депозированной энергии пиона, можно определить коэффициенты поправки следующим образом:

$$ED_{coefficient}[i][j] = \frac{ED_{mean}[i][j]}{ED_{average}}, \quad i = 1 \dots 6, \quad j = 1 \dots 40, \quad (2)$$

где  $ED_{mean}[i][j]$  – среднее значение депозированной энергии пиона в данном сцинтилляционном счетчике,  $i$  – номер сектора,  $j$  – номер счетчика.

Поправки выше 40-го сцинтиллятора не были осуществлены, поскольку они расположены на задней части детектора CLAS и не имеется достаточной статистики для определения среднего значения их показаний. Следовательно, наши расчеты по определению коэффициентов поправок ограничиваются максимальным номером счетчиков  $j = 1 - 40$ , которые регистрируют более чем 99.4% сигналов от сцинтилляционных счетчиков (рис.1).

В соответствии с формулой (2) определены коэффициенты поправок, которые представлены в таблице.

Из таблицы следует, что максимальный разброс в показаниях некоторых сцинтилляционных счетчиков достигает более 100% (сектор 5, счетчик 16), но в среднем этот разброс составляет около 6%.

**Коррекция энерговыделения дейтронов.** Данная методика коррекции величин депозированной энергии, основанная на сравнении с депозированной энергией пионов, была применена для коррекции величин депозированной энергии дейтронов. На рис.3 представлены гистограммы зависимости депозированной энергии дейтронов в сцинтилляционных счетчиках в зависимости от величины их импульсов без коррекции (рис.3,а) и после коррекции энерговыделения (рис.3,б).

Из сравнения этих гистограмм следует, что выполненная коррекция приводит к повышению концентрации дейтронов на характеристической полосе, кроме того, наблюдающееся некоторое перераспределение сигналов в районе импульсов 1 - 1.4 ГэВ/с исчезает, что также является эффектом коррекции.

	Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Сектор 4	Сектор 5	Сектор 6
1	1.0114	0.9893	0.9750	1.0055	0.9834	0.5724
2	1.0016	0.9955	1.0156	1.0430	0.9551	1.0156
3	0.9844	1.0236	1.0238	1.0245	0.9765	1.0157
4	1.0042	1.0291	1.0115	1.0476	1.0127	1.0158
5	1.0356	1.0451	1.0335	1.0588	1.0429	1.0210
6	1.0431	1.0935	1.0916	1.0914	1.0342	1.0422
7	1.0385	1.0373	1.0621	1.0655	1.0433	1.0359
8	1.0620	1.6449	1.0459	1.0968	1.0485	1.0409
9	1.0501	1.0446	1.0281	1.0585	1.0166	1.0490
10	1.0422	1.0625	1.0238	1.0438	1.0572	1.0585
11	1.0699	1.0108	0.1317	1.1032	1.0370	1.0493
12	1.0448	1.0520	1.0536	1.0662	1.0191	1.0529
13	1.0482	1.0572	1.0343	1.0721	1.0552	1.0353
14	1.0419	1.0365	1.0435	1.0694	1.0421	1.0377
15	1.0870	1.0175	1.0834	1.0737	1.1795	1.0429
16	1.0495	1.0451	0.9768	1.0594	2.0978	1.0691
17	0.9988	1.0433	0.9417	1.0325	1.0305	1.0278
18	1.0101	1.0426	0.7222	1.0398	0.9990	1.0247
19	1.0058	1.0120	0.9953	1.0430	1.0422	1.0142
20	1.0270	1.0342	1.0047	1.0275	0.9984	0.9434
21	0.9975	1.0655	1.0048	0.7312	1.0167	0.9704
22	1.0227	0.9930	0.9643	1.0226	1.0520	0.9788
23	0.9973	1.0057	0.9133	0.9795	0.2023	0.9339
24	1.1503	1.1855	1.1460	1.0992	1.2629	1.2049
25	1.0768	1.1431	1.1498	1.1431	1.1824	1.1602
26	1.1268	1.1058	1.0880	1.1002	1.2098	1.1700
27	0.7394	1.1195	1.0950	1.0920	1.1595	1.0770
28	1.0757	1.1271	1.1441	1.1132	1.1545	1.1034
29	1.0664	1.1239	1.0848	1.1095	1.1215	1.1429
30	1.0949	1.0934	1.0910	1.1110	1.0665	0.5748
31	1.0548	1.0457	1.0631	1.1176	1.0566	1.1283
32	1.0786	1.0408	1.0346	1.0435	1.0731	1.1113
33	1.1065	1.0334	1.0646	1.0799	1.0493	1.1262
34	1.0635	1.0597	1.0446	1.0756	1.0635	1.0459
35	1.2503	1.1178	1.1741	1.1507	1.1909	1.1754
36	1.2219	1.1441	1.1779	1.1433	1.1753	1.1652
37	1.2215	1.1910	1.1729	1.1212	1.1529	1.1766
38	1.1819	1.1453	1.1766	1.1877	0.7822	1.1717
39	1.1752	1.1249	1.1118	1.1848	1.2088	1.1510
40	1.1840	1.0624	1.2363	1.1725	1.1759	1.0845

**Поправки на энерговыделение  
для 40 счетчиков в 6 секторах**

Корректированное распределение энерговыделения дейтронов было использовано для селекции дейтронов при анализе экспериментальных данных. С этой целью область импульсов дейтронов от 0.5 до 1.6 ГэВ/с была разбита на участки шириной 30 МэВ/с, и на каждом участке распределение энерговыделения дейтронов было фитировано с помощью гауссовской функции. Из каждого участка импульсов были извлечены средние значения и дисперсия ( $\sigma$ ) фитированных гауссовских функций. На основе этих значений получены эмпирические зависимости для средних значений и дисперсии энергий депозиции дейтронов. Эти результаты в виде графиков представлены на рис.4. Зависимость средней энергии депозиции дейтронов от величины их импульсов представлена кривой 1. Верхняя кривая 2 получена на уровне тройной дисперсии, а нижняя кривая 3, полученная на уровне двойной дисперсии, позволяет эффективно отделять дейтроны от протонов и более легких частиц. Эти зависимости позволяют проводить более точный выбор дейтронов при анализе экспериментальных данных.

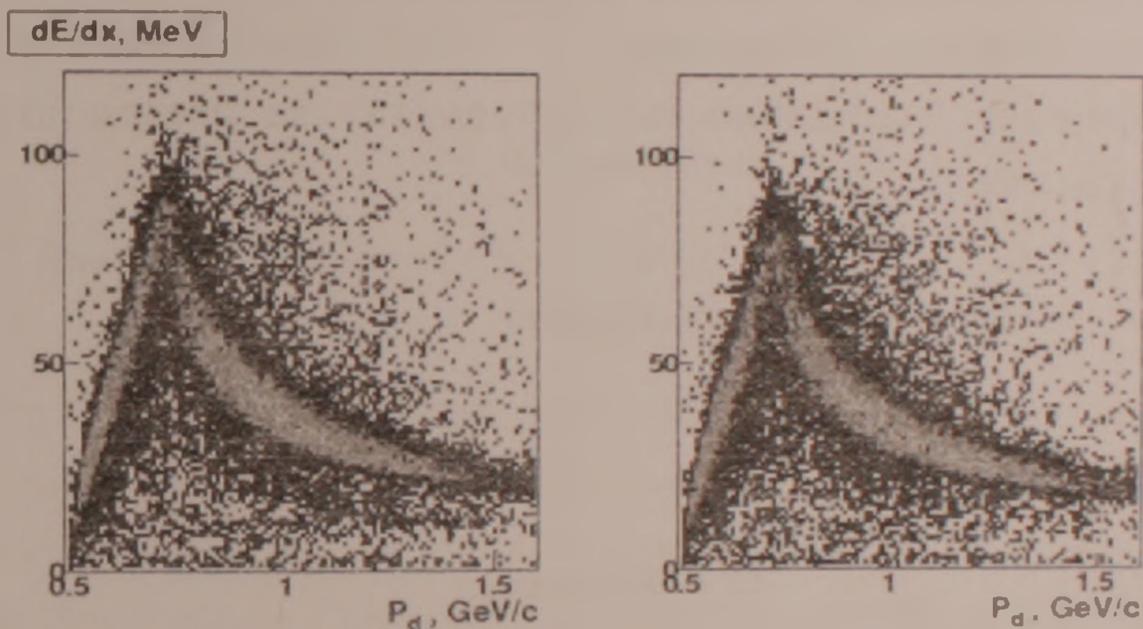


Рис. 3. Энергия депозиции дейтрона в сцинтилляционных счетчиках до (а) и после (б) коррекции.

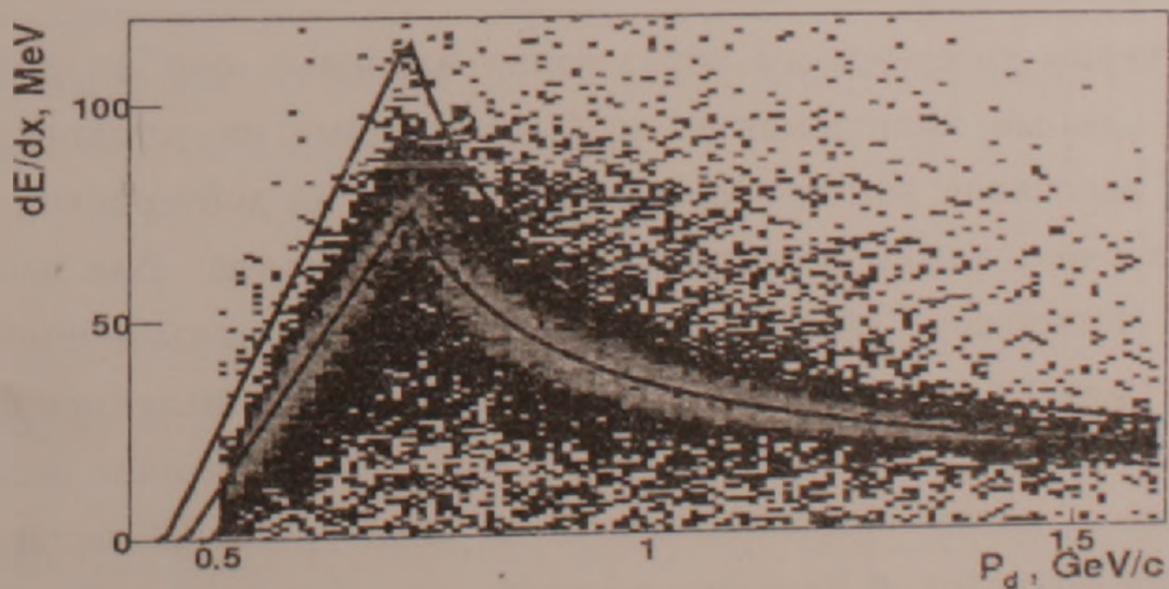


Рис. 4. Зависимость энергии депозиции дейтронов от их импульсов. Кривая 1 представляет среднее значение депозиции энергии, кривые 2, 3 определяют энергетическую область, соответствующую дейтронам.

Таким образом, с помощью корректировки экспериментальных данных по измерению депозированной энергии дейтронов была уточнена область энерговыделения, соответствующая дейтронам в зависимости от их импульсов. Сравнение отбора дейтронов до и после коррекции сцинтилляционных счетчиков, в частном случае в анализах реакции  $\gamma + d \rightarrow d + \pi^+ + \pi^-$ , показали более чем на 1.7% увеличение событий после конечного отбора.

**Заключение.** Полученная эмпирическая зависимость функции для средней энергии депозиции дейтронов и их дисперсии в зависимости от импульса частиц позволяет уточнить область энерговыделения, соответствующую дейтронам. Учет поправок при определении энергии депозиции заряженных частиц привел к повышению точности селекции дейтронов. Такие поправки в измерениях параметров рассеянных частиц особенно важны при исследованиях ядерных реакций с малым сечением.

Следовательно, в случаях, где необходимо проведение прецизионных измерений, весьма полезно введение корректирующих коэффициентов для каждого сцинтилляционного счетчика.

Автор выражает благодарность С.Степаняну за постановку задачи и полезные обсуждения.

Ереванский государственный университет

Н. Р. Баласанян

#### Коррекция величин депозированной энергии заряженных частиц в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS

Для изучения когерентного образования адронных пар на дейтроне были использованы данные эксперимента "eg3", полученные на установке CLAS, при исследовании рассеяния высокоэнергичных фотонов на дейтериевой мишени. В этих реакциях очень важно регистрировать дейтрон отдачи. Для идентификации дейтронов на установке CLAS важную роль играет энерговыделение в сцинтилляционных счетчиках. Выявлено, что некоторые сцинтилляционные счетчики детектора имели несоответствие в калибровках. На основе величин депозированной энергии пионов в сцинтилляционных счетчиках детектора CLAS составлена таблица коэффициентов поправок, с помощью которой скорректированы величины энергии депозиции дейтронов, что позволило получить более точную идентификацию этих частиц.

## Ն. Ռ. Բալասանյան

### Լիցքավորված մասնիկների կորստի էներգիայի ճշգրտումը CLAS դետեկտորի սցինտիլյացիոն հաշվիչներում

CLAS սարքավորման օգնությամբ ստացված "eg3" փորձի տվյալները, որտեղ հեփագոտվել են բարձր էներգետիկ ֆոտոնների ցրումը դեյտերիումի թիրախի վրա, օգտագործվել են դեյտրոնի վրա ադրոնային զույգի կոհերենտ առաջացման ուսումնասիրման համար: Նման ռեակցիաներում շար կարելու է ցրված դեյտրոնի գրանցումը: CLAS սարքավորման վրա դեյտրոնների նույնականացման համար կարելու էր են կատարում էներգիայի կորստի ուսումնասիրումը սցինտիլյացիոն հաշվիչներում: "eg3" փորձի տվյալներից հայտնաբերվել է, որ դետեկտորի որոշ սցինտիլյացիոն հաշվիչներ տրամաչափարկման մեջ ունեցել են անհամապատասխանություն: Հիմնվելով CLAS դետեկտորի սցինտիլյացիոն հաշվիչներում պիոնների ցուցադրած էներգիայի կորստի մեծությունների վրա, կազմվել է ուղղման գործակիցների աղյուսակ: Օգտագործելով տվյալ աղյուսակը, կատարվել է դեյտրոնի էներգիայի կորստի մեծության ճշգրտում, որը հնարավորություն է տվել ստանալու այդ մասնիկների նույնականացման ավելի մեծ ճշգրտում:

N. R. Balasanyan

### Correction of Energy Deposition of Charged Particles in Scintillator Counters in CLAS Detector

Data from "eg3" experiment acquired on the CLAS detector have been used to study the coherent production of hadron pairs on deuterium in the scattering of high energy photons on deuterium target. In such reactions it is important to detect scattered deuterons. To identify the deuterons on CLAS the important role plays energy deposition in scintillator counters. From experimental data of "eg3" it has been revealed that some scintillator counters have been mis-calibrated. Based on the known energy deposition of pions in the scintillator counters of the CLAS detector, the table of correction coefficient has been defined. This table is used to correct the energy deposition of deuterons, which allows to obtain more precise identification of deuterons.

### Литература

1. Mecking B.A., Adams G., Ahmad S. et. al. - NIM A. 2003. V.503. P. 513-553.
2. Mestayer M.D., Carman D.S., Asavapibhop B. et. al. - NIM A. 2000. V. 449. P. 81-111.
3. Adams G., Burkert V., Carstens T. et. al. - NIM A. 2001. V.65. P. 414-427.
4. Smith E.S., Carstens T., Distelbrink J. et. al. - NIM A. 1999. V.432. P. 265-298.
5. Amarian M., Asryan G., Beard K. et. al. - NIM A. 2001. V.460. P. 239-265.
6. <http://root.cern.ch>

УДК 539.12

Р. Г. Паремузян

**Извлечение событий квазиреального фоторождения из экспериментов электророждения на детекторе CLAS**

(Представлено академиком Р.О. Авакяном 29/VII 2009)

**Ключевые слова:** *квазиреальный фотон, фоторождение, электророждение*

**Введение.** Изучение структуры нуклонов — одна из наиболее актуальных задач современной ядерной физики и физики высоких энергий. Последние 30 лет внутренняя структура нуклонов исследовалась с помощью инклюзивных, глубоко-неупругих рассеяний лептонов. Результаты этих исследований хорошо описываются партонной моделью и теорией квантовой хронодинамики. Однако многие аспекты, такие как кварк-кварковые корреляции, распределения поперечных импульсов кварков, вклад коррелированных кварк-антикварковых пар в волновую функцию нуклонов, остаются на сегодняшний день малоизученными.

Информацию о кварках можно извлечь из теории обобщенного партонного распределения (Generalised Parton Distribution (GPD)) [1,2]. Одним из процессов, с помощью которого можно изучать GPD, является "временеподобное комптоновское рассеяние" (Timelike Compton Scattering (TCS)) [3], по сути, представляющее собой эксклюзивное фоторождение лептонных пар.

В экспериментах фоторождения при высоких энергиях на установке CLAS[4] электроны в триггере не регистрировались, поэтому событий с электрон-позитронной парой в конечном состоянии фактически зарегистрировано не было. В данной работе описан механизм выделения событий квазиреального фоторождения из данных, полученных в экспериментах электророждения.

**Результаты и их обсуждение.** Используются экспериментальные данные, полученные на детекторе CLAS по рассеянию высокоэнергичных

электронов на водороде. Главной целью экспериментов было исследование электрон-протонного рассеяния в глубоко-неупругом режиме. При наборе данных использован триггер "одиночный электрон". Триггером первого порядка было совпадение сигналов от электромагнитного калориметра (ЕС) [5] и черенковского счетчика [6] в каждом из секторов установки CLAS.

В процессах рождения  $e^-e^+$  пар на электронных пучках в конечном состоянии присутствуют два электрона: рассеянный электрон пучка и продукт распада виртуального фотона или векторных мезонов. Наличие в конечном состоянии электронов дает возможность использовать полученные данные для извлечения событий квазиреального фоторождения, для чего необходимо отобрать события, в которых один из электронов, а именно провзаимодействовавший электрон пучка, рассеялся под очень маленьким углом  $\sim 0^\circ$ .

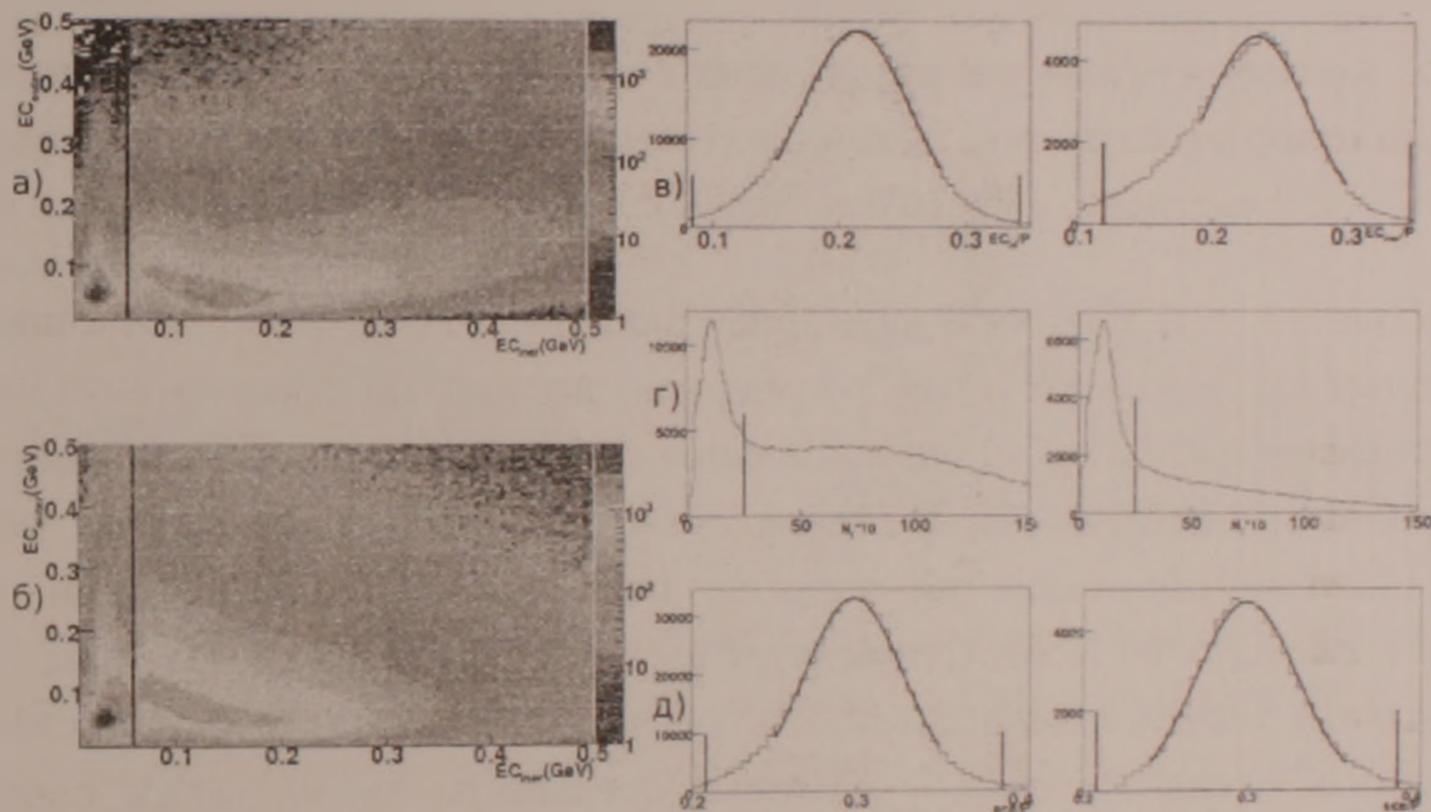


Рис. 1. Ограничения для идентификации частиц. а) и б) Двумерная зависимость энергии поглощенной во внешней части калориметра от энергии поглощенной во внутренней части калориметра соответственно для отрицательных и положительных частиц. в) распределение энергии отложенной во внутренних слоях ЕС нормализованной на импульс электрона, г) распределение числа черенковских фотонов, д) распределение полной энергии поглощенной в калориметре нормализованной на импульс электрона. Вертикальные линии показывают обрезания, наложенные на измеренные в эксперименте величины, с целью идентификации  $e^-$  (левая сторона рисунков в), г) и д)) и  $e^+$  (правая сторона рисунков в), г) и д)).

В основе процедуры идентификации электронов и позитронов лежат два факта: 1) электроны и позитроны в отличие от минимально ионизирующих частиц образуют в ЕС электромагнитный ливень, энергия которого прямо

пропорциональна начальной энергии электрона или позитрона, и величина  $\frac{E_{dep}}{E_0}$  ( $E_{dep}$  – поглощенная энергия в ЕС,  $E_0$  – начальная энергия) не зависит от начальной энергии; 2) до импульса 2.7 ГэВ/с в черенковском счетчике установки CLAS только электроны и позитроны излучают свет. Адроны в основном ливня не образуют, и потери энергии составляют 2 МэВ в каждом сцинтилляторном слое калориметра CLAS. Это значит, что в среднем адроны оставляют 30 МэВ во внутренней части калориметра и 48 МэВ во внешней [5].

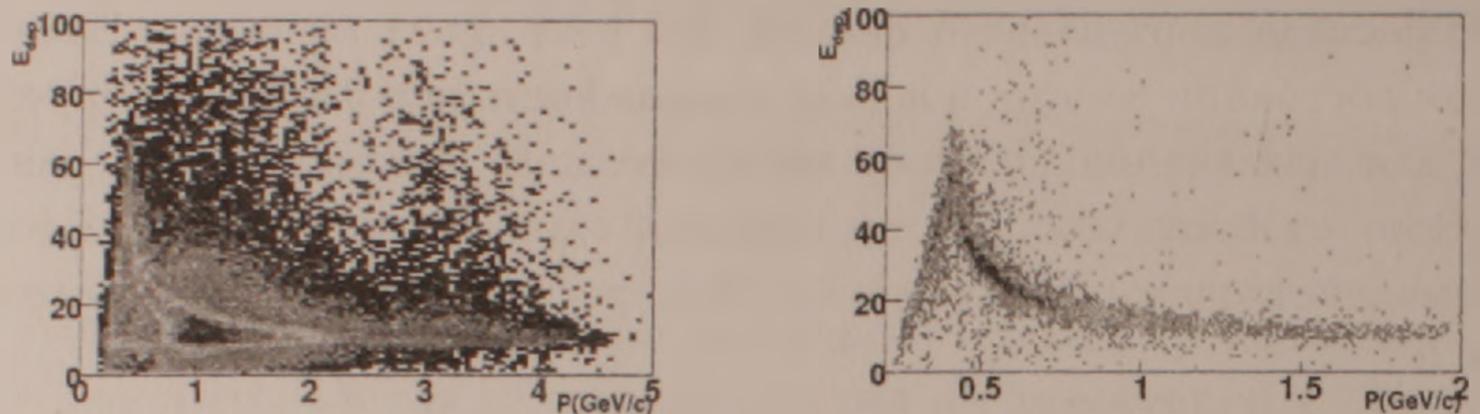


Рис. 2. Зависимость энергий, отложенных в сцинтилляторах время пролетного детектора от импульса частиц. Левый рисунок соответствует всем положительным частицам, а правый частицам с SEB индексом 2212.

На рис. 1, а, б показана двумерная зависимость энергии, поглощенной во внешней части калориметра, от энергии, поглощенной в его внутренней части. В точке (0.03:0.05)ГэВ видно сильное скопление, которое соответствует минимально ионизирующим частицам. Чтобы освободиться от таких частиц, было наложено обрезание на энергию поглощения во внутренней части калориметра  $E_{in} > 60$  МэВ. Существует вероятность, что адроны тоже будут образовывать ливень в калориметре, и эта вероятность растет в зависимости от толщины активной среды. Чтобы уменьшить число таких событий, распределения полной энергии  $E_{tot}$ , поглощенной во всем калориметре, и энергии  $E_{in}$ , поглощенной только в его внутренней части, рассматривались отдельно. Рассматривалось также и число фотоэлектронов  $N_{photons}$  в черенковском счетчике. Чтобы получить распределение вышеупомянутых величин для электронов и позитронов и определить области обрезания,  $\frac{E_{in}}{P}$ ,  $\frac{E_{tot}}{P}$ ,  $N_{photons}$  были построены отдельно, когда на  $E_{in}$  ( $E_{in} > 60$  МэВ) и на две остальные величины ставились "сильные" обрезания (это гарантирует, что частицы будут электронами (позитронами), с большой точностью). Эти распределения показаны на рис.1,в,г,д, где левая часть соответствует электронам, а правая позитронам. На рис. 1, в,д представлены распределения  $\frac{E_{in}}{P}$  и  $\frac{E_{tot}}{P}$ , соответственно, которые фитировались гауссовскими функциями, в результате чего получены средние ( $mean$ ) значения и дисперсия ( $\sigma$ ) этих функций. На рис. 1, г показано распределение фотоэлектронов в черенковском счетчике. События под резкими пиками в передней части в основном происходят от

случайных совпадений ложных сигналов в черенковском счетчике. Чтобы избавиться от этих сигналов, были наложены обрезания в точке  $N_{cut}$ , где резкость пиков быстро уменьшается. Таким образом, частица считалась электроном (позитроном), если она прошла через все обрезания:  $m_{e\mu} - 3\sigma < \frac{E_{\mu}}{P} < m_{e\mu} + 3\sigma$ ;  $m_{e\mu} - 3\sigma < \frac{E_{tot}}{P} < m_{e\mu} + 3\sigma$ ;  $N_{photons} > N_{cut}$ .

Для идентификации протонов проводился отбор положительно заряженных частиц согласно приписываемому им индексу пакета SEB [7]. Индекс протона 2212 приписывается с использованием измерения времени пролета частиц от мишени до сцинтилляционного счетчика. На рис. 2 приведены двумерные зависимости энергий, отложенных в сцинтилляторах время-пролетного детектора от импульса для положительно заряженных частиц (левое распределение) и кандидатов в протоны (правое распределение). Правое распределение строилось после отбора  $e^-e^+p'$  событий. И как видно, оно хорошо выделяется с помощью отбора по индексации SEB. Нужно отметить, что импульс протонов в TCS меньше 1 ГэВ/с.

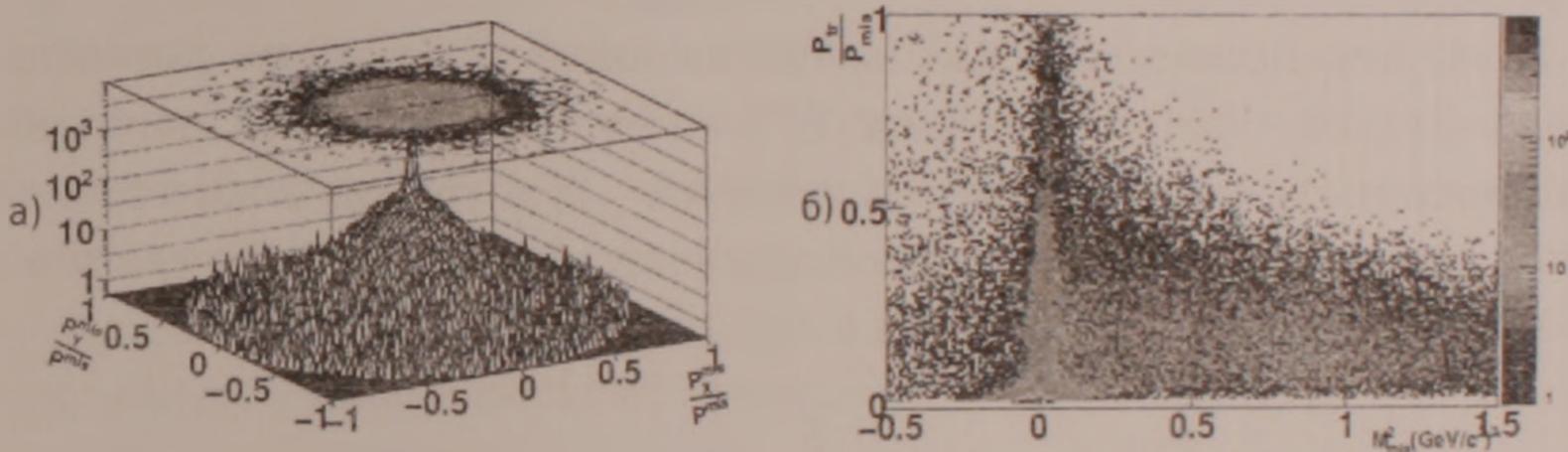


Рис. 3. Кинематика недостающей частицы: а -  $X$  доля недостающего импульса  $\frac{P_x}{P_{mis}}$  против  $Y$  доли  $\frac{P_y}{P_{mis}}$ ; б) двумерная зависимость поперечной компоненты недостающего импульса от квадрата недостающей массы для конечного  $e^-e^+p'$  состояния.

Следующим шагом для отбора частиц после применения всех вышеописанных обрезаний явилась идентификация конечного состояния посредством анализа недостающего импульса отобранных  $e^-e^+p'$  событий. На рис. 3,а приведены зависимости  $X$  и  $Y$  компонент недостающего импульса, нормализованные на полный недостающий импульс. Большой пик в нуле соответствует событиям, когда незарегистрированная частица летит по направлению пучка. На рис. 3,б приведена зависимость поперечной составляющей недостающего импульса  $\frac{P_{tr}}{P_{mis}} = \sqrt{\left(\frac{P_x^{mis}}{P_{mis}}\right)^2 + \left(\frac{P_y^{mis}}{P_{mis}}\right)^2}$  от квадрата недостающей массы  $M_{mis}^2$ . Накопления около нулевых значений,  $\frac{P_{tr}}{P_{mis}} = 0$  и  $M_{mis}^2 = 0$ , соответствуют событиям, когда налетающий электрон рассеивается под очень маленьким углом. Эти события соответствуют квазиреальному фоторождению  $e^-e^+$  пар в реакции  $ep \rightarrow e^-e^+p'(e')$ , так как виртуальность

промежуточного фотона очень мала:  $Q^2 < 5 \times 10^{-2}$ . Для отбора  $ep \rightarrow e^-e^+p'(e')$  событий были применены следующие ограничения:  $\frac{P_{tr}}{P_{mis}} < 0.05$ ,  $|M_{mis}^2| < 0.05(\frac{\text{ГэВ}}{c^2})^2$ .

**Отбор событий времяподобного комптоновского рассеяния (TCS).** В TCS электрон-позитронная пара образуется от распада виртуального фотона, однако  $e^-e^+$  пары могут быть также образованы от распада векторных мезонов. Чтобы отсеять события, образованные в результате распада мезонных резонансов, для отобранных  $e^-e^+p$  событий было построено распределение инвариантной массы  $e^-e^+$  системы. На рис. 4 четко видны пики, соответствующие  $\omega(782)$  и  $\varphi(1020)$  мезонам, распадающимся по  $e^-e^+$  каналу. Относительные вероятности этих распадов равны  $7.16 \times 10^{-5}$  и  $2.97 \times 10^{-4}$ , соответственно [8]. Широкое распределение под  $\omega(782)$  соответствует  $\rho(770) \rightarrow e^-e^+$  распаду, с относительной вероятностью  $4.71 \times 10^{-5}$ . Эти распределения очень похожи на те, что были получены при фоторождении  $e^-e^+$  пар [9]. Пик вблизи нуля соответствует  $\pi^0 \rightarrow e^-e^+\gamma$  распаду.

Итак, кинематическая область, где не имеется мезонных резонансов, а следовательно, можно проводить TCS анализ, определяется обрезанием по инвариантной массе  $M_{e^-e^+} > 1.2 \text{ ГэВ}/c^2$ . Для грубой количественной оценки отметим что для анализируемых данных общая собранная светимость составляла  $37 \text{ fb}^{-1}$ , а число событий с  $M_{e^-e^+} > 1.2 \text{ ГэВ}/c^2$  около 650.

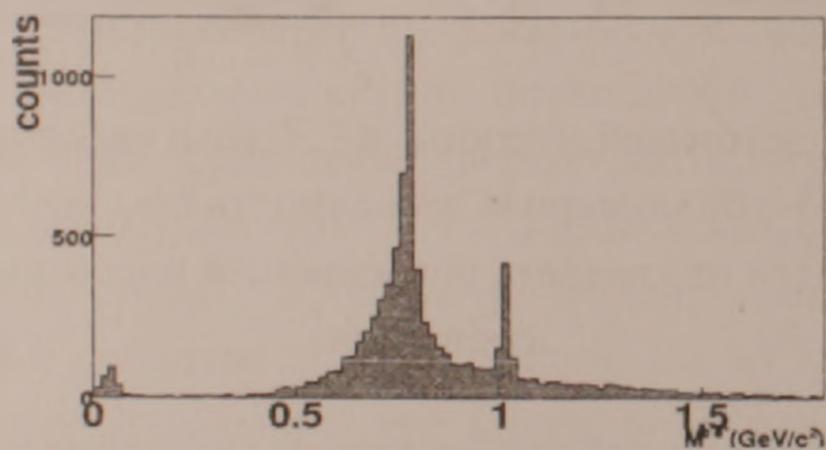


Рис. 4. Распределение инвариантной массы  $e^-e^+$  системы.

**Заключение.** Результаты проведенного анализа показали, что разработанная методика позволяет использовать данные, полученные в экспериментах электророждения на ядерных мишенях, для проведения анализа реакции по фоторождению. В статье рассматривалось рождение лептонных пар. Но эта методика может быть использована для любой реакции по фоторождению, где зарегистрировано полное адронное конечное состояние.

Ереванский физический институт имени А.И.Алиханяна

Р. Г. Паремузян

Извлечение событий квазиреального фоторождения из экспериментов  
электророждения на детекторе CLAS

Изучено фоторождение  $e^-e^+$  пар в реакции  $ep \rightarrow e^-e^+p'X$ , где  $e^-e^+$  – пары, образующиеся от распада векторных мезонов или виртуального фотона, а  $p'$  – протон отдачи. Приведен механизм селекции  $e^-e^+p'(e')$  конечного состояния, где кинематика рассеянного электрона  $e'$  выводилась из анализа недостающего импульса  $(e^-e^+p')$  системы. В работе использованы экспериментальные данные, полученные на установке CLAS в Лаборатории Джефферсона (США).

Ռ. Գ. Փարեմուզյան

Քվազի իրական ֆոտոռոճնման դեպքերի ընտրումը էլեկտրառոճնման փորձի փվյալներից

Ուսումնասիրվել է  $e^-e^+$  զույգի ֆոտոռոճնումը  $ep \rightarrow e^-e^+p'X$  ռեակցիայում, որտեղ  $e^-e^+$  կազմավորվում են վիրտուալ ֆոտոնի, կամ վեկտր մեզոնների փրոհումից, իսկ  $p'$  ցրված պրոտոնն է: Բերված է  $e^-e^+p'(e')$  վերջնական վիճակը ընտրելու մեխանիզմը, որտեղ  $e'$  ցրված էլեկտրոնի կինեմատիկական դուրս է բերվել  $(e^-e^+p')$  համակարգի չհերիքող (missing) իմպուլսի միջոցով: Աշխատանքը կատարվել է Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի (ԱՄՆ) CLAS գրանցիչով ստացված փվյալների հիման վրա:

R.G. Paremuzyan

Extraction of Quasi Real Photoproduction Events from the Experiments of  
Electroproduction

It was studied the photo production of  $e^-e^+$  pair in the  $ep \rightarrow e^-e^+p'X$  reaction, where  $e^-e^+$  are the decay products of the virtual photon, or vector mesons, and  $p'$  is the recoil proton. Mechanism of selection of the  $e^-e^+p'(e')$  final state, where kinematics of the scattered electron,  $e'$ , deduced from the missing momentum analysis of the  $e^-e^+p'$  system, is discussed. This work was performed using the experimental data obtained on the CLAS detector at Jefferson Lab (USA).

Литература

1. Ji X. - Phys. Rev. Lett. 1997. V. 78. P. 610-613. Phys. Rev. D. 1997. V. 55. P. 7114-7125.

2. *Radyushkin A.V.* - Phys. Rev. D. 1997. V. 56. P. 5524-5557.
3. *Berger E.R., Diehl M., Pire B.* - Phys. Lett. B. 2001. V. 523. P. 265-272.
4. *Mecking B.A., Adams G., Ahmad S. et al.* - NIM A. 2003. V. 503. P. 513-553.
5. *Amarian M., Asryan G., Beard K. et al.* - NIM A. 2001. V. 460. P. 239-265.
6. *Adams G., Burkert V., Carstensen T. et al.* - NIM A. 2001. V. 465. P. 414-427.
7. *Stepanyan S.* CLAS Particle Identification and Event Reconstruction Algorithm. 1998. [http://www.jlab.org/~stepanya/seb\\_man.html](http://www.jlab.org/~stepanya/seb_man.html),  
[http://clasweb.jlab.org/offline/offline\\_libs.html](http://clasweb.jlab.org/offline/offline_libs.html)
8. Particle Data Group. Physics Letter. 2008. V. B667.
9. *Wood M. H., Nasseripour R., Weygand D. P. et al.* (The CLAS Collaboration). - Phys. Rev. C. 2008. V. 78. P. 5201-5216.

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УДК 547.294.314.07

З. Т. Карапетян, А. С. Галстян, академик А. А. Аветисян

Синтез новых  
 2-(2-алкокси-3-бромпропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолидов

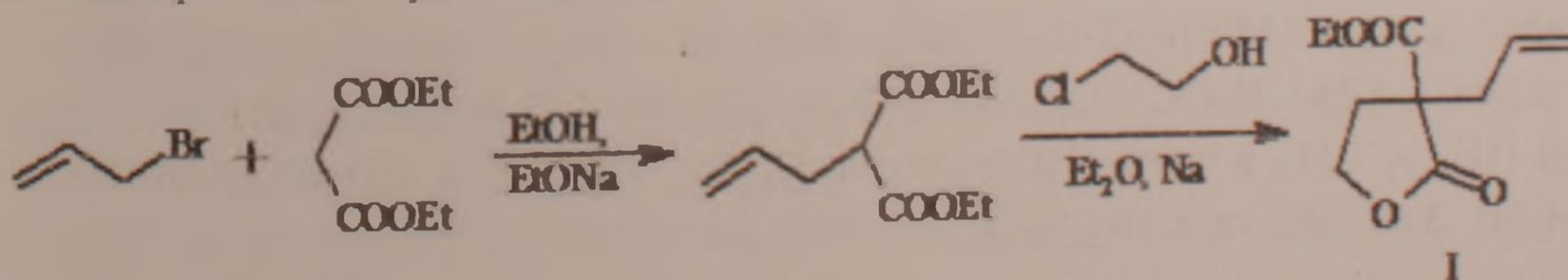
(Представлено 6/VII 2009)

Ключевые слова: 4-бутанолид, алкоксибромиды

Известны многие лекарственные препараты, как винилин (поливинил-бутиловый эфир), применяемый для регенерации тканей при обморожениях, ожогах, воспалительных заболеваниях; ацитретин, лечащий псориазные эритродермы, действие которого связано со способностью процессов обновления клеток кожи; галидор (1-бензил-1-(3-диметиламинопропокси)циклогептана) фумарат, оказывающий миотропное спазмолитическое и сосудорасширяющее действие, и др., содержащие в своем составе алкокси функциональную группу [1]. Димедрол (гидрохлорид β-диметиламино этиловый эфир бензгидрола) также относится к группе арилалкифатических эфиров, применяемых как противоаллергическое средство [2]. Кроме этого они являются промежуточными синтонами для синтеза разных органических соединений [3, 4].

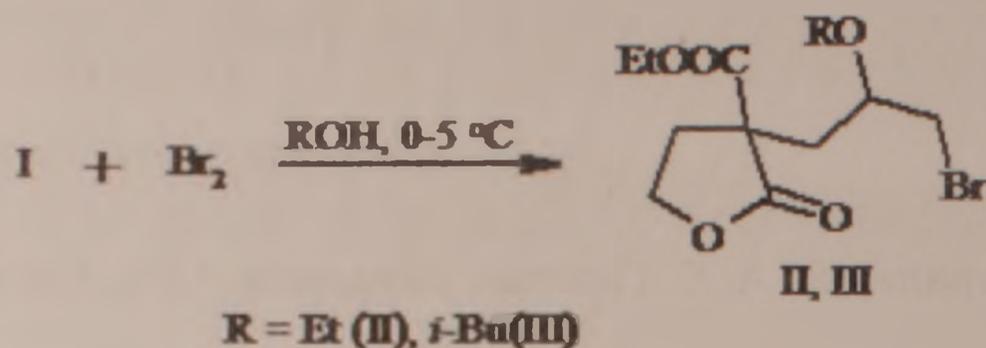
Введение алкоксибромной функции в лактонное кольцо, в частности при С-2, не изучено, и в настоящей статье представлены исследования алкоксибромирования 2-аллил-2-этоксикарбонил-4-бутанолида.

С этой целью взаимодействием аллилмалонового эфира с этиленхлоридом в присутствии натрия в абсолютном эфире получен 2-аллил-2-этоксикарбонил-4-бутанолид [5]:



Далее нами была исследована реакция бромирования в этаноле и изобутаноле, изучены и разработаны оптимальные условия реакции.

Установлено, что реакция осуществляется при температуре 0-5°C при соотношении реагентов 1:1 и приводит к образованию 2-(3-бром-2-этоксипропил)- и 2-(3-бром-2-изо-бутоксипропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолидов с хорошими выходами:



Строение новых соединений, которые могут явиться перспективными синтонами для построения новых молекул типа лактон-лекарства, лактон-витамины, лактон-гетероциклы, доказано данными ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  спектров, их индивидуальность – методом ТСХ.

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  получены при 30°C на спектрометре "Varian Mercury-300" с рабочей частотой 300 МГц в ДМСО- $d_6$ , внутренний стандарт ГМДС. ИК спектры сняты на спектрофотометре UR-20 и Specord 75-IR в тонком слое. Индивидуальность и чистота полученных соединений установлены методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254, проявленных парами йода.

**2-Аллил-2-этоксикарбонил-4-бутанолид (I).** К эфирному раствору натриевой соли аллилмалонового эфира, приготовленного из 12.5 г (0.5 моля) натрия и 100 г (0.5 моля) аллилмалонового эфира в 150 мл абсолютного эфира, прикапывают 43.5 г (0.54 моля) этиленхлоргидрина и нагревают 8 ч. После охлаждения к реакционной массе добавляют воду до полного растворения осадка, экстрагируют эфиром. Эфирный раствор сушат над  $\text{MgSO}_4$  и перегоняют в вакууме. Выход 63.4 г (64 %), т.кип. 145°C/ 2 мм,  $n_D^{20}$  1.4570 [5].

**2-(3-Бром-2-этоксипропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолид (II).** К раствору 14.85 г (0.075 моля) бутанолида I в 45 мл этанола при 0-5°C прикапывают раствор 12 г (0.075 моля) брома в 10 мл бензола. Оставляют 60 ч при комнатной температуре. Далее из реакционной смеси удаляют  $\text{HBr}$  и избыток растворителя, остаток перегоняют. Выход 10 г (41 %), т.кип. 152-155°C/ 2 мм,  $n_D^{20}$  1.4930.  $R_f$  0.49 (EtOH :  $n\text{-C}_6\text{H}_{14}$  - 1 : 1). Найдено, %: Br 24.89.  $\text{C}_{12}\text{H}_{19}\text{BrO}_5$ . Вычислено, %: Br 24.72. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1780 (C=O в цикле), 1730 (C=O в эфире), 1140-1180 (C-O-C). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м.д.: 1.10 (3H, т,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$ ), 1.29 (3H, т,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OC}=\text{O}$ ), 2.13 (2H, дд,  $\text{CH}_2\text{CHO}$ ), 2.29 (1H, м,  $\text{CH}_2$ , в цикле), 2.54 (1H, м,  $\text{CH}_2$ , в цикле), 3.25 (1H, м,  $\text{CHO}$ ), 3.31 (1H, м,  $\text{CH}_2\text{Br}$ ), 3.56 (1H, м,  $\text{CH}_2\text{Br}$ ), 3.88 (2H, кв,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$ ), 4.21 (2H, кв,  $\text{CH}_2\text{OC}=\text{O}$ ), 4.32 (2H, м,  $\text{CH}_2\text{O}$ , в

цикле).

**2-(3-Бром-2-изо-бутоксипропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолид (III).** К раствору 9.9 г (0.05 моля) бутанолида I в 30 мл изо-бутанола при 0-5°C прикапывают раствор 8 г (0.05 моля) брома в 10 мл бензола. Оставляют 60 ч при комнатной температуре. Далее из реакционной смеси удаляют НВг и избыток растворителя, остаток перегоняют. Выход 9 г (51 %), т. кип. 162°C/ 2 мм,  $n_D^{20}$  1.4770.  $R_f$  0.42 (EtOH : н-С<sub>6</sub>Н<sub>14</sub> - 1 : 1). Найдено, %: Br 22.97. С<sub>14</sub>Н<sub>23</sub>BrO<sub>5</sub>. Вычислено, %: Br 22.75. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1780 (C=O в цикле), 1730 (C=O в эфире), 1150-1190 (C-O-C). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м.д.: 0.91 (6H, д, CH<sub>3</sub>, *i*-Bu), 1.29 (3H, т, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>O), 1.70 (1H, м, CH, *i*-Bu), 2.12 (2H, дд, CH<sub>2</sub>CHO), 2.29 (1H, м, CH<sub>2</sub>, в цикле), 2.54 (1H, м, CH<sub>2</sub>, в цикле), 3.25 (1H, м, CHO), 3.40 (2H, м, CH<sub>2</sub>O), 3.51 (2H, м, CH<sub>2</sub>Br), 4.21 (2H, кв, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>O), 4.31 (2H, м, CH<sub>2</sub>O, в цикле).

Ереванский государственный университет

**З. Т. Карапетян, А. С. Галстян, академик А. А. Аветисян**

**Синтез новых 2-(2-алкокси-3-бромпропил)-2-этоксикарбонил-4-бутанолидов**

Бромированием 2-аллил-2-этоксикарбонил-4-бутанолида в среде этанола и изо-бутанола осуществлен синтез новых замещенных при С-2 алкоксибромлактонов.

**Ջ. Թ. Կարապետյան, Ա. Ս. Գալստյան, ակադեմիկոս Ա. Ա. Ավետիսյան**

**Նոր 2-(2-ալկոքսի-3-բրոմպրոպիլ)-2-էթօքսիկարբոնիլ-4-բութանոլիդների սինթեզ**

Իրականացվել է նոր ալկոքսիբրոմլակտոնների սինթեզ 2-ալիլ-2-էթօքսիկարբոնիլ-4-բութանոլիդի բրոմացումով էթանոլում եւ իզո-բութանոլում:

**Z. T. Karapetyan, A. S. Galstyan, academician A. A. Avetisyan**

**New 2-(2-Alkoxy-3-Bromopropyl)-2-Ethoxycarbonyl-4-Butanolids Synthesis**

The interaction of 2-allyl-2-ethoxycarbonyl-4-butanolids with bromine in medium ethanols and *i*-butanols lead to formation of new 2-(2-alkoxy-3-bromopropyl)-2-ethoxycarbonyl-4-butanolids

## Литература

1. *Машковский М.Д.* Лекарственные средства. М. Новая волна. Т. 1. 2000; Т. 2. 2000.
2. *Беликов В.Г.* Фармацевтическая химия. М. Высшая школа. 1985.
3. *Органикум.* М. Мир. 1979.
4. *Вейганд-Хильгетаг.* Методы эксперимента в органической химии. М. Химия. 1968.
5. *Карапетян З.Т., Дангян М.Т.* - Арм. хим. ж. 1979. Т. 22. N 7. С. 564.

ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ

ՈՒՏԴ 577.15.04+577.3+591.39

Ա. Ա. Սիմոնյան, Ն. Դ. Սիմոնյան, Ա. Ս. Մարգարյան, Ի. Ն. Բապիկյան

ԱՏՖ-ֆոսֆոհիդրոլազային ակտիվության առանձնահատկությունները  
Սեւանի կողակի երկու սեռերի հյուսվածքներից անջատված  
միտոքոնդրիումներում

(Ներկայացված է ակադեմիկոս Կ.Գ. Ղարազյոզյանի կողմից 24/VI 2009)

Առանցքային բառեր. *Սեւանի կողակ, միտոքոնդրիումներ,  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ -,  $HCO_3^-$  – կախյալ ԱՏՖազներ*

Վերջին տասնամյակների ընթացքում բազմաթիվ հետազոտություններ են կատարվել Սեւանա լճի էկոլոգիական համակարգի գլոբալ փոփոխությունների եւ դրա հետ կապված կենդանական աշխարհի հնարավոր պահպանության վերաբերյալ [1-5]: Արվել են տեսական եւ գործնական բնույթի բազմաթիվ առաջարկություններ, որոնք, անշուշտ, օգտակար են լճի կենսաբանական եւ էկոլոգիական իրավիճակը կարգավորելու համար: Սակայն դեռեւս սիստեմատիկ հետազոտություններ չեն կատարվել լճում էնդեմիկ ձկների հյուսվածքներում մոլեկուլային մակարդակով կենսաքիմիական ռեակցիաների փոփոխությունների վերաբերյալ, որոնք անմիջականորեն առնչվում են ջրի քիմիական բաղադրությանը եւ ջերմային ռեժիմի մեջ առկա գլոբալ փոփոխություններին:

Ներկայացվող աշխատանքում մենք հետազոտել ենք  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - եւ  $HCO_3^-$  – կախյալ ԱՏՖազների ակտիվության տեղաշարժերը Սեւանի կողակի (*Varicorhinus capoeta sevangi*, Filippi) փարբեր հյուսվածքներից անջատված միտոքոնդրիումներում: Հարկապես ուշադրություն է դարձվել ֆերմենտի կատալիտիկ ակտիվության տեղաշարժերին, որոնք յուրահատուկ բնույթ ունեն փարբեր սեռերի պատկանող ձկների մոտ:

Հետազոտությունները կատարվել են աշնանային շրջանում՝ հոկտեմբեր-նոյեմբեր ամիսների ընթացքում: Հետազոտության համար օգտագործվել են կողակի սեռահասուն, երկսեռ ձկներ: Միտոքոնդրիումների անջատումը եւ ԱՏՖ-ֆոսֆոհիդրոլազայի

ակտիվության որոշումը կատարվել են ըստ Սկուլաչովի [6], Սիմոնյանի [7] կողմից առաջարկված փոփոխություններով:

Ուղեղից, լյարդից եւ երիկամներից անջատված միպոքոնդրիումներում փարբեր ԱՏՖազների կաթալիպիկ ակտիվության վերաբերյալ փոփոխությունները բերված են աղ. 1-ում: Ինչպես ցույց են տալիս բերված տվյալները, կողակի արուների ուղեղից անջատված միպոքոնդրիումներում ԱՏՖազների ակտիվությունը գրեթե երկու անգամ գերազանցում է էգերինը: Նման պատկեր դիտվել է նաեւ  $Mg^{2+}$  – եւ  $Ca^{2+}$  – կախյալ ֆերմենտների ակտիվության մեջ: Բերված արդյունքները ցույց են տալիս նաեւ, որ ավելացված  $Mg$ -ի եւ  $Ca$ -ի իոնները համանման ակտիվացնող ներգործություն ունեն ֆերմենտային կաթալիպի վրա: Սակայն փորձի նույն պայմաններում ավելացված  $HCO_3^-$  – ը հավասարի (54-55%) ճնշում է ֆերմենտի ակտիվությունը ինչպես արու, այնպես էլ էգ ձկների ուղեղում:

### Աղյուսակ 1

$Mg^{2+}$  – ,  $Ca^{2+}$  – եւ  $HCO_3^-$  – կախյալ ԱՏՖազների ակտիվության տեղաշարժերը Սեւանի կողակի ուղեղի, լյարդի եւ երիկամների միպոքոնդրիումներում ( $\Delta P$  մկապոմ / մգ սպիրակուցին / 30 րոպե)  $M \pm S. M. E.$ ;  $n = 12$

Ձկան սեռը	Սպուզիչ (առանց ակտիվա-տորի)	$Mg^{2+}$	% սպու-զիչի հա-մեմա-տու-թյամբ	$Ca^{2+}$	% սպու-զիչի հա-մեմա-տու-թյամբ	$HCO_3^-$	% սպու-զիչի հա-մեմա-տու-թյամբ
ուղեղ							
էգ	$0.96 \pm 0.07$	$1.19 \pm 0.07$	24	$1.54 \pm 0.05$	60	$0.44 \pm 0.05$	-54
		$P < 0.050$		$P < 0.001$		$P < 0.001$	
արու	$1.89 \pm 0.12$	$2.36 \pm 0.10$	25	$2.91 \pm 0.10$	54	$0.85 \pm 0.06$	-55
		$P < 0.010$		$P < 0.001$		$P < 0.001$	
լյարդ							
էգ	$0.74 \pm 0.03$	$0.99 \pm 0.02$	33	$0.90 \pm 0.05$	22	$0.72 \pm 0.05$	-3
		$P < 0.001$		$P < 0.001$		$P < 0.500$	
արու	$1.01 \pm 0.03$	$1.29 \pm 0.02$	28	$1.28 \pm 0.01$	27	$1.12 \pm 0.10$	11
		$P < 0.001$		$P < 0.001$		$P < 0.200$	
երիկամներ							
էգ	$1.91 \pm 0.45$	$1.97 \pm 0.45$	3	$1.99 \pm 0.44$	4	$0.88 \pm 0.17$	-54
		$P < 0.500$		$P < 0.500$		$P < 0.050$	
արու	$1.88 \pm 0.25$	$2.16 \pm 0.19$	15	$2.40 \pm 0.17$	28	$1.21 \pm 0.17$	-36
		$P < 0.200$		$P < 0.001$		$P < 0.050$	

Հեքազոտություններից սրացված տվյալների համեմատական անալիզը ցույց է տալիս, որ ԱՏՖագի կաբալիտիկ ակտիվության համանման տեղաշարժեր դիտվում են նաև կողակի լարդից եւ երիկամներից անջատված միտոքոնդրիումներում (աղ. 1):

Աղյուսակ 2

$Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - եւ  $HCO_3^-$ -կախյալ ԱՏՖագների ակտիվության տեղաշարժերը Սեւանի կողակի սրտամկանի, կմախքային մկանների եւ փայծաղի միտոքոնդրիումներում ( $\Delta P$  մկապում / մգ սպիտակուցին / 30 րոպե)  $M \pm S. M. E.; n = 12$

Չկան սեռը	Սպուգիչ (առանց ակտիվա-տորի)	$Mg^{2+}$	% սպու-գիչի համե-մատու-թյամբ	$Ca^{2+}$	% սպու-գիչի համե-մատու-թյամբ	$HCO_3^-$	% սպու-գիչի համե-մատու-թյամբ
սրտամկան							
էգ	$6.67 \pm 0.11$	$12.85 \pm 0.13$ $P < 0.001$	93	$14.53 \pm 0.63$ $P < 0.001$	118	$2.86 \pm 0.42$ $P < 0.001$	-57
արու	$4.18 \pm 0.03$	$8.37 \pm 0.75$ $P < 0.001$	100	$12.45 \pm 1.42$ $P < 0.001$	198	$2.14 \pm 0.16$ $P < 0.001$	-49
կմախքային մկաններ							
էգ	$3.86 \pm 0.08$	$4.62 \pm 0.07$ $P < 0.001$	20	$4.15 \pm 0.10$ $P < 0.050$	8	$0.98 \pm 0.07$ $P < 0.001$	-75
արու	$4.81 \pm 0.17$	$5.31 \pm 0.11$ $P < 0.010$	10	$4.79 \pm 0.08$ $P < 0.500$	-	$1.02 \pm 0.08$ $P < 0.001$	-112
փայծաղ							
էգ	$0.88 \pm 0.10$	$1.26 \pm 0.04$ $P < 0.005$	43	$1.68 \pm 0.08$ $P < 0.001$	91	$0.51 \pm 0.08$ $P < 0.010$	-42
արու	$4.40 \pm 0.72$	$5.00 \pm 0.59$ $P < 0.400$	14	$5.46 \pm 0.60$ $P < 0.200$	24	$2.29 \pm 0.22$ $P < 0.025$	-48

Կատարված հեքազոտություններից ուշադրության արժանի արդյունքներ են սրացվել նաև սրտամկանից, կմախքային մկաններից եւ փայծաղից անջատված միտոքոնդրիումներում ԱՏՖագների կաբալիտիկ ակտիվությունների փոփոխությունների վերաբերյալ (աղ. 2): Այդ դեպքում կմախքային մկաններից եւ փայծաղից անջատված միտոքոնդրիումներում ֆերմենտի ակտիվության տեղաշարժերը երկու սեռերին պարականոն կողակի մոտ համանման են ուղեղից եւ լարդից անջատված միտոքոնդրիումներին. արուների մոտ էզերի համեմատությամբ այն հավասարի աճել է: Սակայն սրտամկանի միտոքոնդրիումներում դիտվել է հակառակ պատկերը. էզերի սրտամկանում ֆերմենտի ակտիվությունը նկատելիորեն բարձր է արուների

համեմատությամբ: Այդ օրինաչափությունը պահպանվել է նաև  $Mg$  եւ  $Ca$  իոնների ավելացման դեպքում: Այս փորձերի բոլոր փարբերակներում  $HCO_3^-$ -ը սպուգիչ փորձերի համեմատությամբ նույնպես զգալիորեն ճնշել է ԱՏՖազայի կապալիփիկ ակտիվությունը:

Ամփոփելով հեփազոփություններից ստացված արդյունքները՝ կարելի է ընդգծել, որ Սեւանի կողակի երկու սեռերին պարկանող ձկների փարբեր հյուսվածքներից անջատված միփոքոնդրիումներում  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - եւ  $HCO_3^-$ -կախյալ ԱՏՖազների կապալիփիկ ակտիվությունը օժտված է օրգանային որոշակի առանձնահատկություններով: Բացի սրտամկանից, ուսումնասիրված բոլոր օրգանոիդների միփոքոնդրիումներում ֆերմենտի ակտիվությունը էզերի համեմատությամբ հավասարի բարձր է արտուների նույն օրգանոիդներում:  $Mg$  եւ  $Ca$  իոնները զգալիորեն խթանում են ֆերմենտի ակտիվությունը, իսկ  $HCO_3^-$ -ը գրեթե կիսով չափ ճնշում է մակրոտրզերի կապալիփիկ պրոցեսը: Հայտնի է, որ անիոնային ԱՏՖազները, որպես հիդրոլիփիկ ֆերմենտների փարածված դաս, փեղակայված են կենդանական ու բուսական բջիջների միփոքոնդրիումներում եւ բջջային այլ կառուցվածքներում, աչքի են ընկնում կապալիփիկ ակտիվության դրսեւորման ընդգծված առանձնահատկություններով [8]: Մեր նախորդ հեփազոփություններում [9-10] ցույց էր տրվել, որ սպիտակ առնետների ուղեղի ու լյարդի միփոքոնդրիումներում, սպուգիչ փորձերի համեմատությամբ,  $HCO_3^-$ -ի ներկայությամբ ԱՏՖազայի ակտիվությունը հավասարի աճում է: Համադրելով այդ տվյալները Սեւանի կողակի փարբեր հյուսվածքների միփոքոնդրիումներում անիոնային ԱՏՖազայի ակտիվության հեփ՝ կարելի է եզրակացնել, որ այդ ֆերմենտը ողնաշարավորների շարքում օժտված է ոչ միայն օրգանային, սեռային, այլեւ փեսակային որոշակի առանձնահատկություններով:

ՀՀ ԳԱԱ Հ. Խ. Բունիաթյանի անվան կենսաքիմիայի ինստիտուտ

Ա. Ա. Սիմոնյան, Ն. Դ. Սիմոնյան, Ա. Ս. Մարգարյան, Ի. Ն. Բափիկյան

**ԱՏՖ-ֆոսֆոհիդրոլազային ակտիվության առանձնահատկությունները Սեւանի կողակի երկու սեռերի հյուսվածքներից անջատված միփոքոնդրիումներում**

Աշխատանքում ներկայացվել են  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - եւ  $HCO_3^-$ -ԱՏՖազների ակտիվության փեղաշարժերը Սեւանի կողակի երկու սեռերին պարկանող օրգանիզմների փարբեր հյուսվածքներից ստացված միփոքոնդրիումներում: Ցույց է տրվել, որ արու ձկների հյուսվածքներում ֆերմենտի ակտիվությունը զգալիորեն բարձր է էզերի համեմատությամբ: Մազնեզիումի եւ կալցիումի իոնները զգալիորեն խթանում են ֆերմենտի ակտիվությունը, մինչդեռ  $HCO_3^-$ -ը հավասարի ճնշում է կապալիփիկ պրոցեսը: Համադրելով ներկայացված եւ նախկինում մեր կողմից կատարված աշխատանքների արդյունքները՝ հեփեւություն է արվում, որ Սեւանի

կողակի միտոքոնդրիումային ԱՏՖազան օժրված է ոչ միայն հյուսվածքային, սեռային, այլև փեսակային որոշակի առանձնահատկություններով:

А. А. Симонян, Н. Д. Симонян, А. С. Маргарян, И. Г. Батикян

Специфика АТФ-фосфогидролазной активности в изолированных митохондриях тканей Севанской храмули обоих полов

Представлены сдвиги активности  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - и  $HCO_3^-$ -АТФаз в изолированных митохондриях Севанской храмули обоих полов. Показано, что в тканях самцов активность фермента несколько превалирует над активностью фермента самок. Ионы магния и кальция заметно стимулируют активность фермента, однако  $HCO_3^-$  достоверно угнетает катализ макроэргов. Сопоставляя настоящие и полученные нами предыдущие результаты исследований можно заключить, что митохондриальные АТФазы Севанской храмули наделены не только тканевыми, половыми, но и определенными видовыми специфичностями.

A. A. Simonyan, N. D. Simonyan, A. S. Margaryan, I. H. Batikyan

The Sexual Difference Of Mitochondrial ATP-Phosphohydrolase Activity in the Lake Sevan Khramulya

The changes of  $Mg^{2+}$ -,  $Ca^{2+}$ - and  $HCO_3^-$ -dependent ATPases activity in isolated mitochondrion from male and female of the Lake Sevan khramulya are shown. The enzyme activity in the male fish tissues was higher compared to the female ones. Magnesium and calcium ions significantly stimulated the enzyme activity, however  $HCO_3^-$ -anion inhibited the catalysis of macroerges. Comparing the results of these and previous studies, we made a conclusion, that there are tissue, sexual and specific differences in the Lake Sevan khramulya mitochondrial ATPases.

Литература

1. *Simonian A., Gabrielian B., Rubenian H., Harutunian S.* - In: Lake Sevan: problems and strategies of action. Proceedings of the international conference. Sevan. Armenia. 13-16 october. 1996. P. 96-98.
2. *Hovhannisian R.O., Gabrielian B.K.* Ecological problems associated with the biological resource use of Lake Sevan, Armenia. Ecological engineering. 2000.
3. *Рубенян А.Р., Рубенян Т.Г.* - III конф. РЕЦ Кавказ: Устойчивое развитие горных регионов Кавказа. Грузия. Тбилиси. 2003. С. 54-58.

4. Рубенян А.Р., Аракелян А.А. - Биол. журн. Армении. 2003. Т. 55. N1. С. 80-84.
5. Оганесян Р.О., Мирзоян С.А. Проблема озера Севан. Ереван. Изд. "Гитутюн" НАН РА. 2005. 231 с.
6. Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. М. Наука. 1989. 564 с.
7. Симонян А. А., Симонян Л. А., Маргарян А.С., Бадалян Р. Б., Симонян Р. А., Галоян А. А. - Нейрохимия. 2004. Т. 21. N3. С. 205-207.
8. Иващенко А.Г. Анионные аденозинтрифосфатазы. Изд. "Наука" КазССР. 1982. 138 с.
9. Симонян А. А., Маргарян А.С., Батикян И.Г., Бадалян Р. Б., Симонян Л. А. - Нейрохимия. 2006. Т. 23. N2. С. 127-130.
10. Маргарян А.С. - Биол. журн. Армении. 2005. Т. 57. N1-2. С. 77-81.

БИОХИМИЯ

УДК 616.24-002.5 + 547.953 + 661.732.9 + 54-39 + 547.461.3

Академик К.Г. Карагезян, М.Д. Сафарян, С.С. Овакимян, О.М. Амирханян

Особенности корригирующего действия сверхнизких концентраций  
кальциевого преципитата двуспиральной РНК на нарушенные звенья  
липидного метаболизма у морских свинок с туберкулезным  
воспалением легких

(Представлено 2/Х 2009)

*Ключевые слова: туберкулез легких, фосфолипиды, жирные кислоты, свободно-радикальное окисление, малоновый диальдегид*

Согласно сообщениям научной литературы [1] цельная кровь и ткани млекопитающих отличаются высоким уровнем незэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК), преимущественно полиенового ряда, среди которых арахидоновой кислоте как физиологически активному соединению придается особое значение. Отличаясь исключительно высокой степенью метаболической активности, НЭЖК в подавляющем большинстве случаев определяются в составе важнейших мембраносвязанных фосфолипидов (ФЛ), главным образом кислой природы (КФЛ) [2-6]. Подвергаясь интенсивно протекающим реакциям деацилирования под действием чрезмерно активированной фосфолипазы  $A_2$ , что особенно отчетливо проявляется при различных болезненных состояниях организма. ФЛ-глицериды выступают в роли субстратов для образования высоких концентраций лизо-ФЛ, преимущественно лизофосфатидилхолинов (ЛФХ), ненасыщенных жирных кислот (ЖК) и продуктов их свободнорадикального окисления (СРО), в частности малонового диальдегида (МДА). Имеющиеся сведения являются прямым указанием на существенное изменение при различных болезненных состояниях, в том числе и туберкулезном воспалении легких (ТБВЛ), жирнокислотного состава и ФЛ легочной ткани [7], что послужило основанием для проведения специальных исследований с целью выяснения особенностей качественно-количественных

изменений НЭЖК в ней и цельной крови подопытных животных с моделированным ТБВЛ.

В последнее время успешно развивается точка зрения об исключительной терапевтической эффективности так называемых сверхмалых доз химических и физических факторов, в том числе различных природных и синтетических физиологически активных соединений и лекарственных препаратов [8,9]. Многочисленные экспериментальные исследования подтверждают возможность достижения высокого уровня корригирующей активности при испытании указанных соединений в концентрациях  $10^{-12}$  М и ниже [10], а также использовании физических факторов сверхнизкой интенсивности, например низкоэнергетического инфракрасного гелиум-неонового лазерного облучения [11].

В настоящем исследовании рассматриваются особенности нормализующего действия дрожжевой низкомолекулярной двуспиральной РНК ( $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК), модифицированной в Институте молекулярной биологии НАН РА [12].

Исследования проводили на 30 морских свинках 2-месячного возраста массой 250-300 г, зараженных культурой МБТ штамма Н<sub>37</sub> в дозе 0.0001 мг путем подкожной инъекции в паховую область. По истечении 30 дней на фоне ярко выраженного ТБВЛ производили 10- и 20-дневное внутрибрюшинное введение каждой группе животных  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, растворенную в физ.растворе из расчета 150 мкг/весь вес. Контролем служили 10 больных животных, не подвергнутых действию изучаемого соединения. По истечении отмеченных сроков производили эвтаназию животных под легким эфирным наркозом. Получение ацетоновых порошков гомогенатов легочной ткани, предварительно освобожденных на холоду от оболочек и кровеносных сосудов [13], экстракцию и фракционирование индивидуальных представителей ФЛ осуществляли методом одномерной восходящей хроматографии в тонком слое силикагеля в системе растворителей хлороформ - метанол - аммиак (65:35:5).

Изолирование и фракционирование НЭЖК проводили на колонках с силикагелем с определением их метиловых эфиров методом газовой хроматографии (Рау Unicom, Англия). Для количественного подсчета содержания отдельных фракций НЭЖК в качестве внутренних стандартов использовали образцы невроновой и лигноцериновой кислот [14] производства "Сигма" (США).

Согласно результатам проведенных исследований, приведенным в табл. 1, развитая форма ТБВЛ характеризуется образованием в легочной ткани высоких концентраций НЭЖК, обладающих ярко выраженным мембранотоксическим, мембранолитическим действием.

Уже на 10-й день развития ТБВЛ констатировалось отчетливо проявляющееся понижение уровня насыщенных пальмитиновой ( $C_{16:0}$ ) и стеариновой ( $C_{18:0}$ ) кислот на фоне ярко выраженного стабильного гипергликемического показателя. Отмеченный сдвиг мы склонны объяснить их интенсивным вовлечением в реакции ацилирования лизопроизводных ФЛ, преимущественно ЛФХ, образующихся в результате деацилирования ФЛ-глицеридов нейтрального ряда, главным образом фосфатидилхолинов, под действием чрезмерно активированной фосфолипазы  $A_2$ .

Таблица 1

Особенности изменения количественного содержания НЭЖК насыщенного и полиенового ряда (в мг%) в легочной ткани морских свинок с ТБВЛ и под действием  $Ca^{2+}$ -дс-РНК в течение 10 и 20 дней

Жирные кислоты	Контроль	ТБВЛ	$Ca^{2+}$ -дс-РНК, 10 дней	$Ca^{2+}$ -дс-РНК, 20 дней
Пальмитиновая $C_{16:0}$	20.30 ± 0.51	15.40 ± 0.51*	17.10 ± 0.51*	20.50 ± 0.51**
Стеариновая $C_{18:0}$	30.50 ± 0.63	23.19 ± 0.81*	27.66 ± 0.59*	33.30 ± 0.91**
Олеиновая $C_{18:1}$	34.70 ± 0.73	36.90 ± 0.59*	30.62 ± 0.57*	34.10 ± 0.70***
Линолевая $C_{18:2}$	4.40 ± 0.37	5.90 ± 0.39*	12.61 ± 0.27*	4.80 ± 0.29***
Линоленовая $C_{18:3}$	3.70 ± 0.22	5.10 ± 0.19*	1.50 ± 0.21*	3.80 ± 0.51***
Арахидоновая $C_{20:4}$	6.40 ± 0.57	13.51 ± 0.61*	10.51 ± 0.49*	6.20 ± 0.53***
Сумма насыщенных ЖК $C_{16:0} + C_{18:1}$ (А)	50.80 ± 0.57	38.59 ± 0.49*	44.76 ± 0.43*	53.80 ± 0.47**
Сумма ненасыщенных ЖК $C_{18:1} + C_{20:4}$ (В)	49.20 ± 0.33	61.41 ± 0.37*	55.24 ± 0.32*	48.90 ± 0.33**
Коэффициент А/В	1.03	0.63*	0.81*	1.10**

Примечание:  $n = 12$ ; \* –  $P < 0.001$ ; \*\* –  $P < 0.01$ ; \*\*\* –  $P > 0.5$

Этим и объясняется, с одной стороны, увеличение при ТБВЛ количества ЛФХ, с другой, возрастание уровня НЭЖК полиенового ряда. Отмеченный сдвиг оказывается наиболее наглядным в отношении арахидоновой кислоты, функциональная роль которой в различных тканях заслуживает пристального внимания [9].

Результаты исследований последних лет [14] проливают существенный свет на современное понимание роли мембраносвязанных полифосфоинозитидов в реализации каскада постоянно совершающихся процессов трансдукции внешних сигналов внутрь клетки как факторов, стимулирующих системы клеточной активности.

Применение на фоне ТБВЛ  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК в сверхмалых концентрациях ( $10^{-12}$  М) в течение 10 дней способствовало проявлению отчетливо выраженной тенденции к восстановлению исходных уровней изучаемых веществ и их количественных соотношений, хотя и полученные данные продолжали оставаться статистически достоверно отстающими от контрольных величин. Продление срока применения  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК до 20 дней способствовало окончательному упорядочению описанных нарушений в жирнокислотном составе легочной ткани животных с моделированным ТБВЛ.

Примечательно, что аналогичные закономерности были зарегистрированы и в динамике количественных сдвигов конечного продукта СРО липидов – МДА [7].

Как вытекает из данных табл. 2, при 10-дневном действии сверхмалых доз  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК наблюдается четко выраженная тенденция к упорядочению перекисеобразовательного процесса в ферментативной – NADPH-зависимой системе при его одновременном частичном ингибировании и в аскорбатзависимой системе образования МДА.

Таблица 2

Динамика количественных изменений МДА в легочной ткани морских свинок в контроле, при ТБВЛ и под действием  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК в течение 10 и 20 дней

Показатели	Контроль	ТБВЛ	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 10 дней	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 20 дней
Аскорбатзависимое переокисление	100±2.3	147.5±1.5*	131.3±1.3*	108.0±1.3***
NADPH-зависимое переокисление	100±2.0	133.4±1.1*	119.4±1.2*	102.0±1.5***

Примечание:  $n = 15$ ; \* –  $P < 0.001$ ; \*\* –  $P < 0.01$ ; \*\*\* –  $P > 0.5$

Продление срока действия этого физиологически активного аналога РНК до 20 дней приводит к полнейшей нормализации интенсивности течения процессов СРО липидов и в неферментативной – аскорбатзависимой системе перекисеобразования.

Результаты проведенных наблюдений по качественно-количественным изменениям насыщенных и ненасыщенных ЖК в цельной крови морских свинок с ТБВЛ в развитой стадии заболевания позволили установить однотипность в динамике этих превращений с теми, что были прослежены в легочной ткани тех же животных. Как явствует из данных, отраженных в табл. 3, в цельной крови интактных животных прослеживается совершенно однозначное соблюдение статуса количественных соотношений суммы первых к сумме вторых. Аналогичная закономерность регистрируется и в

условиях изучаемой патологии, а также на фоне 10- и 20-дневного применения  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК.

Таблица 3

Особенности изменения количественного содержания НЭЖК насыщенного и полиенового ряда (в мг%) в цельной крови морских свинок с ТБВЛ и под действием  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК в течение 10 и 20 дней

Жирные кислоты	Контроль	ТБВЛ	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 10 дней	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 20 дней
Пальмитиновая $\text{C}_{16:0}$	19.90 ± 0.49	18.10 ± 0.43*	15.90 ± 0.45*	16.90 ± 0.43*
Стеариновая $\text{C}_{18:0}$	30.30 ± 0.61	29.90 ± 0.57*	32.90 ± 0.51*	33.00 ± 0.49*
Олеиновая $\text{C}_{18:1}$	23.50 ± 0.63	18.50 ± 0.53*	20.00 ± 0.55*	21.80 ± 0.51**
Линолевая $\text{C}_{18:2}$	7.40 ± 0.47	5.40 ± 0.18*	6.00 ± 0.19*	6.20 ± 0.50**
Линоленовая $\text{C}_{18:3}$	6.20 ± 0.49	4.20 ± 0.17*	5.60 ± 0.19*	5.20 ± 0.47**
Арахидоновая $\text{C}_{20:4}$	12.70 ± 0.43	26.90 ± 0.43*	19.60 ± 0.43*	17.50 ± 0.41*
Сумма насыщенных ЖК $\text{C}_{16:0} + \text{C}_{18:1}$ (А)	50.20 ± 0.47	45.00 ± 0.51*	48.80 ± 0.49*	49.90 ± 0.47***
Сумма ненасыщенных ЖК $\text{C}_{18:1} + \text{C}_{20:4}$ (В)	49.80 ± 0.39	55.00 ± 0.41*	51.20 ± 0.43*	50.70 ± 0.77***
Коэффициент А/В	1.01	0.82*	0.95**	0.98***

Примечание:  $n = 15$ ; \* –  $P < 0.001$ ; \*\* –  $P < 0.01$ ; \*\*\* –  $P > 0.5$

Что касается срывов интенсивности течения СРО липидов на уровне цельной крови, то по данным табл. 4 более выраженное активирование этого процесса регистрируется в неферментативной аскорбатзависимой системе перекисления.

Как и в предыдущем случае, 10-дневное применение  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК здесь также сопровождается отчетливо проявляющейся тенденцией к упорядочению характерной для нормы интенсивности течения перекисеобразовательного процесса, хотя и по истечении указанного срока уровень МДА продолжал статистически достоверно доминировать над таковым у практически интактных животных с окончательным упорядочением его лишь при продлении срока применения  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК до 20 дней.

Таким образом, можно сделать заключение о значительном превышении содержания МДА в цельной крови пораженных животных в развитой стадии заболевания. Однако не исключено участие в его формировании не только систем перекисеобразования, функционирующих на уровне отдельных элементов крови, но и других тканевых механизмов патологически изменившегося организма, выбрасывающих продукты перекисления липидов

в общий кровоток. Затронутый вопрос подробно рассмотрен в серии экспериментальных исследований по моделированному аллоксаном сахарному диабету в лаборатории липидологии Института молекулярной биологии НАН РА [15].

Таблица 4

Динамика количественных изменений продуктов перекисления ЖК (в % МДА) в цельной крови морских свинок при ТБВЛ и под действием  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК в течение 10 и 20 дней

Показатели	Контроль	ТБВЛ	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 10 дней	$\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК, 20 дней
Аскорбатзависимое перекисление	100.0±3.1	197.0±3.7*	139.0±3.3**	113.0±2.5***
NADPH-зависимое перекисление	100.0±2.7	161.0±2.1*	121.0±1.9**	106.0±1.9***

Примечание:  $n = 15$ ; \* –  $P < 0.001$ ; \*\* –  $P < 0.01$ ; \*\*\* –  $P > 0.5$

На основании полученных результатов можно прийти к заключению об исключительной эффективности сверхмалых доз  $\text{Ca}^{2+}$ -дс-РНК в коррекции нарушений качественно-количественных превращений ЖК различных категорий в легочной ткани и цельной крови морских свинок с моделированным ТБВЛ.

Научно-технологический центр органической и  
фармацевтической химии НАН РА

Республиканский противотуберкулезный диспансер МЗ РА

Академик К. Г. Карагезян, М. Д. Сафарян, С. С. Овакимян, О. М. Амирханян

Особенности корригирующего действия сверхнизких концентраций кальциевого преципитата двуспиральной РНК на нарушенные звенья липидного метаболизма у морских свинок с туберкулезным воспалением легких

Туберкулезное воспаление легких у морских свинок сопровождается чувствительными расстройствами в легочной ткани и цельной крови филогенетически запрограммированного постоянства фосфолипид-фосфолипидных соотношений. Отмеченные расстройства обусловлены значительным активированием процессов диацилирования фосфолипидов-глицеридов, преимущественно фосфатидилхолинов, характеризующихся образованием высоких концентраций лизофосфатидилхолинов, обладающих мощным мембранотоксическим и мембранолитическим действием.

Выделяющиеся при этом незэстерифицированные жирные кислоты, главным образом полиеновой природы, представлены преимущественно арахидоновой кислотой, являющейся предшественником образования ряда сильно действующих физиологически активных соединений. Применение кальциевого преципитата дрожжевой низкомолекулярной двуспиральной РНК на протяжении 10 и особенно 20 дней приводит к корригированию расстроенного качественно-количественного состава фосфолипидов различных категорий, а также насыщенных и полиеновых жирных кислот и продуктов их переоисления в легочной ткани и цельной крови морских свинок с туберкулезным воспалением легких.

**Ակադեմիկոս Կ. Գ. Ղարազյան, Մ. Դ. Սաֆարյան, Ս. Ս. Նովակիմյան,  
Ն. Մ. Ամիրխանյան**

**Ցածր մոլեկուլային երկպարույր ՌՆԹ-ի գերցածր քանակների կարգավորիչ ազդեցության առանձնահատկությունները ծովախոզուկների թոքերի փորձարարական փուլերկուլյոզի պայմաններում ֆոսֆոլիպիդների փոխանակության խախտված օղակների վրա**

Ծովախոզուկների թոքերի փուլերկուլյոզային բորբոքումը զուգորդվում է թոքային հյուսվածքում եւ ամբողջական արյան մեջ ֆիլոգենետիկորեն ծրագրված ֆոսֆոլիպիդ-ֆոսֆոլիպիդային հարաբերակցության զգալի խանգարումներով: Նշված խախտումները պայմանավորված են գլիցերինային շարքին պատկանող ֆոսֆոլիպիդների, գլխավորապես ֆոսֆատիդիլիտոլինների, վառ արտահայտված դեացիլացմամբ, որը բնութագրվում է լիզոֆոսֆատիդիլիտոլինների բարձր քանակությունների առաջացմամբ, նյութեր, որոնք օժտված են թաղանթափոքսիկ, թաղանթալիփիկ հատկություններով: Այս պայմաններում արտազատվող ազատ, ոչ էսթերիֆիկացված, հիմնականում պոլիենային շարքին պատկանող, ճարպաթթուների զգալի քանակը ներկայացված է արախիդոնաթթվով, որն մի շարք կարեւորագույն ֆիզիոլոգիապես ակտիվ միացությունների սկզբնաղբյուրն է: Սնկային ցածրամոլեկուլային երկպարույր ՌՆԹ-ի կալցիումական ածանցյալի 10 եւ առավել եւս 20-օրյա օգտագործումը բերում է ֆոսֆոլիպիդների փոքրեր փոքրաքանակների, ինչպես նաեւ հազեցած եւ չհազեցած ճարպաթթուների եւ դրանցից առաջացած գերօքսիդների բաղադրության որակաքանակական վերը նշված խախտումների վերականգնմանը:

**Academician K.G. Karageuzyan, M.D. Safaryan, S.S. Hovakimyan, H.M. Amirkhanyan**

**Specificities of the Normalizing Action of Low Concentrations of the Calcium Precipitate of Double Stranded RNA on Disorders of Phospholipids Metabolism of Guinea-pigs Tuberculosis of Lungs**

The obtained data have shown that tuberculosis of lungs at guinea-pigs is characterized by significant disorders in lung tissue and whole blood phylogenetically stabilized permanence in phospholipid-phospholipid interrelations. The mentioned changes are

conditioned by pronounced activation of phosphatidyl-glycerides, mainly of phosphatidylcholines deacylation, which lead to the formation of high concentrations of lysophosphatidylcholines, which are known as substances with membranotoxic membranolytic properties. Big quantities of unetherified fatty acids mainly with polyenic nature are represented by arachidonic acid, which is precursor of numerous physiologically very active compounds. Using of calcium precipitate of the mushroom low molecular doublestranded RNA during 10 and especially 20 days leads to the correction of disorders mentioned in qualitative-quantitative abnormalities of different categories of phospholipids, saturated and polyenic fatty acids as well as of lipid peroxides in the leaving systems studied.

### Литература

1. *Мартикян А.Р., Вартамян Г.С., Карагезян К.Г.* - Нейрохимия. 1982. Т. 1. N3. С. 194-196.
2. *Карагезян К.Г.* В кн.: Фосфолипиды и их роль в жизнедеятельности организма. Ереван. Айастан. 1972. 267 с.
3. *Карагезян К.Г., Сафарян М.Д.* - Проблемы туберкулеза. 1990. N8. С. 31-33.
4. *Карагезян К.Г. Погосян А.Ю., Овсепян Л.М.* - ДАН РФ. 1994. Т. 334. N1. С. 169-173.
5. *Крепс Е.М.* В кн.: Липиды клеточных мембран. Л. Наука, 1981. 330 с.
6. *Сафарян М.Д., Карагезян К.Г.* - Клин. мед. 1991. N7. С. 31-33.
7. *Карагезян К.Г., Сафарян М.Д., Арутюнян Д.А., Овакимян С.С.* - ДНАН Армении. 2008. Т. 108. N2. С. 157-164.
8. *Бурлакова Е.Б.* - Вестник РАН. 1994. Т. 64. N5. С. 425-431.
9. *Бурлакова Е.Б.* - Рос. хим. ж. (Журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева), 1999. Т. 43. N5. С. 336-341.
10. *Пальмина Н.П., Мальцева Е.П., Пынзарь Е.И., Бурлакова Е.Б.* - Рос. хим. ж. (Журн. Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева), 1999. Т. 43. N5. С. 55-63.
11. *Карагезян К.Г., Егоян А.Р., Карян Ш.С., Овсепян Л.М., Аганянц М.А., Мартиросян Э.А.* - Вестн. междунар. АН экологии и безопасности жизнедеятельности. СПб. 2003. Т. 86. N4. С. 194-196.
12. *Агабалян А.С., Агавелян А.М., Давтян О.Я., Макарян А.П., Акопян А.С., Карагезян К.Г.* - ДНАН Армении. 1998. Т. 98. N 2. С. 166-169.
13. *Карагезян К.Г., Сафарян М.Д., Карапетян Э.Т.* - Вопр. мед. хим. 1989. N4. С. 11-12.
14. *Тадевосян Ю.В., Батикян Т.Б., Асатрян Л.Ю., Карагезян К.Г., Тадевосян А.Ю.* - Биохимия. 1996. Т. 61. N. 8. С. 1414-1421.
15. *Карагезян К.Г., Егоян А.Р., Карян Ш.С., Егоян Л.В.* - ДНАН Армении. 2003. Т. 103. N4. С. 336-341.

МЕДИЦИНА

УДК 612.017.1:615.217.24

Р. А. Петросян

**Активность некоторых печеночных и панкреатических ферментов  
при периодической болезни у детей**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Р. А. Абрамяном 18/V 2009)

**Ключевые слова:** *алиэстераза, бутирилхолинэстераза, ацетилхолинэстераза, периодическая болезнь, патология желудочно-кишечного тракта, колхицинотерапия*

В литературе имеются данные об изменениях активности ряда ферментных систем, регулирующих содержание биологически активных веществ, принимающих непосредственное участие в процессах воспаления, возникновения болевого синдрома и температурной реакции [1-3]. Так, при периодической болезни (ПБ) имеют место как функциональные, так и органические изменения паренхиматозных органов, отражающиеся прежде всего на ферментных системах печени, поджелудочной железы, почек [3-7]. Описано также участие ферментных систем в патогенезе многих других заболеваний [4-6].

Целью настоящего исследования являлось определение активности ряда ферментов поджелудочной железы и печени при ПБ у детей армянской национальности в динамике заболевания и на фоне колхицинотерапии, а также проведение сравнительного анализа с аналогичными показателями при изолированной патологии желудочно-кишечного тракта.

Изучалась группа ферментов крови класса гидролаз: ацетилхолинэстераза (АХЭ) или истинная холинэстераза, бутирилхолинэстераза (БХЭ) или ложная холинэстераза, трибутириназа или алиэстераза (АлиЭ). Материалом исследования служила кровь 47 детей, госпитализированных в соматическое отделение Республиканской детской клинической больницы с 1995 по 1998 гг. по поводу болей в животе и диагностированных на основании полного

Таблица 1

Сравнительная характеристика изменения активности  
АХЭ, БХЭ, АлиЭ у больных ПБ в разных фазах заболевания

Группа	Ферментативная активность по возрастным группам								
	3-7 лет			7-10 лет			11-15 лет		
	АХЭ	БХЭ	АлиЭ	АХЭ	БХЭ	АлиЭ	АХЭ	БХЭ	АлиЭ
I	3.88±0.45 <sup>*</sup> n=10	11.8±1.8 <sup>**</sup> n=10	6.7±1.13 <sup>**</sup> n=10	3.3±0.3 <sup>**</sup> n=10	9.4±0.9 <sup>*</sup> n=10	6.3±1.2 <sup>*</sup> n=10	3.7±0.32 <sup>*</sup> n=6	12.35±2.4 <sup>*</sup> n=6	6.6±0.82 <sup>*</sup> n=6
II	2.7±0.4 <sup>*</sup> n=7	10.36±1.6 <sup>**</sup> n=7	6.42±1.6 <sup>*</sup> n=7	3.36±0.34 <sup>**</sup> n=9	10.78±0.9 <sup>*</sup> n=9	6.11±1.5 <sup>*</sup> n=9	3.38±0.85 <sup>*</sup> n=5	10.69±1.78 n=5	4.01±1.23 <sup>**</sup> n=5
III	5.01±1.4 <sup>*</sup> n=10	6.1±1.5 <sup>**</sup> n=10	4.12±0.7 <sup>*</sup> n=10	8.2±1.1 <sup>**</sup> n=8	9.6±0.9 <sup>*</sup> n=8	7.5±1.5 <sup>*</sup> n=8	4.12±0.75 <sup>*</sup> n=5	11.75±2.7 n=5	7.86±0.3 <sup>*</sup> n=5
IV	1.72±0.05 <sup>*</sup> n=10	7.15±0.09 <sup>*</sup> n=10	1.65±0.04 <sup>*</sup> n=10	1.85±0.06 <sup>*</sup> n=10	7.65±0.12 <sup>*</sup> n=10	1.71±0.02 <sup>*</sup> n=10	1.93±0.08 <sup>*</sup> n=10	8.86±0.07 <sup>*</sup> n=10	1.75±0.02 <sup>*</sup> n=10

Примечание. Группы: I - приступ, II - межприступный период, III - колхицинотерапия, IV - практически здоровые дети. \* - достоверная разница между ПБ и здоровыми детьми; \*\* - достоверная разница между группами ПБ.

клинико-лабораторного обследования согласно "Плану обследования больного с подозрением на ПБ" [3]. Абдоминальный вариант выявлен у 4 больных, торакальный — у 8, смешанный — у 35. Одиннадцать детей получали ежедневную колхицинотерапию. У всех больных кроме ПБ диагностирована также патология желудочно-кишечного тракта.

Контрольную группу составили 20 больных в возрасте старше 6 лет со смежной с ПБ патологией желудочно-кишечного тракта.

Исследование активности ферментов крови проводилось экспресс-методикой биохимического анализа по А.А. Покровскому, благодаря чему создавалась возможность проведения серийных и одномоментных исследований активности ферментов в небольших количествах (0.05-0.1 мл) крови, взятой путем кожного прокола пальца, и получения ответа анализа через несколько минут [4]. Полученные данные оценивались с использованием методов вариационной статистики и коэффициента достоверности по Стью-денту [6].

Таблица 2

Сравнительная характеристика изменения активности АХЭ, БХЭ, АлиЭ у больных ПБ и смежной патологией желудочно-кишечного тракта

Группа	Ферментативная активность по возрастным группам					
	7-10 лет			11-15 лет		
	АХЭ	БХЭ	АлиЭ	АХЭ	БХЭ	АлиЭ
I	**3.3±0.3* n = 10	9.4±0.9* n = 10	6.3±1.2* n = 10	3.7±0.32* n = 6	12.35±2.4* n = 6	6.6±0.82* n = 6
II	2.7±0.13* n = 5	7.39±1.1 n = 5	5.2±1.4* n = 5	3.32±0.6* n = 5	12.4±1.8 n = 5	7.48±1.1* n = 5
III	1.85±0.06* n = 10	7.65±0.12* n = 10	1.71±0.02* n = 10	1.93±0.08* n = 10	8.86±0.07 n = 10	1.75±0.02* n = 10

Примечание. Сравнение проведено в группах старше 6 лет, поскольку поражение желудочно-кишечного тракта не характерно для детей раннего возраста. Группы: I — приступ, II — смежная патология, III — практически здоровые дети. \* — достоверная разница между ПБ и здоровыми детьми; \*\* — достоверная разница между группами ПБ.

Как показывают полученные данные (табл. 1), во всех возрастных группах на высоте приступа имеется выраженное статистически достоверное ( $p < 0.05$ ) повышение активности исследуемых печеночных ферментов в группе больных ПБ по сравнению с показателями здоровых детей. В межприступном периоде и на фоне колхицинотерапии показатели активности ферментов

в различных возрастных группах меняются по-разному. Так, на фоне колхицинотерапии уровень АХЭ остается достоверно высоким ( $p < 0.05$ ) во всех возрастных группах, показатели БХЭ нормализуются в младшей и старшей возрастных группах, в то время как уровень АлиЭ остается высоким ( $p < 0.05$ ) во всех группах.

При смежной патологии активности АХЭ и АлиЭ отличаются достоверно ( $p < 0.05$ ) высокими показателями в средней и старшей возрастной группах по сравнению с группой здоровья. Уровень БХЭ не меняется в обеих возрастных группах (табл. 2).

Таким образом: 1) спектр изменения активности ферментов крови при ПБ характеризуется бóльшим вовлечением тех из них, которые участвуют в липидном обмене, что может свидетельствовать о напряженности иммунных и метаболических процессов при ПБ, наличии продолжающегося субклинического воспаления даже на фоне колхицинотерапии у детей армянской национальности; 2) различия в уровне и спектре повышения активности АХЭ, БХЭ и АлиЭ при ПБ и смежной патологии желудочно-кишечного тракта в фазе обострения заболевания может служить дифференциально диагностическим тестом, а также помогать в мониторинге эффективности колхицинотерапии у больных ПБ.

Диспансерный кабинет ПБ г. Мартуни Гегаркуникского района РА

**Р. А. Петросян**

**Активность некоторых печеночных и панкреатических ферментов при периодической болезни у детей**

Исследована активность некоторых печеночных и панкреатических ферментов, принадлежащих к классу гидролаз: ацетилхолинэстеразы (АХЭ), бутирилхолинэстеразы (БХЭ) и алиэстеразы (АлиЭ) при периодической болезни (ПБ) без лечения и на фоне лечения. Проведен сравнительный анализ полученных при ПБ показателей с таковыми при смежной с ПБ патологией желудочно-кишечного тракта.

Выявлено стойкое повышение АлиЭ, во всех фазах заболевания, даже на фоне колхицинотерапии, что говорит о напряженности липидного обмена при ПБ. Дифференциальным признаком для ПБ и смежной патологии желудочно-кишечного тракта является уровень активности БХЭ, который полностью нормализуется у больных с изолированной патологией ЖКТ в обеих исследуемых группах.

## Ռ. Ա. Պետրոսյան

### Ենթաստամոքսային գեղձի որոշ ֆերմենտների ակտիվության մակարդակը պարբերական հիվանդությամբ փառապող հիվանդների մոտ

Աշխարհանքի նպատակն է արյան մեջ որոշ լյարդային եւ ենթաստամոքսային ֆերմենտների ակտիվության որոշումը պարբերական հիվանդությամբ (ՊՀ) փառապող երեխաների մոտ առանց բուժման եւ կոլխիցինով բուժման ժամանակ: Ուսումնասիրվող ֆերմենտներ են հանդիսացել ացեթիլքոլինեստերազը, բութիրիլքոլինեստերազը, ալիլեստերազը, որոնք պարկանում են հիդրոլազների շարքին:

Համաձայն ստացված արդյունքների՝ ՊՀ-ն բնորոշվում է ուսումնասիրված էնզիմների ակտիվության բարձրացմամբ. հարկապես հիվանդության նույնիսկ շրջանում, իսկ ալիլեստերազային բնորոշ են եղել բարձր ցուցանիշներ նույնիսկ կոլխիցինով բուժման ընթացքում, ինչը խոսում է ճարպային փոխանակության առավել լարվածության մասին ՊՀ-ի ժամանակ: Ավելին, արդյունավետության մոնիթորինգի համար, իսկ նրանց փոփոխությունների սպեկտրի փոփոխությունները ՊՀ-ի եւ ստամոքսաաղիքային հիվանդությունների ժամանակ կարող են հանդիսանալ փոփոխակից ախտորոշիչ թեստ:

## R. A. Petrosyan

### The Level of Some Liver and Pancreatic Enzymes in Children with FMF

It was researched the activity of some pancreatic and liver enzymes belonged to the class of hydrolases: Acetylcholinesterase, Butyrylcholinesterase, Alylesterase, at children with FMF without treatment and with colchicinetherapy.

It was revealed that the fat metabolism is involved in the pathogenesis of FMF more intensively and the recovery of lipid metabolic disorders in FMF goes more slowly in comparison with the protein and carbohydrate metabolism. So the further investigations are required to clarify fully the mechanisms of the lipid involvement in FMF attack presentation.

## Литература

1. Astvatzatryan V.A., Ktzoyan L.A., Petrosyan R.A. - Familial Mediterranean Fever. Second International conference. 3 - 7 may, 2000, Anthalya, Turkey. P. 78.
2. Аствацатрян В.А., Кцоян Л.А., Петросян Р.А. - Тезисы XI научно-практической конференции детских врачей г. Еревана. 17-18 октября 1995 г. С. 34.
3. Аствацатрян В.А., Торосян Е.Х. Периодическая болезнь у детей. Ереван. Айастан. 1989. С. 249.

4. Барсегян Р.Г. Активность некоторых ферментов крови при пневмониях у детей раннего возраста. Автореф. докт. дис. Ереван. 1982. С. 44-62.

5. Бессмертный Б.С. Математическая статистика в клинической, профилактической и экспериментальной медицине. М. Медицина. 1967. 303 с.

6. Նազարեթյան Է.Ե. - Առողջապահություն, 1981, N 6, էջ 34-35 (Назаретян Э.Е. Арохчапаутюн. 1981. N6. С. 34-35.)

7. Петросян Р.Е. Клинико-лабораторная, цитохимическая и иммунологическая характеристика периодической болезни. Автореф. докт. дис. Ереван. 1994. 40 с.

МЕДИЦИНА

УДК 612.339 + 616.12 - 008.331.1

Р. В. Акопян

**Прогностическое значение мониторинга внутрибрюшного давления в  
отделении интенсивной терапии**

(Представлено чл.-кор. НАН РА Р. А. Абрамяном 17/VIII 2009)

**Ключевые слова:** *внутрибрюшное давление, абдоминальное перфузионное давление, фильтрационный градиент, выживаемость, отделение интенсивной терапии*

**Введение.** Внутрибрюшное давление (ВБД) создается внутри брюшной полости благодаря совместному воздействию внутрибрюшных структур и абдоминальных мышц [1, 2]. Мгновенные флюктуации ВБД, например, при кашле и чихании, лишены каких-либо вредных физиологических эффектов. Транзиторное повышение ВБД, такое как при лапароскопии, вызывает лишь кратковременные и умеренные негативные физиологические эффекты. Однако персистирующее повышение ВБД – внутрибрюшная гипертензия (ВБГ) отрицательно сказывается на функции практически всех органов и систем организма и может привести к полиорганной дисфункции [3]. Несмотря на это влияние ВБД на выживаемость пациентов в отделении интенсивной терапии (ОИТ) широко не исследовалось. Лишь некоторые предварительные данные указывают, что ВБГ может быть ассоциирована с низкой выживаемостью пациентов в ОИТ [4, 5]. Однако при определении ВБГ авторы этих исследований руководствовались эмпирическим делением значений ВБД на низкие и высокие [6]. На самом же деле ВБД является непрерывным параметром, и, очевидно, различные его значения имеют разные чувствительности и специфичности для прогнозирования исхода лечения пациентов. Целью нашего исследования было поставлено определение прогностического потенциала различных значений ВБД и его производных параметров у хирургических пациентов ОИТ.

**Материал и методы.** Материалом для настоящего исследования служили 304 критически тяжелых хирургических больных, проспективно исследованных в течение всего периода их госпитализации в ОИТ. Сбор материала проводился в течение трехлетнего периода исследования (2005-2008 гг.). Больные исключались из исследования, если имели противопоказания к проведению трансвезикальных измерений ВБД: гематурия, неврогенный мочевой пузырь, разрыв мочевого пузыря. ВБД измерялось трансвезикально через каждые 12 ч, согласно рекомендациям всемирной организации абдоминального компартмент-синдрома (WSACS) [6]. Абдоминальное перфузионное давление (АПД) и фильтрационный градиент (ФГ) рассчитывались отдельно при каждом измерении ВБД. Выживаемость пациентов исследовалась в течение всего периода их госпитализации в ОИТ. Протокол исследования имел наблюдательный характер, и все пациенты получали стандартную терапию.

**Статистическая обработка материала.** Для усреднения исследуемых непрерывных параметров (ВБД, АПД, ФГ), полученных по каждому пациенту в течение всего периода госпитализации в ОИТ, измерялись площади под соответствующими кривыми при помощи трапецеидального интегрирования [7]. Для оценки общего прогностического потенциала и определения пороговых значений исследуемых параметров с оптимальной чувствительностью и специфичностью принимался анализ соответствующих кривых операционной характеристики (ROC curves) [8, 9]. Статистическая обработка материала проведена по статистическим пакетам SPSS 16.0 for Windows.

**Результаты и обсуждение.** Исследованные пациенты в течение пребывания в ОИТ имели среднее ВБД  $8.835 \pm 5.494$  мм рт. ст. (размах 0 - 38 мм рт. ст.), среднее АПД  $79.0710 \pm 18.935$  мм рт. ст. (размах 24.889 - 162.000 мм рт. ст.) и средний ФГ  $70.267 \pm 22.271$  (размах 9.666 - 159.000 мм рт. ст.). Распределение уровней ВБД согласно классификации WSACS в исследованном контингенте пациентов представлено в табл. 1.

Видно, что ВБД наиболее часто (47.039%) принимало значение в интервале 6 - 11 мм рт. ст., а у 27.302% исследованных пациентов имело место физиологическое значение ВБД ( $\text{ВБД} \leq 5$  мм рт. ст.). Стойкая ВБГ, т.е. среднее значение ВБД в течение всего периода госпитализации в ОИТ  $\geq 12$  мм рт. ст., была выявлена в 25.655% случаев. Абдоминальный компартмент-синдром ( $\text{ВБД} > 20$  мм рт. ст. в сочетании с нововыявленной органной дисфункцией) наблюдался в 3.617% случаев.

Из общего количества исследованных больных 262 (86.100%) были хирургического профиля или пациенты с абдоминальными травмами, остальные 42 (13.900%) не имели диагностированной хирургической патологии органов брюшной полости при поступлении в ОИТ, но на основании

физикального и ультразвукового обследования возникло подозрение на таковую, и поэтому проводились периодические измерения ВБД. Все исследованные хирургические пациенты подверглись лапаротомиям по разным показаниям. Частота релапаротомий составила 36 (11.900% от общего количества исследованных пациентов). У 10 (3.300%) пациентов брюшная полость была оставлена открытой (лапаростомия) из-за тяжелой ВБГ. Причем пациенты с лапаростомией не обязательно имели предыдущие релапаротомии: у 4 пациентов из 10 с лапаростомией после проведенной первой лапаротомии возникла недостаточность швов (эвентерация) и, учитывая тяжесть состояния и присутствие ВБГ, принималось решение оставлять брюшную полость открытой. У остальных 6 пациентов лапаростома формировалась после проведенных релапаротомий. Ни один пациент не подвергся первичной лапаростомии, т.е. лапаростомии после первой лапаротомии (рис. 1). Общая летальность в исследованном контингенте пациентов составила 32.565% (95% ДИ = 27.297-37.832).

Таблица 1

Распределение значений ВБД в исследованном контингенте пациентов

ВБД, мм рт. ст.	Число пациентов	Процентное соотношение	Кумулятивный %
≤ 5	83	27.302	27.302
6 - 11	143	47.039	74.342
12 - 15	46	15.131	89.473
16 - 20	21	6.907	96.381
21 - 25	7	2.302	98.684
> 25	4	1.315	100
Итого	304	100	

Мы сгенерировали кривые операционной характеристики для усредненных величин ВБД, АД<sub>ср.</sub>, АД и ФГ с целью нахождения точки разделения (cut-off value), имеющей оптимальную предсказывающую силу в отношении исхода лечения пациентов в ОИТ. Кривая операционной характеристики представляет собой график зависимости чувствительности от 1-специфичности исследуемого критерия или параметра [8, 9]. В нашем случае чувствительность означала долю умерших пациентов, исход лечения которых был правильно спрогнозирован при помощи соответствующего значения ВБД, АД или ФГ (true positive proportion). Специфичность указывала долю выживших пациентов, исход лечения которых был правильно прогнозирован, поэтому 1-специфичность — это доля пациентов с ложноположительным результатом предсказания летального исхода (false positive proportion). Для

ВБД, АПД и ФГ рассматривались все точки разделения, которые дали уникальную пару значений для чувствительности и специфичности. После, вычерчивая график зависимости чувствительности от 1-специфичности, сравнивали вероятности правильного предсказания исхода у пациентов с летальным исходом и у выживших пациентов. Общая прогностическая ценность ВБД, АПД и ФГ сравнивалась путем рассмотрения площадей под соответствующими ROC кривыми. Тест или критерий, который всегда правильно предсказывает исход у пациентов, имеет площадь под ROC кривой, равную 1. Если он предсказывает исход абсолютно случайно, то имеет площадь под ROC кривой, равную 0.5, указывая на то, что данный тест в половине случаев дает правильные предсказания и в половине случаев – ложные [8, 9]. В нашем исследовании площади под ROC кривыми для ВБД, АПД и ФГ были равны 0.709, 0.864 и 0.861, соответственно (рис. 2). Все они достоверно отличались от 0.5. Значит, использование любого из них дает лучшие результаты, чем случайные попытки отгадать исход лечения в ОИТ [8, 9].

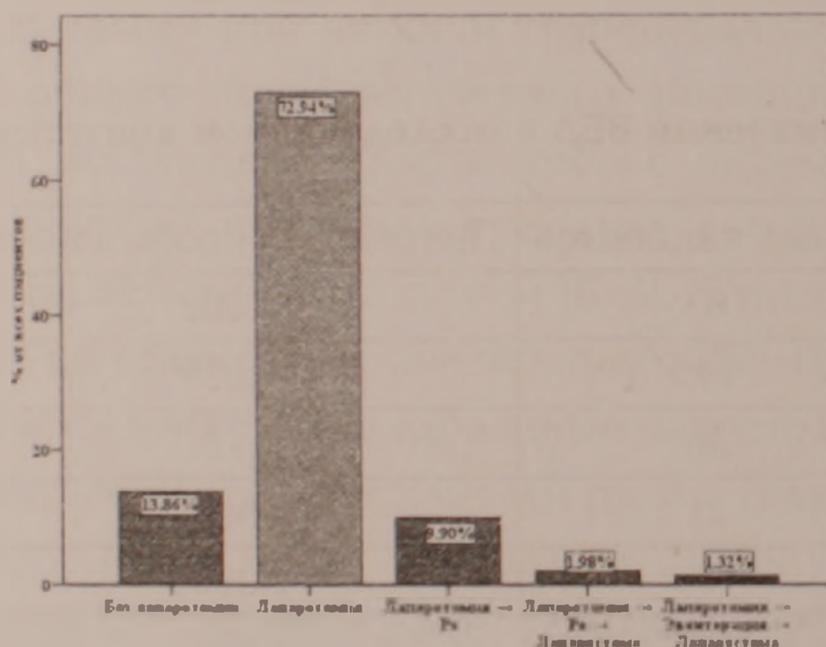
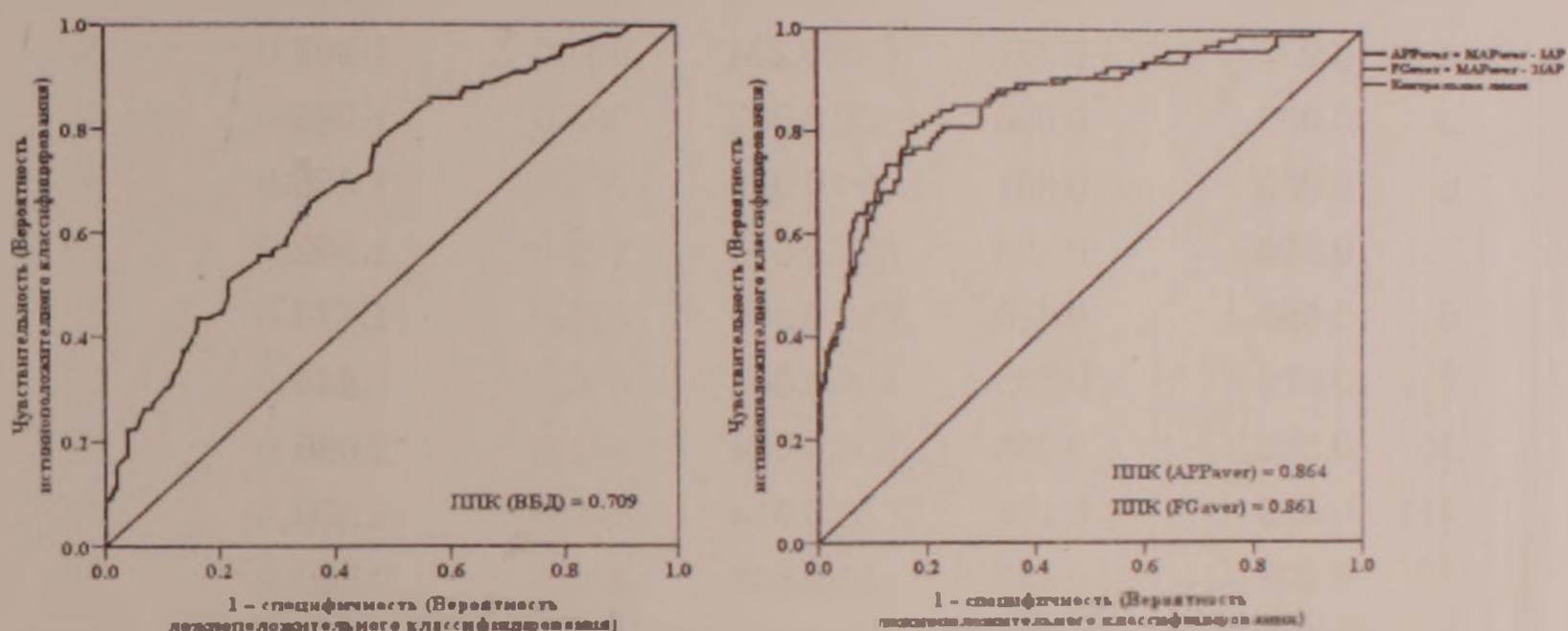


Рис. 1. Распределение пациентов по операционному статусу.

Более ценным считается тот параметр ROC кривой, который больше всего скошен в сторону верхнего левого угла системы координат и имеет более высокое значение площади под кривой [8, 9]. Оптимальная разделяющая точка на этой кривой та, которая максимально приближена к значению 1 на оси чувствительности. Оптимальная разделяющая точка теста (критерия) "золотого стандарта" имеет чувствительность и специфичность, равные единице [8, 9]. На практике можно добиться высокой чувствительности за счет специфичности и наоборот. Для состояний, которые легко излечиваются, предпочтительнее иметь высокую чувствительность, а для состояний, которые трудноизлечимы и имеют высокую летальность, лучше иметь высокую специфичность, чтобы минимизировать возможность ложноположительного классифицирования. Поэтому для пациентов ОИТ предпочтительнее достичь

высокой специфичности разделяющей точки диагностического либо прогностического теста или критерия. Другим важным параметром при анализе кривых операционной характеристики является так называемое отношение правдоподобия для положительного результата теста [8, 9]. В нашем случае отношением правдоподобия для положительного результата теста будет отношение шансов получения конкретного результата теста (ВБД, АД, ФГ) у пациентов с летальным исходом и у выживших пациентов. Математическое выражение отношения правдоподобия для положительного результата теста выглядит следующим образом:

$$\text{Отношение правдоподобия для положительного результата} = \frac{\text{Чувствительность}}{1 - \text{специфичность}}$$



Параметр	ППК	Стандартная ошибка*	Асимптотическая значимость**	95% ДИ	
				Нижний предел	Верхний предел
ВБД	0.709	0.031	< 0.0001	0.648	0.77
АД	0.864	0.025	< 0.0001	0.815	0.912
ФГ	0.861	0.024	< 0.0001	0.814	0.908

ППК – площадь под ROC кривой; \* – оценена исходя из непараметрических предположений.

\*\* – нулевая гипотеза: истинная ППК = 0.5.

Рис. 2. Кривые операционной характеристики для ВБД, АД и ФГ.

Сравнивая ROC кривые для ВБД и АД, можно прийти к однозначному заключению: АД имеет более высокую дискриминативную силу в плане прогнозирования исхода лечения пациентов в ОИТ, чем ВБД, т.к. площадь под ROC кривой больше для АД, чем для ВБД, и нет наложений в их 95% ДИ (рис. 2). Аналогичное сравнение ROC кривых для АД и ФГ показывает, что ФГ не имеет преимуществ перед АД, ибо площадь под ROC кривой больше для АД, а 95% ДИ для ФГ целиком интерполируются в аналогичные интервалы для ROC кривой АД [8, 9].

Некоторые клинически и статистически важные разделительные точки на кривой операционной характеристики, вычерченной для ВБД

Исход будет летальным, если ВБД $\geq$	Чувствительность	1-специфичность	Специфичность	Отношение правдоподобия для положительного результата
-1	1.000	1.000	0.000	1.000
0	1.000	0.966	0.034	1.035
1	1.000	0.949	0.051	1.054
2	0.990	0.910	0.090	1.088
3	0.965	0.826	0.174	1.170
4	0.937	0.777	0.224	1.207
5	0.899	0.698	0.302	1.290
6	0.862	0.601	0.399	1.436
7	0.770	0.484	0.516	1.592
8	0.690	0.414	0.586	1.674
9	0.614	0.333	0.667	1.840
10	0.532	0.256	0.744	2.096
11	0.438	0.186	0.814	2.360
12	0.409	0.155	0.846	2.650
13	0.343	0.129	0.871	2.669
14	0.286	0.096	0.904	3.045
15	0.236	0.057	0.943	4.170
16	0.200	0.040	0.960	5.029
17	0.149	0.024	0.977	6.565
19	0.114	0.018	0.982	6.333
20	0.101	0.013	0.988	8.417
21	0.091	0.008	0.993	13.650
22	0.081	0.000	1.000	$\infty$
23	0.071	0.000	1.000	$\infty$
24	0.051	0.000	1.000	$\infty$
25	0.040	0.000	1.000	$\infty$
27	0.030	0.000	1.000	$\infty$
29	0.020	0.000	1.000	$\infty$
34	0.010	0.000	1.000	$\infty$
39	0.000	0.000	1.000	$\infty$

Символы 0.000 означают числа, очень близкие к нулю.

Рассмотрим некоторые разделяющие точки на ROC кривой ВБД, приведенные в табл. 2.

Таблица 3

Некоторые клинически и статистически важные разделительные точки на кривой операционной характеристики, вычерченной для АПД

Исход будет летальным, если АПД $\leq$	Чувствительность	1-специфичность	Специфичность	Отношение правдоподобия для положительного результата
25	0.000	0.000	1.000	$\infty$
30	0.053	0.000	1.000	$\infty$
35	0.096	0.000	1.000	$\infty$
40	0.117	0.000	1.000	$\infty$
45	0.154	0.000	1.000	$\infty$
50	0.213	0.000	1.000	$\infty$
55	0.287	0.005	0.995	57.400
60	0.394	0.027	0.972	14.446
65	0.521	0.060	0.940	8.683
70	0.655	0.096	0.903	6.826
75	0.774	0.161	0.838	4.797
80	0.851	0.267	0.732	3.188
85	0.899	0.458	0.541	1.963
90	0.948	0.633	0.366	1.496
95	0.957	0.776	0.223	1.232
100	0.989	0.871	0.128	1.134
105	1.000	0.935	0.065	1.069
110	1.000	0.957	0.042	1.044
115	1.000	0.980	0.020	1.020
120	1.000	0.985	0.015	1.015
138	1.000	0.990	0.010	1.010
160	1.000	0.995	0.005	1.005
163	1.000	1.000	0.000	1.000

Символы 0.000 означают числа, очень близкие к нулю.

Например, значение ВБД = -1 мм рт. ст. имеет максимальную чувствительность, но минимальную специфичность для предсказания летального исхода, а соответствующее отношение правдоподобия для положительного результата указывает на то, что значение ВБД = -1 мм рт. ст. одинаково часто встречается у выживших пациентов и у пациентов с летальным исходом. ВБД = 12 мм рт. ст. имеет чувствительность 40.900% и специфичность 84.600%, а соответствующее отношение правдоподобия для положительного результата достигает значения 2.650, указывая на то, что значение ВБД = 12 мм рт.

ст. встречается у пациентов с летальным исходом в 2.650 (95% ДИ = 4.455 - 0.844) раза чаще, чем у выживших. Аналогично можно сказать, что например ВБД = 20 мм рт. ст. у умерших пациентов встречается в 8.417 (95% ДИ = 11.538 - 5.295) чаще, чем у выживших. Как общую закономерность заметим, что с увеличением значений ВБД отмечается рост и значений отношения правдоподобия для положительного результата. Отношение правдоподобия для положительного результата при значениях ВБД  $\geq 21$  мм рт. ст. стремится к бесконечности, указывая на то, что при таких значениях ВБД вероятность летального исхода стремится к единице (достоверный летальный исход). Графический вид зависимости отношения правдоподобия для положительного результата теста и ВБД представлен на рис. 3, А.

Рассмотрим некоторые разделяющие точки на ROC кривой АПД, приведенные в табл. 3.

Например, при АПД = 169 мм рт. ст. достигалась чувствительность 100%, специфичность 0% и отношение правдоподобия для положительного результата 1. Другое крайнее значение АПД = 25 мм рт. ст. имело чувствительность 0%, специфичность 100%, а отношение правдоподобия для положительного результата стремилось к бесконечности. Детальный анализ данных табл. 3. показывает, что со снижением значений АПД отмечается рост значений отношения правдоподобия для положительного результата. При значениях АПД  $\leq 50$  мм рт. ст. отношение правдоподобия для положительного результата достигает бесконечности, указывая на то, что при таких значениях АПД вероятность летального исхода стремится к единице (достоверный летальный исход). Графический вид зависимости отношения правдоподобия для положительного результата теста от АПД представлен на рис. 3, Б.

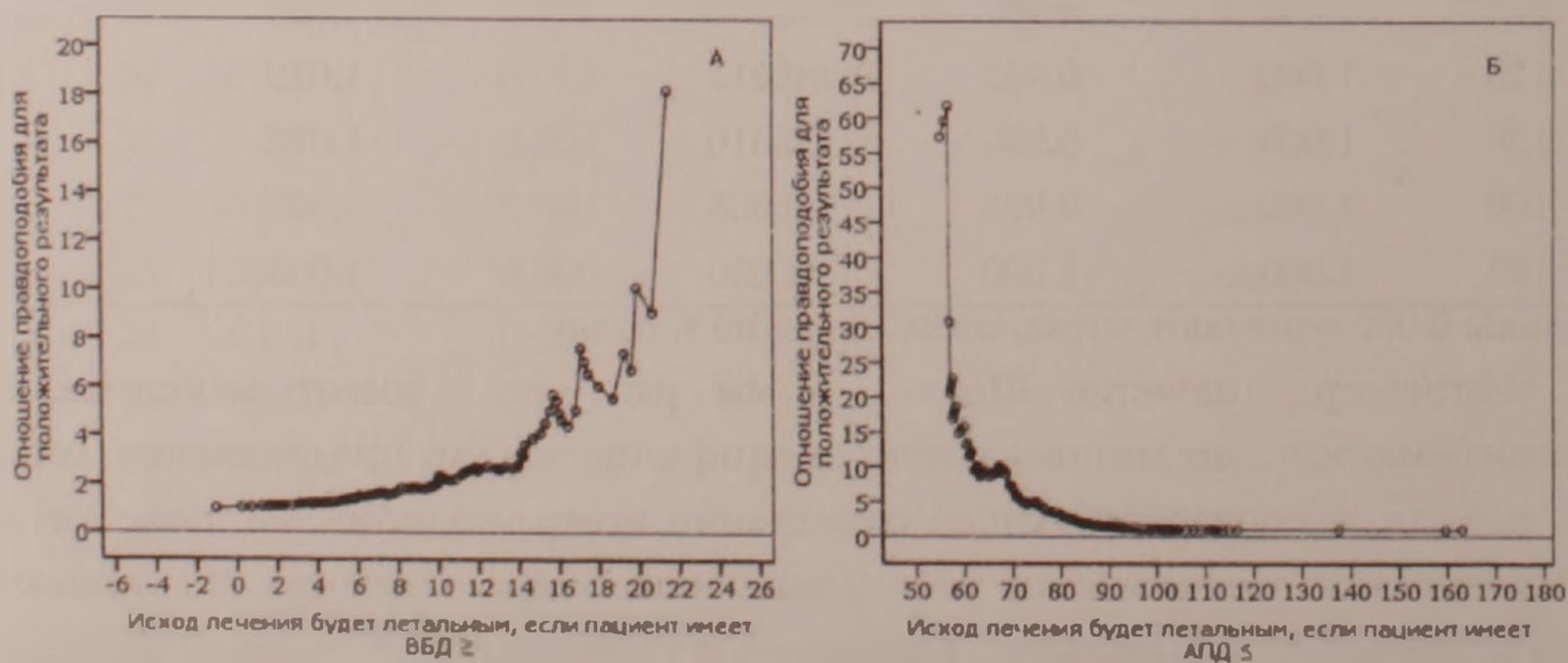


Рис. 3. Зависимость отношения правдоподобия для положительного результата теста от ВБД(А) и АПД(Б).

Итак, АПД в интервале 50 - 60 мм рт. ст. является высокоспецифичным,

но не чувствительным параметром для предсказания летального исхода пациентов в ОИТ. Иными словами, АД  $\leq 60$  мм рт. ст. может правильно предсказать исход у выживающих пациентов в 97.250% случаев, но может выявить пациентов с плохим исходом только в 39.400% случаев. А отношение правдоподобия для положительного результата, равное 14.446, указывает на то, что значение АД = 60 мм рт. ст. встречается у пациентов с летальным исходом в 14.446 (95% ДИ = 18.398 - 10.494) раза чаще, чем у выживших. Общая летальность в исследованном контингенте пациентов составила 32.565% (95% ДИ = 27.297 - 37.832), следовательно, априорная вероятность летального исхода составляет 0.325, а априорные шансы летального исхода —  $0.325/1-0.325 = 0.481$ . Согласно теореме Байеса апостериорные шансы летального исхода = априорные шансы летального исхода  $\times$  отношение правдоподобия для положительного результата =  $0.481 \times 14.446 = 6.955$  [10]. Следовательно, апостериорная вероятность летального исхода =  $6.955 / (1 + 6.955) = 0.874$  или 87.430% (95% ДИ = 91.156 - 83.703). Таким образом, если мы знаем величину общей летальности в исследованном контингенте пациентов и величину АД у данного пациента, то можем определить апостериорную вероятность летального исхода у него. Например, общая летальность в 32.565% и АД  $\leq 60$  мм рт. ст. дают апостериорную вероятность летального исхода  $\geq 87.430\%$ . Как видно, апостериорная вероятность летального исхода  $>$  априорной вероятности летального исхода, что означает полезность мониторинга АД у хирургических пациентов ОИТ [10].

Малбрайн с соавт. также использовали ROC кривые АД для дискриминации выживших и умерших пациентов в ОИТ [4]. Согласно их исследованиям у 235 пациентов АД в интервале 58 - 62 мм рт. ст. при поступлении в ОИТ имело чувствительность 72.2% и специфичность 72.7% с площадью под ROC кривой, равной 0.777 (95% ДИ = 0.709 - 0.844). Однако заметим, что указанные данные нужно трактовать с осторожностью и помнить, что они касаются именно АД на момент поступления пациента в ОИТ. Значение АД при поступлении может не давать представления о его динамике в течение периода пребывания в ОИТ. Очевидно, что на выживание будет действовать не эпизодическое значение АД, а этот показатель в динамике. В таком контексте проведенное нами исследование выгодно отличается, т.к. проводилось как минимум два измерения значений АД в день, и трапецеидальным интегрированием рассчитывались суммарные значения АД в течение всего периода госпитализации пациента в ОИТ. Более того, площадь под ROC кривой в проведенном исследовании имела более высокое значение, равное 0.864 (95% ДИ = 0.815 - 0.912), что указывает на более высокую валидность полученных нами данных.

**Выводы.** АПД в интервале 50 - 60 мм рт. ст. является высокоспецифичным, но не чувствительным параметром для предсказания летального исхода у пациентов в ОИТ. ВБД имеет схожий прогностический профиль, но более низкую общую прогностическую ценность. ФГ не имеет преимуществ перед АПД в плане прогнозирования исхода лечения пациентов в ОИТ.

При лечении хирургических пациентов в ОИТ и прогнозировании исхода будет целесообразно совместное использование не только общеизвестных прогностических шкал (APACHE II и SOFA), но также значений ВБД и АПД. При этом следует руководствоваться не только абсолютным значением ВБД, а скорее АПД, поддерживая его на уровне  $> 60$  мм рт. ст.

Ереванский государственный медицинский университет им. М. Гераци

**Ռ. Վ. Նակոբյան**

**Ներորովայնային ճնշման մոնիթորինգի կանխատեսիչ նշանակությունը ինտենսիվ թերապիայի բաժանմունքում**

Սույն հետազոտության նպատակն է պարզել ներորովայնային ճնշման (ՆՃ) եւ նրանից ածանցված փոփոխականների (աբդոմինալ պերֆուզիոն ճնշում - ԱՊՃ, ֆիլտրացիոն գրադիենտ - ՖԳ) պրոգնոստիկ նշանակությունը ինտենսիվ թերապիայի բաժանմունքի վիրաբուժական հիվանդների ընդհանուր ապրելիության վրա: Պրոսպեկտիվ հետետողական հետազոտության մեջ ընդգրկվել են թվով 304 վիրաբուժական ինտենսիվ թերապիայի բաժանմունքի հիվանդներ: Օգտագործելով ՆՃ-ի եւ նրանից ածանցված փոփոխականների համար գծված ROC կորերի վերլուծություն՝ մենք ստացանք հետեւյալ արժեքները կորերի փակի մակերեսների համար՝ ՆՃ - 0.709, ԱՊՃ - 0.864 եւ ՖԳ - 0.861՝ համապարասխանաբար ( $p < 0.05$ ): Հետեւաբար, երեք հետազոտված փոփոխականներն էլ արժեքավոր են հիվանդների բուժման ելքի կանխատեսման համար, բայց ամենաբարձր կանխատեսիչ ուժն ունի ԱՊՃ-ը:

**R. V. Hakobyan**

**The Prognostic Potential of the Monitoring of Intra-Abdominal Pressure in the Intensive Care Unit**

This study was designed to determine the prognostic potential of intra-abdominal pressure (IAP) and its derivative variables (Abdominal perfusion pressure - APP, Filtration gradient - FG) on overall Surgical Intensive Care Unit (SICU) survival. In a prospective

observational study, we investigated 304 SICU patients. Using the analysis of receiver operating characteristic curves (ROC curves), we determined the areas under the ROC curves for LAP, APP and FG, which were 0.709, 0.864 and 0.861 respectively; ( $p < 0.05$  for all). Therefore, all these variables are useful prognostic tests with APP having the maximum prognostic potential.

### Литература

1. *Duggan J.E., Drummond G.B.* - *Anesth. Analg.* 1989. V. 69. P. 598-603.
2. *De laet I., Malbrain M.L.* - *Acta. Clin. Belg.* 2007. Suppl. 62. P. 190-199.
3. *Malbrain M.L.* - *Curr. Opin. Crit. Care.* 2004. V. 10. P. 132-145.
4. *Malbrain M.L., de laet I., Cheatham M., Pelosi P., Bihari D., Innes R., Ranieri V.M., del Turco M., Wilmer A., Brienza N., Malcangi V., Cohen J., Japiassu A., de Keulenaer B.L., Daelemans R., Jacquet L., Laterre P.F., Frank G., de Souza P., Cesana B., Gattinoni L.* - *Crit. Care Med.* 2005. V. 33. P. 315-322.
5. *Hakobyan R.V.* - *Intensive Care Med.* 2007. Supl. September. P. 1045.
6. *Malbrain M.L., de laet I., Cheatham M.* - *Acta Clinica Belgica.* 2007. V. 62. P. 44-59.
7. *Burden R.L., Faires D.J.* - *Numerical Analysis.* New York, Brooks Cole. 2000. P. 36-37.
8. *Steyerberg E.W.* - *Clinical Prediction Models: a practical approach to development, validation and updating.* Springer. 2009. P. 260 -263.
9. *Lang T.A., Sasic M.* - Determining the presence or absence of disease. In: *Lang TA, Sasic M. How to report statistics in Medicine.* American college of physicians. 1997. P. 147-166.
10. *Bewick V.I., Cheek L.I., Ball J.O.* Statistics review 13: Receiver operating characteristic curves. *Critical Care.* 2004. V. 8. P. 508 -512.

МИКОЛОГИЯ

УДК 632.4:582.288.45

К. М. Григорян, академик А. Л. Осипян, О. Юссеф

Микобиота сухого зерна кукурузы в Армении и ее токсигенность

(Представлено 22/VII 2009)

**Ключевые слова:** плесневые грибы, микотоксины, зеараленон, дезоксиниваленон, зерно кукурузы

Кукуруза является одной из основных пищевых и кормовых зерновых культур. При созревании и хранении семена кукурузы чаще других зерновых культур загрязняются плесневыми грибами и микотоксинами. Обзор научной литературы и накопленный нами опыт по фитопатологическому и микотоксикологическому анализу хранящегося сухого зерна кукурузы позволяет характеризовать этот продукт как благоприятную среду для развития плесневых грибов и продуцирования микотоксинов, опасных для здоровья человека и животных.

Состав микобиоты и степень ее токсичности на видовом и штаммовом уровне зависят от сочетания многих факторов, что и диктует необходимость региональных исследований.

Среди выявленных грибов доминирующими по числу видов являются роды *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* [1].

Выделяемые с зерна кукурузы виды известны как продуценты микотоксинов – фумонизинов, зеараленона, афлатоксинов и др. По данным Пелеагрини [2], наиболее характерным и специфичным для сухого зерна кукурузы является вид *F. moniliforme*, обладающий способностью продуцировать зеараленон (ЗОН), фумонизины, монилиформин и другие токсические метаболиты.

С присутствием фумонизина В<sub>1</sub> ряд авторов связывает нарастающий риск возникновения раковых заболеваний у населения, употребляющего зерно с высоким содержанием этого токсина [3-5]. Исследования зерновых,

в основном кукурузы, импортированных из стран Юго-Восточной Азии, выявили фумонизины в 50% образцов. В 48% случаев они присутствовали совместно с афлатоксинами [6-8].

Интенсивность образования и химический спектр микотоксинов зависят от многих факторов – почвено-климатических, условий хранения урожая, транспортировки и др. Токсигенность гриба резко возрастает при переходе с диких видов на культурные сорта сельскохозяйственных растений [9].

Возможность развития грибов и накопления микотоксинов не только в период вегетации кукурузы, но и в период хранения зерна делают актуальным вопрос изучения распространенности токсигенных грибов в различных регионах Армении.

В связи с этим проведено микотоксикологическое исследование, целью которого явилось выявление состава микобиоты, поражающей сухое зерно кукурузы из различных климато-географических районов Армении, установление токсичности штаммов мицелиальных грибов-контаминантов и пораженных сухих семян кукурузы, а также способности токсигенных грибов продуцировать следующие микотоксины: афлатоксин В<sub>1</sub>, дезоксиниваленол (ДОН) и ЗОН.

**Материал и методы.** Исследовано 37 образцов зерна местной кукурузы в период хранения.

Отбор проб и подготовку зерна для анализа на загрязненность микромицетами и микотоксинами проводили в соответствии с ISO 7698 [10]. Для выявления грибов-контаминантов использовали методы серийных разведений, влажных камер, а также непосредственный посев зерна на питательные среды: Чапек-агар, глюкозо-дрожжевой агар с хлорамфениколом [11]. Количество спор мицелиальных грибов в 1 г зерна определяли по ISO 76954 [10].

Чистые культуры грибов, выделенные из зерна кукурузы, идентифицировали до вида, используя известные руководства. Частоту встречаемости микромицетов определяли согласно Мирчинк [12].

Токсигенную активность штаммов и суммарного экстракта штаммов *F. moniliforme* и *F. culmorum*, а также суммарного экстракта из кукурузы определяли биотестированием [13]. Для этого грибы инкубировали на модифицированной жидкой среде Чапека-Докса. По истечении 20 суток инкубирования проводили экстракцию токсических метаболитов смесью ацетонитрил-вода (3:1). Биотестирование и хроматографический анализ грибных экстрактов на наличие микотоксинов проводили согласно [13,14].

**Результаты и обсуждение.** Микологическим анализом выявлено 33 вида и вариаций грибов-контаминантов из двух классов и 7 родов. Из класса

Zygomycetes обнаружен лишь вид *Rhizopus nigricans*. Остальные 32 вида относятся к митоспоровым грибам из класса *Hyphomycetes*. В их числе 11 видов относятся к роду *Penicillium*, 8 — *Aspergillus*, 9 — *Fusarium*, 2 — *Alternaria*, а *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Stemphylium* представлены по одному виду. Их развитие отмечается вскоре после сбора урожая на початках в виде обильного плесневого налета, нередко принимающего мозаичную окраску, обусловленную развитием комплекса грибов разной родовой и видовой принадлежности.

В последние годы в Армении наблюдается массовая колонизация початков кукурузы микромицетами из рода *Fusarium*. Изучение состава микобиоты зерна кукурузы показало, что оно практически повсеместно поражается видами *F. moniliforme*, *F. moniliforme* v. *minus*, *F. moniliforme* v. *subglutinans* и *F. culmorum*, которые потенциально могут контаминировать зерно микотоксинами.

Как явствует из табл. 1, контаминирующая зерно кукурузы микобиота представлена 8 доминантными видами, в основном из рода *Fusarium*, и 13 видами, для которых характерна редкая частота встречаемости. Редкая частота встречаемости характерна для 11 видов преимущественно из родов *Alternaria*, *Penicillium* и *Aspergillus*. К видам с умеренной частотой встречаемости относятся *Aspergillus ochraceus*, *A. flavus*, *A. niger*, *P. viridicatum*, *Cl. herbarum*, *F. sambucinum*, *Al. circinanas* и др.

Проведенные исследования показали, что среди 9 видов рода *Fusarium*, входящих в состав грибного сообщества на зерне кукурузы, доминирующее положение занимают виды *F. moniliforme*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum*. Особого внимания заслуживают политоксичный вид *F. moniliforme*, а также второй по значимости как компонент микоценозов *F. culmorum*, также обуславливающий контаминацию зерна ЗОН.

Результаты, представленные в табл. 2, показывают, что высокая степень заспоренности микромицетами, в пределах от  $2 \times 10^5$  до  $6 \times 10^5$  кое/г, наблюдается в образцах кукурузы из Иджеванского, Вайкского, Армавирского марзов. В исследованных образцах наблюдалось доминирование видов *F. moniliforme*, *C. herbarum*, *F. culmorum*, *F. roae*, *R. nigricans*. Из рода *Penicillium* на кукурузе из Армавирского марза наиболее часто встречается вид *P. atramentosum*. В образцах кукурузы из Вайка типично частыми являются виды *F. culmorum*, *F. roae*. Кукуруза из Гегаркуникского марза в подавляющем большинстве случаев контаминирована видами *P. viridicatum*, *P. crustosum*.

## Видовой состав грибов, выделенных из сухого зерна кукурузы

Класс грибов	Род гриба	Вид гриба	Частота встречаемости, %
Zygomycetes	Rhizopus	R. nigricans Ehrenb.	70.0
Hyphomycetes	Aspergillus	A. candidus Link	11.0
		A. clavatus Desm.	12.0
		A. flavus Link	34.0
		A. foetidus K.(Nakm.) Thom	13.0
		A. fumigatus Fresen.	37.0
		A. niger Tiegh.	40.0
		A. ochraceus Wilhelm	30.0
		A. terreus Thom	25.0
	Penicillium	P. atramentosum Thom	62.0
		P. camemberti Thom	9.0
		P. crustosum Thom	22.0
		P. cyclopium Westling.	11.0
		P. hordei Stolk	15.0
		P. nalgiovense Laxa	8.0
		P. puberulum Bainier	15.0
		P. roqueforti Thom v. punctatum S.Abe	10.0
		P. viridicatum Westing.	28.0
		P. velutinum Y.F.H.Beyma	11.0
		P. oxalicum Currie et Thom	5.4
	Alternaria	A. circinans Balle	8.1
		A. matthiolae Neerg.	5.4
	Cladosporium	C. herbarum(Pers ex Schleich.) Link	52.0
	Stemphylium	S. ilicis Tengwall	10.8
	Fusarium	F. avenaceum (Fr.) Sacc.	45.0
		F. culmorum(W. Simall) Sacc.	80.0
		F. moniliforme I. Sheldon	85.0
		F. moniliforme v. minus Wr.	65.0
		F. moniliforme v. subglutinans Wheld et Rg.	55.0
		F. poae (Peck) Wollenw.	32.4
		F. proliferatum (Wollenw.) Raillo	65.0
		F. sambucinum Fuckel	45.9
		F. solani (Mart) Appel.et Wollenw.	21.6

Примечание. 2.7-14% – редкая частота встречаемости; 14-51.4% – умеренная частота встречаемости.

>51.4% – высокая частота встречаемости, согласно Элькади и др.[11].

Проведен микотоксинологический анализ 20 образцов зерна кукурузы на присутствие микотоксинов – афлатоксина В<sub>1</sub>, ДОН и ЗОН (табл. 3). В 8 образцах, т.е. в 40% образцов кукурузы, выявлен ЗОН в количестве от 1 до 8 мг/кг. Афлатоксин В<sub>1</sub> и ДОН в исследуемых образцах не обнаружены.

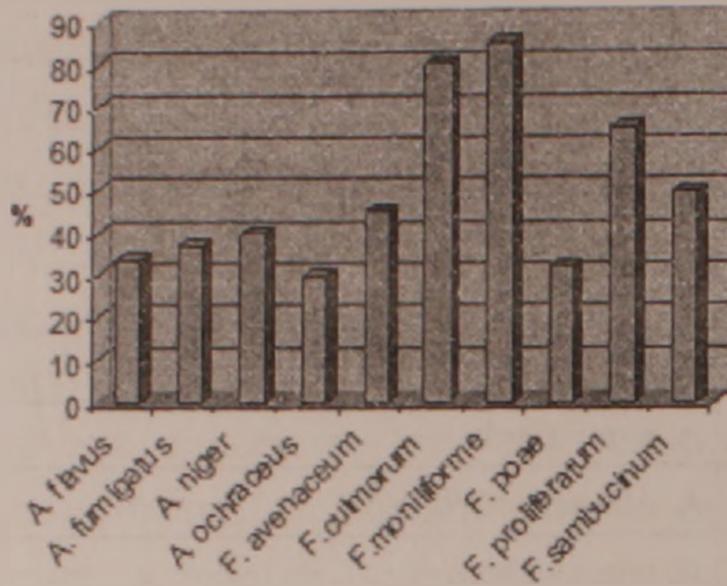


Рис. 1. Доминирующие виды из родов *Fusarium* и *Aspergillus* – контаминанты зерна кукурузы.

Таблица 2

Степень заспоренности образцов зерна кукурузы грибными контаминантами по марзам возделывания культуры в Армении

Доминирующие ассоциации	Марз	Степень заспоренности образцов, кое/г
<i>Fusarium moniliforme</i>	Котайкский	$5 \times 10^4$
<i>F. moniliforme</i> v. <i>minus</i> , <i>F. proliferatum</i>	Котайкский	$6 \times 10^4$
<i>F. moniliforme</i> , <i>F. moniliforme</i> v. <i>subglutinans</i> ,	Ширакский	$5 \times 10^4$
<i>Penicillium viridicatum</i> , <i>Aspergillus ochraceus</i>	Гегаркуникский	$3 \times 10^4$
<i>P. crustosum</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>F. avenaceum</i>	Гегаркуникский	$5 \times 10^4$
<i>F. moniliforme</i> , <i>Cladosporium herbarum</i> <i>F. moniliforme</i> v. <i>sublateritium</i> , <i>A. flavus</i> , <i>Alternaria circinans</i>	Иджеванский	$2 \times 10^5$
<i>F. culmorum</i> , <i>F. poae</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>A. niger</i> , <i>Rhizopus nigricans</i>	Вайкский	$3 \times 10^5$
<i>F. culmorum</i> , <i>R. nigricans</i> , <i>P. atramentosum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>A. ochraceus</i>	Армавирский	$6 \times 10^5$
<i>F. moniliforme</i> , <i>A. flavus</i> , <i>A. ochraceus</i> , <i>A. niger</i> , <i>R. nigricans</i> , <i>P. Atramentosum</i>	Армавирский	$6 \times 10^5$

Таблица 3

Результаты анализа экстрактов сухого зерна кукурузы, отобранной из различных районов Армении, на токсичность и содержание микотоксинов.

Образцы кукурузы по марзам	Содержание микотоксинов, мг/кг			Токсичность зерновых экстрактов биотестированием	
	ДОН	Афлатоксин В1	ЗОН	Artemia salina	Paramecium caudatum
Котайкский	-	-	1.0	+	+
Котайкский	-	-	5.0	+++	+++
Ширакский	-	-	3.1	++	++
Иджеванский	-	-	6.0	+++	+++
Вайкский	-	-	1.5	+	++
Армавирский	-	-	5.5	++	+++
Армавирский	-	-	8.0	+++	+++
Севанский	-	-	4.2	++	+++

Примечание. - - токсины не обнаружены; + - слабая токсичность, ++ - умеренная токсичность, +++ - острая токсичность по [5; 13].

Таблица 4

Токсинообразующая способность штаммов грибов, контаминирующих сухое зерно кукурузы

F. moniliforme, штамм	Степень токсичности, % гибели личинок A.salina	Микотоксины, мкг/л	
		ДОН	ЗОН
К-36	+++ (70)	-	3500
К-32	+++ (90)	-	5000
К-26	++ (52)	-	1500
К-22	++ (55)	-	1200
К-30	+ (35)	-	500
К-28	++ (57)	-	-
F. culmorum			
К-55	++ (50)	-	2700
К-50	++ (47)	-	1200
К-62	++ (56)	-	1500
К-66	- (9)	-	-
К-1015	+++ (85)	-	8000

Одновременно проводилось биотестирование суммарного экстракта зерна кукурузы на личинках *Artemia salina* и *Paramecium caudatum* с целью выявления степени токсичности зерна по областям произрастания растения. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.

Степень токсичности кукурузы находится в прямой зависимости от количественного содержания ЗОН в экстрактах. Высокая степень токсичности обнаружена у пяти образцов кукурузы с повышенной степенью заспоренности видами *F. moniliforme* и *F. moniliforme* v. *minus*, *F. culmorum*.

Проведен токсикологический анализ 11 штаммов грибов-контаминантов, относящихся к видам *F. moniliforme* и *F. culmorum* (табл.4). Все исследованные штаммы проявили токсичность, но в разной степени. Из 6 проанализированных штаммов *F. moniliforme* 5 вызвали гибель более 50% взятых для эксперимента личинок *Artemia salina*, из 5 штаммов *F. culmorum* — 3 штамма.

Все испытанные штаммы, за исключением двух (*F. moniliforme* К-28 и *F. culmorum* К-66), оказались продуцентами ЗОН. Максимальное количество зеараленона — более чем 8000 мкг/л жидкой питательной среды было обнаружено в экстракте, полученном из штамма *F. culmorum* К-1015.

Высокая частота встречаемости грибов, поражающих сухое зерно кукурузы, результаты по определению токсигенного потенциала и возможности продуцирования микотоксина зеараленона отдельными штаммами рода *Fusarium*, свидетельствуют об актуальности для Армении проблемы загрязнения кормовой и пищевой кукурузы токсигенными грибами. В связи с этим микотоксикологический контроль в республике должен быть усилен с целью предотвращения острых и хронических интоксикаций и микотоксикозов, которые могут быть вызваны у человека и сельскохозяйственных животных при употреблении контаминированного зерна кукурузы и продуктов его переработки.

Ереванский государственный университет

К. М. Григорян, академик Л. Л. Осипян, О. Юссеф

#### Микобиота сухого зерна кукурузы в Армении и ее токсигенность

Исследовано 37 образцов зерна местной кукурузы в период хранения. Выделено и идентифицировано 33 вида и вариаций грибов-контаминантов из двух классов и 7 родов. Среди 9 видов рода *Fusarium*, входящих в состав грибного сообщества на зерне кукурузы, доминирующее положение занимают виды *F. moniliforme*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum*. В 40% образцов кукурузы выявлен зеараленон

в количестве от 1 до 8 мг/кг. Афлатоксин В<sub>1</sub> и ДОН в исследуемых образцах не обнаружены.

Կ. Մ. Գրիգորյան, ակադեմիկոս Լ. Լ. Օսիպյան, Օ. Յուսեֆ

Նայաստանի եգիպտացորենի չոր հատիկների միկոբիոտան եւ նրա տոքսիգենությունը

Ուսումնասիրվել է տեղական եգիպտացորենի հատիկների 37 նմուշ՝ պահպանման ընթացքում: Անջատվել եւ նույնականացվել են աղտոտիչ սնկերի 33 տեսակներ եւ վարիացիաներ, որոնք պատկանում են 2 դասի եւ 7 ցեղի: Հերազտությունները ցույց տվեցին, որ եգիպտացորենի հատիկներն աղտոտող սնկերի համակցության կազմի մեջ մտնող *Fusarium* ցեղի 9 տեսակներից դոմինանտ են հանդիսացել *F. moniliforme*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum* տեսակները: Նմուշների 40%-ում հայտնաբերվել է զեառալենոն 1-8 մգ/կգ քանակներով: Հերազտավող նմուշներում աֆլատոքսին В<sub>1</sub> եւ դեօքսինիվալենոն չեն հայտնաբերվել:

K. M. Grigoryan, academician L. L. Osipyan, O. Yusef

*Mycoflora of Dried Grain of Corn in Armenia and its Toxigenity*

37 samples of local grain corn are investigated during the storage period. 33 species and variations of contaminant fungi from two classes and 7 genera are isolated and identified. Among 9 species of *Fusarium* genera which are a part of fungal association on corn grain, *F. moniliforme*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. sambucinum* species are dominants. ZON is revealed in 40% of samples of corn in quantity of 1-8 mg/kg. Aflatoxin B<sub>1</sub> and DON were not found in the investigated samples.

### Литература

1. Munoz L., Cardelle M., Pereiro M., Requera R. - J.Agr.Food Chem. 1990. V.38. N4. P.1004-1006.
2. Pellegrini D., Laurent Boccas B., Koheler F., Sauviam M., Platzer N. - Microbiol., Alim. Nutr. 1990. V. 8. (3). P. 249-256.
3. Nicacio M. S., Prado G., Linard V.R. - Agr.Biol.e Technol. 1995. V. 38. N3. P. 851-857.
4. Missmer S.A., Suarez L., Felkner M., Wang E., Merrill A.H., Jr., Rothman K.J., Hendricks K.A. - Environ. Health Perspect. 2006. V. 114. 237 p.
5. Marasas W.F.O., Shefard G.S., Sydenham E.W. - 1993. 93 ICC Int. Symp. Cereal Sci. and Technol. Impact Chang Africa. Pretoria. 1993. 9-13 May. P.58.

6. *Riley R.T., K.A. Voss* - Fumonisin: Mechanism of Mycotoxicity *Rev.med. (Fr)*. 1998. V. 146. P. 617-626.
7. *Bakan B., Melcion D., Richard-Molard D., Cahagnier B.* - *J. Agric. Food Chem.* 2002. V. 50 (4). P. 728-731.
8. *Zang H.* - *Rept. Nat. Food Res Inst.* 1998. V. 62. P.16.
9. *Монастырский О.А.* В сб.: Современ.проблемы микол. и фитопатол. МГУ. 1998. С.79-80.
10. NF ISO 7698-91; NF ISO 7954-88 Cereales, legumineuses et produits derives - Denombrement des bacteries, levures et moisissures. AFNOR. Paris. 1991. P. 330. 1988. P. 131.
11. Методы экспериментальной микологии (справочник), п/ред. Билай В.И. Киев. Наукова думка. 1982. 547 с.
12. *Мирчинк Т.Г.* Почвенная микология. Изд. МГУ. 1988. 220 с.
13. *D.M.Watson, D.G.Lindsay* - *J. Sci. Food. Agr.* 1982. V. 33. P. 59-67.
14. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов. М. "Брандес"- Медицина. 1998. 338 с.
15. *El-Kady I.A., Abdel-Hafez J.N., El-Maraghy S.S.* - *Mycopathologia.* 1982. N77. P. 103-109.