

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

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

Երևան

2006
Երևան

Yerevan

Հիմնադրվել 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. ԶԱԽԱՐՅԱՆ

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. ՀԱՍԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ,
ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՍԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, Լ. Ս. ՍԱՐԱԳՅԱՆ
(պատ. քարտուղար), ակադեմիկոս Ֆ. Տ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Մ. ՍԵՂՈՒԿՅԱՆ

Главный редактор академик В. С. ЗАХАРЯН

Редакционная коллегия: академик А. А. АВETИСЯН (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, Л. С. САРАФЯН (отв.
секретарь), академик Ф. Т. САРКИСЯН, академик Д. М. СЕДРАКЯН, академик А. А.
ТАЛАЛЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН

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, L. S. SARAFYAN (executive secretary), academi-
cian F. T. SARGSSIAN, academician D. M. SEDRAKIAN, academician Yu. H. SHOUKOURIAN,
academician A. A. TALALIAN

Խմբագրության հասցեն՝ 375019 Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24գ
Հեռ. 56-80-67 Խմբագրության վարիչ՝ Գ. Ա. Աբրահամյան

Адрес редакции: 375019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г

Тел. 56 - 80 - 67

Зав. редакцией Г. А. Абрамян

Communication links: address — 24g Marshal Bagramian Ave., Yerevan, 375019, Armenia

Phone (3741) 56 - 80 - 67

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

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Գ. Ա. Սարգսյան – Մի դիֆերենցիալ փնջի համար Նեյմանի համասեռ խնդրով ծնված սեփական ֆունկցիաների մասին 291

Ա. Ի. Պետրոսյան – Բազմաշրջանում ողորկ ֆունկցիաների հանրահաշիվների պիկի և միջարժևան բազմությունների մասին 297

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ռ. Մ. Կիրակոսյան – Սալի հաստությամբ շոշափող լարումների բաշխման ազդեցությունը մակերևութային շոշափող բեռների առկայության դեպքում 304

ԱՌԱՋԳԱՎԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Լ. Ա. Աղալովյան, Ռ. Ժ. Հովհաննիսյան – Եռաշերտ օրթոտրոպ սալի ստիպողական տատանումների բնույթը խառը եզրային խնդրում 312

ՖԻԶԻԿԱ

Մ. Հ. Ազարյան, Վ. Մ. Հարությունյան – Էլեկտրոնիկայում մանոհետազոտություններ կատարելու նպատակով մոտակա դաշտի ռեժիմ ստեղծելու հնարավորության մասին 319

Ա. Գ. Բազդոն, Ա. Վ. Շեկոյան – Ընդհանրացված ոչ գծային մագնիսահիդրոդինամիկ միջավայրի հավասարումները 327

Է. Մ. Ղազարյան, Ա. Ս. Կոստանյան, Հ. Ա. Սարգսյան – Դոնոր-ակցեպտոր անցումներով պայմանավորված օպտիկական կլանումը GaAs-ից քվանտային փոսում 332

ԱՆՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Ս. Զ. Պետրոսյան, Ն. Բ. Կնյազյան, Կ. Ա. Կոստանյան – V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2 համակարգի ապակիների ապակեզոյացումը, կառուցվածքային առանձնահատկությունները և էլեկտրահաղորդականությունը 341

ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ

Լ. Պ. Տեր-Թադևոսյան, Լ. Վ. Սարգսյան, Ի. Լ. Սսլանյան, Ա. Ա. Գալոյան – PRP-1-ի ազդեցությունը սպիտակ առնետների ոսկրածուծի որոշ ֆոսֆատազների վրա նորմայում և հիպոթալամուսի նեյրոսեկրետոր կորիզների (NPV և NSO) գրգռման դեպքում 349

Լ. Ս. Հովսեփյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Ա. Վ. Մելքունյան, Գ. Վ. Զաքարյան – Գլխուղեղի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայում լիպիդների պերօքսիդացիոն գործընթացի և օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման փոխադարձ կապը հիպօքսիայի ժամանակ 355

Հ. Կ. Բրդյան, Լ. Լ. Դանիլովա, Գ. Վ. Էլբակյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան – Թաղանթակախյալ ֆոսֆոլիպիդների կառուցվածքամետաբոլիկ խանգարումների բնութագիրը ադրենալինային հիպերգլիկեմիայից առաջացած օքսիդատիվ ստրեսի պայմաններում 360

Գ. Ռ. Աղամյան – Պրոլինոլ հարուստ պոլիպեպտիդի ազդեցությունը հակա- և պրոօքսիդանտային ակտիվության մետաղապրոտեինների էնդոգեն մակարդակի վրա սպիտակ առնետների հյուսվածքներում 368

ՍՈՒԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Զ. Ա. Խաչատրյան – Աղիքային միկրոբիոտայի կազմի փոփոխությունները պարբերական հիվանդության ժամանակ 374

Բովանդակություն 106-րդ հատորի 381

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Г. А. Саргсян* – О собственных функциях, порожденных однородной задачей Неймана, для одного дифференциального пучка 291
- А. И. Петросян* – О множествах пика и интерполяции гладких функций в полидиске..... 297

МЕХАНИКА

- Р. М. Киракосян* – Влияние распределения касательных напряжений по толщине пластинки при наличии касательных поверхностных нагрузок..... 304

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Л. А. Агаловян, Р. Ж. Оганесян* – О характере вынужденных колебаний трехслойной ортотропной пластинки при смешанной краевой задаче 312

ФИЗИКА

- М. Г. Азарян, В. М. Арутюнян* – О возможности создания режима ближнего поля для наноисследований в электронике 319
- А. Г. Багдоев, А. В. Шекоян* – Обобщенные нелинейные уравнения магнитогидродинамической среды 327
- Э. М. Казарян, А. А. Костанян, А. А. Саркисян* – Оптическое поглощение в квантовой яме из GaAs, обусловленное донор-акцепторными переходами..... 332

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- М. З. Петросян, Н. Б. Князян, К. А. Костанян* – Стеклование, структурные особенности и электропроводность стекол системы $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$ 341

БИОХИМИЯ

- Л. П. Тер-Татевосян, Л. В. Саркисян, И. Г. Асланян, А. А. Галоян* – Влияние PRP-1 на активность некоторых фосфатаз в костном мозге белых крыс в норме и при раздражении нейросекреторных ядер гипоталамуса (NPV и NSO) 349
- Л. М. Овсепян, К. Г. Карагезян, А. В. Мелкумян, Г. В. Захарян* – Взаимосвязь окислительного фосфорилирования и процесса перекисного окисления липидов в митохондриальной фракции головного мозга при гипоксии..... 355
- О. К. Бдоян, Л. Л. Данилова, Г. В. Элбакян, К. Г. Карагезян* – Характеристика структурно-метаболических нарушений мембраносвязанных фосфолипидов при оксидативном стрессе, индуцированном адреналиновой гипергликемией..... 360

- Г. Р. Агамян* – Воздействие пролин-богатого полипептида на эндогенный уровень металлопротеинов анти- и прооксидантной активности в тканях белых крыс..... 368

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- З. А. Хачатрян* – Изменения состава кишечной микробиоты при периодической болезни..... 374

- Содержание 106-го тома..... 381

CONTENTS

MATHEMATICS

<i>G. A. Sargsyan</i> – On Eigenfunctions Generated by Homogeneous Neyman Problem for a Differential Bundle.....	291
--	-----

<i>A. I. Petrosyan</i> – On Peak and Interpolation Sets of Algebras of Smooth Functions in the Polydisk ..	297
--	-----

MECHANICS

<i>R. M. Kirakosyan</i> – The Influence of Tangential Strains Distribution along Plates Thickness in the Case of Existence Tangential Surface Loading.....	304
--	-----

THEORY OF ELASTICITY

<i>L. A. Aghalovyan, R. Zh. Hovhannisyan</i> – On the Character of Forced Vibrations of the Three-layered Orthotropic Plates in the Mixed Boundary Problem	312
--	-----

PHYSICS

<i>M. H. Azaryan, V. M. Haroutyunyan</i> – On Simple Opportunity of Realizing Short-range Field Regime for Nano-investigations onto electronics	319
---	-----

<i>A. G. Bagdov, A. V. Shekoyan</i> – Non-linear Generalised Magnetohydrodynamic Media Equation ...	327
---	-----

<i>E. M. Kazaryan, A. A. Kostanyan, H. A. Sarkisyan</i> – Optical Absorption in GaAs Quantum Well Caused by Donor-acceptor Pair Transitions.....	332
--	-----

INORGANIC CHEMISTRY - <i>M. Z. Petrosyan, N. B. Knyazyan, academician K. A. Kostanyan</i> - Glassformation, Structural Features and Electrical Conductivity of Glasses of System $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$..	341
---	-----

BIOCHEMISTRY

<i>L. P. Tatevosian, L. V. Sarkissian, I. G. Aslanian, A. A. Galoyan</i> – Effect of PRP-1 on Activity of some Phosphatases in Rat Bone Marrow in Control and in Stimulation of Hypothalamic Nuclei (NPV and NSO)	349
---	-----

<i>L. M. Hovsepyan, K. G. Karageuzyan, H. V. Melcumyan, G. W. Zakaryan</i> – Interrelationship between Oxidation Phosphorilation and Lipid Peroxidation in Mitochondria of Brain under Hipoxia.....	355
---	-----

<i>H. K. Bdoyan, L. L. Danilova, V. E. Elbakyan, K. G. Karageuzyan</i> – Characteristics of Structural and Methabolic Abnormalities of Membrane-bound Phospholipids under the Conditions of Oxidative Stress, Conditioning by Adrenaline Inducted Hyperglycemia.....	360
--	-----

<i>G. R. Agamyan</i> – The Influence of Intraperitoneal Injected Proline-rich Polypeptide (PRP-1) on the Endogenous Level of Metalloproteins anti- and Prooxidative Activity in White Rats Tissues.....	368
---	-----

MOLECULAR BIOLOGY

<i>Z. A. Khachatryan</i> – Alterations in Gut Microbiota Composition in Familial Mediterranean Fever...	374
---	-----

Contents of 106 th volume.....	381
---	-----

УДК: 517.98

Г. А. Саргсян

О собственных функциях, порожденных однородной задачей Неймана, для одного дифференциального пучка

(Представлено академиком А. А. Талаляном 6/VI 2006)

Ключевые слова: смешанная задача, полнота, квадратичный пучок, собственная функция

В работе изучается краевая задача на собственные значения:

$$L_{\lambda}(u) = \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 2\lambda \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \lambda^2 \Delta u = 0, \quad (1)$$

$$Gu = \alpha u + \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\partial \Omega} = 0, \quad (2)$$

где Ω - круг с центром в начале координат, $\partial \Omega$ - единичная окружность, Δ - двумерный оператор Лапласа, n - внешняя нормаль к окружности $\partial \Omega$, $\alpha \geq 0$ - постоянное число. Собственным значением задачи (1), (2) назовем число λ , при котором существует функция u_{λ} , удовлетворяющая (1), (2), отличная от постоянной при $\alpha = 0$ и отличная от тождественного нуля при $\alpha > 0$. В [1] рассмотрена однородная краевая задача Дирихле на собственные значения:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + 2\lambda \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \lambda^2 \Delta u = 0, \quad (3)$$

$$u \Big|_{\partial \Omega} = 0 \quad (4)$$

где путем построения рекуррентных формул доказано существование полной системы полиномиальных собственных функций в комплексном соболевском гильбертовом

пространстве $H = \overset{0}{W}_2^1(\Omega) \oplus \overset{0}{W}_2^1(\Omega)$.

В [2] приводится явное представление полной совокупности полиномиальных собственных функций задачи (3), (4) в соболевском пространстве $H = \overset{0}{W}_2^1(\Omega) \oplus \overset{0}{W}_2^1(\Omega)$.

Для построения полной системы решений уравнения (1) удобнее построить системы решений этого уравнения, обращающихся в нуль на границе круга и являющихся полиномами по x, y . В дальнейшем для наших построений и формулировки полученных результатов удобно перейти от действительных x, y к комплексным переменным $z = x + iy, \bar{z} = x - iy$, и использовать комплексные операторы дифференцирования

$$\frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} - i \frac{\partial}{\partial y} \right), \quad \frac{\partial}{\partial \bar{z}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right).$$

Тогда краевую задачу (1), (2) можно записать в комплексной форме

$$\frac{\partial^2 u}{\partial \bar{z}^2} - [\mu_1(\lambda) + \mu_2(\lambda)] \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial \bar{z}} + \mu_1(\lambda) \mu_2(\lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0, \quad (5)$$

$$Gu = \alpha u + z \frac{\partial u}{\partial z} + \bar{z} \frac{\partial u}{\partial \bar{z}} \Big|_{\partial \Omega} = 0, \quad (6)$$

где

$$\mu_1(\lambda) = 1 - 2\lambda i, \quad \mu_2(\lambda) = \frac{1}{1 + 2\lambda i}. \quad (7)$$

Нами установлена двукратная полнота системы полиномиальных собственных функций задачи (1), (2) в гильбертовом пространстве H при $\alpha > 0$; когда же $\alpha = 0$, двукратная полнота собственных функций в соответствующем пространстве уже не имеет места.

Наряду с краевой задачей (5), (6) будем рассматривать следующую спектральную задачу Дирихле:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial \bar{z}^2} - [\mu_1(\lambda) + \mu_2(\lambda)] \frac{\partial^2 V}{\partial z \partial \bar{z}} + \mu_1(\lambda) \mu_2(\lambda) \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0, \quad (8)$$

$$V \Big|_{\partial \Omega} = 0. \quad (9)$$

Легко убедиться, что задача (5), (6) тесно связана с задачей Дирихле (8), (9), а именно, что собственные значения задачи (5), (6) одновременно являются и собственными значениями задачи Дирихле и - наоборот, если $\alpha \neq -1, 1 = 1, 2, 3, \dots$. Обозначим систему полиномиальных решений задачи (8), (9) через

$$V_{\lambda n}(z, \bar{z}), \quad (10)$$

что соответствует собственным значениям λ_n .

Заметим, что система (10) в соболевском пространстве $W_2^1(\Omega)$ является двукратно полной в смысле М. В. Келдыша [3]. Перейдем теперь к решению задачи (5), (6). Она состоит в нахождении функций из класса $C^2(\Omega) \cup C^1(\Omega)$, удовлетворяющих уравнению (5) в круге $\Omega: \{z\bar{z} < 1\}$ и граничным условиям (6) на границе $\partial\Omega: \{z\bar{z} = 1\}$.

В дальнейшем для наших построений существенную роль будут играть следующие полиномы:

$$P_n(z, \bar{z}, \mu) = \sum_{m=1}^{[n/2]} \frac{(-1)^m n C_{n-m-1}^{m-1} \mu^m (z + \mu\bar{z})^{n-2m}}{m}. \quad (11)$$

Приведем две вспомогательные леммы без доказательства, установленные нами в [2], характеризующие свойства полиномов $P_n(z, \bar{z}, \mu)$, которые используются в дальнейшем.

Лемма 1. Полиномы $P_n(z, \bar{z}, \mu)$ при $n = 2, 3, \dots$ удовлетворяют рекуррентному соотношению

$$P_{n+1}(z, \bar{z}, \mu) = (z + \mu\bar{z})P_n(z, \bar{z}, \mu) + (z + \mu\bar{z})^{n-1} - \mu P_n(z, \bar{z}, \mu). \quad (12)$$

Лемма 2. Полиномы $P_n(z, \bar{z}, \mu)$ на окружности круга Ω удовлетворяют рекуррентному соотношению

$$(z + \mu\bar{z})^n + P_n(z, \bar{z}, \mu)|_{z\bar{z}=1} = (z^n + \mu^n \bar{z}^n)|_{z\bar{z}=1}. \quad (13)$$

Общее решение уравнения (5) при любом значении параметра λ имеет вид

$$u(z, \bar{z}) = F_1(z + \mu_1(\lambda)\bar{z}) + F_2(z + \mu_2(\lambda)\bar{z}). \quad (14)$$

Перейдем к построению в явном виде полной совокупности нетривиальных полиномиальных решений краевой задачи (5), (6) при $\alpha > 0$. Легко проверить, что

$$GQ_n(z, \bar{z}, \mu) = P_n(z, \bar{z}, \mu), \quad (15)$$

где

$$Q_n(z, \bar{z}, \mu) = \sum_{m=1}^{[n/2]} \frac{(-1)^m n C_{n-m-1}^{m-1} \mu^m (z + \mu\bar{z})^{n-2m}}{(\alpha + n - 2m)m}, \quad n = 2, 3, \dots \quad (16)$$

Рассмотрим последовательность функции

$$u_{\lambda_k^n}(z, \bar{z}) = \left[\frac{(z + \mu_1\bar{z})^n}{\alpha + n} + Q_n(z, \bar{z}, \mu_1) \right] - \left[\frac{(z + \mu_2\bar{z})^n}{\alpha + n} + Q_n(z, \bar{z}, \mu_2) \right], \quad (17)$$

где

$$u = u_{\lambda_k^n}, \quad \lambda = \lambda_k^n, \quad \mu_1(\lambda) = \mu_2(\lambda) e^{-\frac{2\pi k i}{n}}, \quad n = 2, 3, \dots, \quad k = 1, 2, \dots, (n-1).$$

Теорема 1. *Функции u , построенные согласно формулам (17), являются системой полиномиальных собственных функций краевой задачи (5), (6), соответствующих собственным значениям λ_k^n , $k = 1, 2, \dots, (n-1)$, $n = 2, 3, \dots$, каждое из которых имеет бесконечную кратность.*

Доказательство. Функция $u_{\lambda_k^n}(z, \bar{z})$ представляет собой сумму двух слагаемых, отмеченных квадратными скобками в формуле (17), первое из которых является функцией от $(z + \mu_1 \bar{z})$, второе - функцией от $(z + \mu_2 \bar{z})$, и поэтому она удовлетворяет уравнению (5). Покажем, что функции $u_{\lambda_k^n}(z, \bar{z})$ удовлетворяют граничному условию (6). В самом деле, на основании леммы 2 и формулы (15) имеем

$$\begin{aligned} G u_{\lambda_k^n}(z, \bar{z}) \Big|_{z\bar{z}=1} &= [(z + \mu_1 \bar{z})^n + P_n(z, \bar{z}, \mu_1)] - [(z + \mu_2 \bar{z})^n + P_n(z, \bar{z}, \mu_2)] \Big|_{z\bar{z}=1} = \\ &= [(z + \mu_1 \bar{z})^n + P_n(z, \bar{z}, \mu_1)] \Big|_{z\bar{z}=1} - [(z + \mu_2 \bar{z})^n + P_n(z, \bar{z}, \mu_2)] \Big|_{z\bar{z}=1} = \\ &= (z^n + \mu_1^n \bar{z}^n) \Big|_{z\bar{z}=1} - (z^n + \mu_2^n \bar{z}^n) \Big|_{z\bar{z}=1} = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Собственные значения краевой задачи (5), (6) являются бесконечно кратными. Этот факт следует из того, что $\lambda_k^n = \lambda_{kp}^{np}$ при любом натуральном P и что собственные функции $u_{\lambda_k^n}(z, \bar{z})$, соответствующие собственному значению λ_k^n , как полиномы различных порядков линейно независимы. Теорема доказана.

Теорема 2. *Совокупность полиномиальных собственных функций (17) задач (5), (6) образует двукратно полную систему в гильбертовом пространстве $\overset{0}{W}_2^1(\Omega)$*

Доказательство. Известно, что система векторов

$$\left\{ V_{\lambda_v} = \begin{pmatrix} V_{\lambda_v} \\ \lambda_v \cdot V_{\lambda_v} \end{pmatrix} \right\}_{v=1}^{\infty} \quad (19)$$

образует полную систему в ортогональной сумме гильбертовых пространств $H = \overset{0}{W}_2^1(\Omega) \oplus \overset{0}{W}_2^1(\Omega)$. Так как

$$G u_{\lambda_v} = V_{\lambda_v}, \quad (20)$$

положим

$$\hat{G}\hat{u}_{\lambda\nu} = \begin{pmatrix} Gu_{\lambda\nu} \\ \lambda_\nu \cdot Gu_{\lambda\nu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{\lambda\nu} \\ \lambda_\nu \cdot V_{\lambda\nu} \end{pmatrix} = \hat{V}_{\lambda\nu}. \quad (21)$$

Пусть $\hat{W} \in H$ - произвольная вектор-функция с полиномиальными компонентами

$$\hat{W} = \begin{pmatrix} (1 - z\bar{z}^2) \cdot p(z, \bar{z}) \\ (1 - z\bar{z})^2 \cdot q(z, \bar{z}) \end{pmatrix}, \quad (22)$$

где p и q произвольные полиномы от z и $\bar{z}$. Тогда очевидно, что $G\hat{W} \in H$. Но, как показано в [4], вектор-функцию $G\hat{W}(z, \bar{z})$ можно представить в виде конечной комбинации собственных векторов $V_{\lambda\nu}$

$$G\hat{W} = \sum_\nu a_\nu \hat{V}_{\lambda\nu} = \begin{pmatrix} \sum_\nu a_\nu V_{\lambda\nu} \\ \sum_\nu \lambda_\nu a_\nu V_{\lambda\nu} \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Из (21) и (18) имеем

$$G\hat{W} = \sum_\nu a_\nu G\hat{u}_{\lambda\nu} = G \sum_\nu a_\nu \hat{u}_{\lambda\nu}. \quad (24)$$

В силу существования обратного оператора G^{-1} из (23) заключаем

$$\hat{W} = \sum_\nu a_\nu \hat{u}_{\lambda\nu}. \quad (25)$$

Но поскольку, как это показано в работе [4], множество полиномиальных векторов вида (22) всюду плотно в гильбертовом пространстве H , то теорема доказана.

Отметим, что полученные нами собственные значения расположены всюду плотно на кривой $|4\lambda^2 + 1| = 1$ в комплексной плоскости. Ясно, что для всякого собственного значения задачи Дирихле существуют собственные функции, которые исчезают в начале координат. Таким образом, в случае $\alpha > 0$ каждой собственной функции задачи Дирихле соответствует одна собственная функция (5), (6).

Рассуждая аналогично, легко получить собственные функции уравнения

$$\lambda^2 Lu + \lambda Nu + Mu = 0, \quad (26)$$

если L, N, M - линейные дифференциальные операторы второго порядка с постоянными коэффициентами, содержащие лишь вторые производные по x и y , причем тип уравнения (26) не играет роли.

Замечание. В случае $\alpha = 0$, т.е. задачи Неймана, оператор G принимает вид

$$G = z \frac{\partial}{\partial z} + \bar{z} \frac{\partial}{\partial \bar{z}}. \quad (27)$$

Этот оператор в пространстве всех полиномов не имеет обратного G^{-1} . Очевидно, что если задача Неймана имеет решение для некоторого λ , то соответствующее этому решению решение задачи Дирихле удовлетворяет условию $u(0,0) = 0$. В этом случае оператор G^{-1} можно применить на тех полиномах, которые обращаются в нуль в начале координат. Здесь уже те функции из систем $\{u_{\lambda_k}\}$, которые не исчезают в центре координат, не пригодны для наших целей. Таким образом, система полиномиальных собственных функций задачи Неймана не образует двукратно полную систему в гильбертовом пространстве $W_2^0(\Omega)$. Если $\alpha > 0$, то построенная совокупность полиномиальных собственных функций образует полную систему в $H = W_2^0(\Omega) \oplus W_2^1(\Omega)$, а при $\alpha = 0$ (задача Неймана) полнота нарушается.

Военный авиационный институт им. маршала А. Ханферянца

Литература

1. Зеленьяк Т. И. - ДАН СССР. 1964. Т. 158. №6. С. 1268-1270.
2. Саргсян Г. А. - Уч. зап. ЕГУ. 1994. №1 (180). С. 19-25.
3. Крейн М. Г., Лангер Г. К. - Тр. Междунар. симп. по применению т.ф.к.п. в механике сплошной среды. М. Наука. 1965.
4. Вирабян Г. В. - ДАН АрмССР. 1969. Т. 48. №2. С. 65-70.

Գ. Ա. Սարգսյան

**Մի դիֆերենցիալ փնջի համար Նեյմանի համասեռ խնդրով ծնված
սեփական ֆունկցիաների մասին**

Աշխատանքում կոորդինատների սկզբնակետը կենտրոն ունեցող միավոր շրջանում ուսումնասիրվում է (1)-(2) եզրային խնդիրը: Բացահայտ տեսքով կառուցվում է այդ խնդրի բազմանդամային սեփական ֆունկցիաների համախումբը՝ համապատասխան սեփական արժեքների: Ապացուցվում է, որ երբ $\alpha > 0$, ապա բազմանդամային սեփական ֆունկցիաների համախմբությունը կազմում է լրիվ համակարգ $H = \overset{0}{W}_2^1(\Omega) \oplus \overset{0}{W}_2^1(\Omega)$ - ում, իսկ սահմանային դեպքում, երբ $\alpha = 0$, լրիվությունը խախտվում է:

G. A. Sargsyan

**On Eigenfunctions Generated by Homogeneous Neyman
Problem for Differential Bundle**

The boundary-value problem (1)-(2) in the unit disk centered in the origin is studied. For the problem in explicit form a system of polynomial eigen functions corresponding to the polynomial eigenvalues is constructed. We prove that these functions for $\alpha > 0$ compose a complete system in $H = \overset{0}{W}_2^1(\Omega) \oplus \overset{0}{W}_2^1(\Omega)$, while in the limit case $\alpha = 0$ the completeness is not valid.

УДК 517.55

А. И. Петросян

О множествах пика и интерполяции гладких функций в полидиске

(Представлено академиком Н. У. Аракеляном 7/VII 2006)

Ключевые слова: полидиск, пик, интерполяция, гладкие функции

1. Работа посвящена исследованию множеств пика и тесно связанных с ними множеств интерполяции для алгебр $A^{m,\alpha}(U^n)$. Приведем необходимые определения. Пусть

$U^n = \{z = (z_1, \dots, z_n) \in \mathbb{C}^n : |z_i| < 1, i = 1, \dots, n\}$ - единичный полидиск в

пространстве $\mathbb{C}^n$;

$T^n = \{z \in \mathbb{C}^n : |z_i| = 1, i = 1, \dots, n\}$ - его остов.

Для заданного целого числа $m, m \geq 0$, и $\alpha \in (0,1]$ обозначим через $A^m(U^n)$ алгебру функций, голоморфных в U^n , производные которых порядка m непрерывно продолжаются на замыкание $\bar{U}^n$, и через $A^{m,\alpha}(U^n)$ - подалгебру $A^m(U^n)$, состоящую из функций, у которых производные порядка m удовлетворяют в U^n условию Гёльдера порядка α . Аналогично обозначаются подалгебры $C^m(T^n)$ и $C^{m,\alpha}(T^n)$ алгебры $C(T^n)$ функций, непрерывных на остоле T^n .

Компактное подмножество K остола называется *множеством пика* для $A^m(U^n)$ или $A^{m,\alpha}(U^n)$, если существует функция $f \in A^{m,\alpha}(U^n)$ (соответственно, $f \in A^m(U^n)$) такая, что $f = 1$ на K и $|f(z)| < 1$ для всех $z \in \bar{U}^n \setminus K$.

Это условие можно задать в эквивалентной форме: существует функция f такая, что

$$f(z) = 0, \text{ при } z \in K, \text{ и } \operatorname{Re} f(z) > 0 \text{ при } z \in \bar{U}^n \setminus K. \quad (1)$$

Компакт K называется *интерполяционным множеством* для $A^m(U^n)$ или $A^{m,\alpha}(U^n)$, если для каждой функции f из $C^p(T^n)$ (соответственно, $C^{p,\alpha}(T^n)$) существует $F \in A^m(U^n)$ ($F \in A^{m,\alpha}(U^n)$), которая равна f на K .

2. Задаче описания множеств пика и интерполяции для различных функциональных алгебр посвящено немало работ. Наиболее полно исследован случай полидиск-алгебры $A(U^n) = A^0(U^n)$. Хорошо известно (см. например [1]), что множества пика и интерполяции $K \subset T^n$ характеризуются тем, что *вариация любой ортогональной меры на них равна нулю*, т. е. условие $|\mu(K)| = 0$ выполняется для всякой борелевской меры μ на T^n такой, что $\mu \perp A(U^n)$. Согласно классической теореме М. и Ф. Риссов, всякая мера, ортогональная к диск-алгебре A

(U), абсолютно непрерывна. Поэтому в одномерном случае (т. е. $n = 1$) множества пика и интерполяции для $A(U)$ суть замкнутые подмножества окружности лебеговой меры нуль.

Для алгебр гладких функций (т. е. при $m \geq 1$) дело обстоит иначе. Уже в одномерном случае множества пика и интерполяции не совпадают: множества пика конечны, (см. [2]), а интерполяционные множества могут быть и бесконечными и определяются условием, которое дано в [3].

Многомерный случай исследован меньше. Для формулировки результатов нам нужно следующее понятие.

Определение. Гладкое подмногообразие M остова T^n называется *интерполяционным многообразием*, если в каждой точке $q \in M$ касательное пространство $T_q(M)$ пересекается с замкнутым положительным конусом C_q на $T_q(T^n)$, образованным касательными векторами

$$\partial/\partial\theta_1|_q, \dots, \partial/\partial\theta_n|_q, \quad \theta_i = \arg z_i.$$

только в начале координат.

Отметим, что, очевидно, размерность M не превосходит $n - 1$.

3. В работах [4] и [5] доказано следующее необходимое условие: *если K является множеством пика для $A^m(U^n)$, $m \geq 1$, то в некоторой окрестности множества K существует интерполяционное многообразие M гладкости C^m такое, что $K \subset M$* . Интересно отметить, что этот результат неулучшаем в том смысле, что в общем случае не существует замкнутого подмногообразия M остова с перечисленными свойствами. В статье приведен соответствующий пример.

В [4] исследована также достаточность этого условия и доказано, что *всякое компактное подмножество интерполяционного многообразия класса C^m является множеством пика для $A^{m-4}(U^n)$* . В теореме 1 этот результат усиливается.

Теорема 1. *Всякое компактное подмножество интерполяционного подмногообразия класса $C^{m,\alpha}$, $m \geq 3$, на остоле полидиска U^n является множеством пика для $A^{m-1,\alpha}(U^n)$.*

Доказательство теоремы 1 основано на конструкции так называемой "почти аналитической" функции пика (теорема 2), а также на оценке роста производных решения соответствующего $\bar{\partial}$ -уравнения при подходе к особенностям правой части (лемма 2). При этом достаточно ограничиться компактными подмножествами интерполяционного подмногообразия, имеющего максимально возможную размерность, т. е. $n - 1$. Это следует из следующей леммы:

Лемма 1. *Пусть M - интерполяционное $C^{m,\alpha}$ -гладкое подмногообразие остова T^n , имеющее размерность k , $k \leq n - 1$. Тогда на T^n существует $(n - 1)$ -мерное интерполяционное подмногообразие $\tilde{M}$ той же гладкости и такое, что $M \subset \tilde{M}$.*

Теорема 2. *Пусть M - интерполяционное подмногообразие размерности $n - 1$ остола полидиска класса $C^{m,\alpha}$, $m \geq 3$, K - компакт на M . Тогда в некоторой окрестности Ω этого компакта существуют функция $F \in C^{m,\alpha}(\Omega)$ и константа $\gamma > 0$ такие, что*

- a) $F(z) = 0$ тогда и только тогда, когда $z \in K$;
- b) $\operatorname{Re} F(z) \geq \gamma d(z, M)^2$ ($z \in \bar{U}^n \cap \Omega$), где $d(z, M)$ - расстояние между z и M ;
- c) $\bar{\partial}F = O[d(z, M)]^{m-1+\alpha}$;
- d) $|F(z)| \geq \gamma d(z, M)$ ($z \in \bar{U}^n \cap \Omega$).

Доказательство. Пусть D - строго псевдовыпуклая область с границей класса $C^{m,\alpha}$, в которую полидиск U^n вложен следующим образом:

- 1° $\bar{U}^n \setminus T^n \subset D$,
- 2° $T^n \subset \partial D$,
- 3° $T_z(M) \subset T_z^c(\partial D)$ для всех $z \in M$

где $T_z^c(\partial D)$ - комплексная гиперплоскость, содержащаяся в $T_z(\partial D)$. Условие 3° означает, что M является комплексно-касательным подмногообразием ∂D . Способ построения такой области D изложен в [6].

Далее, в работе [7] (см. также [8]) доказано, что в некоторой окрестности Ω компакта K существует "почти аналитическая" функция пика F , удовлетворяющая условиям а) и б) для области D , и, следовательно, для вложенного в D полидиска U^n . Кроме этого, $\bar{\partial}F = 0$ на $\Omega \cap M$ вместе со всеми производными порядка до $m - 1$ включительно. Поскольку $\bar{\partial}F \in C^{m-1,\alpha}(\Omega)$, то $\bar{\partial}F(z) = O[d(z, M)]^{m-1+\alpha}$, т. е. имеет место с).

Отметим, что $F = u + iv$ обладает также следующим свойством:

$$\operatorname{grad} u(z) = -\frac{\chi_z}{\|\chi_z\|^2} \quad \text{и} \quad \operatorname{grad} v(z) = -\frac{\tau_z}{\|\tau_z\|^2}, \quad (2)$$

где χ_z - вещественная нормаль в точке z к границе области D , $\tau_z = J\chi_z$, а J - оператор в $\mathbb{R}^{2n}$, который соответствует умножению на мнимую единицу i в пространстве $\mathbb{C}^n \simeq \mathbb{R}^{2n}$.

Чтобы доказать свойство d), достаточно показать, что для любой точки $z \in M$ вдоль направления, касательного к остоу и ортогонального к $T_z(M)$, производная функции F отлична от нуля.

В самом деле, из условия $M \subset \partial D$ следует, что $T_z(M) \perp \chi_z$. Так как M имеет комплексно-касательное направление на ∂D , то $JT_z(M) \subset T_z^c(\partial D)$, поэтому $JT_z(M) \perp \chi_z$, или, что то же, $T_z(M) \perp \tau_z$. Очевидно,

$$T_z(T^n) \perp JT_z(T^n) \quad \text{и} \quad T_z(T^n) \oplus JT_z(T^n) = \mathbf{R}^{2n}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что $T_z(M) \perp JT_z(M)$ и размерность $T_z(M) \oplus JT_z(M)$ составляет $2n - 2$. Таким образом, $T_z(M) \oplus JT_z(M)$ является ортогональным дополнением в $\mathbf{R}^{2n}$ комплексной нормали $N_z^c = \mathbf{R}[\chi_z] \oplus \mathbf{R}[\tau_z]$ к ∂D в точке z .

Пусть вектор ξ касателен к остову в точке z , т. е. $\xi \in T_z(T^n)$, и ортогонален к $T_z(M)$. Из (3) следует, что ξ ортогонален также и к $T_z(M) \oplus JT_z(M)$, поэтому $\xi \in N_z^c$. С другой стороны, $\xi \perp \tau_z$, откуда следует, что вектор ξ параллелен τ_z . Так как согласно (2) τ_z направлен вдоль градиента v , то $\xi v \neq 0$, следовательно, $\xi F \neq 0$, т. е. вдоль направления ξ производная F отлична от нуля.

Замечание. Обратим внимание на то, что в неравенстве d) $d(z, M)$ участвует в первой, а не во второй степени, как это имеет место в случае строго псевдовыпуклой области. Это улучшение оценки является следствием того, что в отличие от границы строго псевдовыпуклой области остов полидиска не имеет комплексных касательных векторов.

Пусть K - компактное подмножество интерполяционного многообразия M , окрестность Ω и функция F удовлетворяют заключению теоремы 2. Пусть, далее, λ - вещественная функция класса C^∞ с носителем внутри Ω такая, что $0 \leq \lambda \leq 1$ и $\lambda = 1$ в некоторой окрестности множества K . Определим $(0,1)$ -форму g на $\bar{U}^n \setminus K$

$$g = \begin{cases} \bar{\partial} \left(\lambda \frac{1}{F} \right), & \text{в } \Omega \\ 0, & \text{вне } \Omega. \end{cases}$$

Лемма 2. В области U^n уравнение $\bar{\partial}u = g$ имеет решение $u(z)$, бесконечно дифференцируемое на множестве $\bar{U}^n \setminus M$ и удовлетворяющее условиям:

$$1^\circ \quad \partial^{|p|} u(z) / \partial z_1^{p_1} \dots \partial z_n^{p_n} \text{ ограничена в } U^n \text{ при } 0 \leq |p| \leq m - 3;$$

$$2^\circ \quad \partial^{|p|} u(z) / \partial z_1^{p_1} \dots \partial z_n^{p_n} = O[d(z, M)]^{m-3-|p|+\alpha} \text{ при } m - 2 \leq |p| \leq m.$$

При доказательстве использованы формулы из [9] для решения $\bar{\partial}$ -уравнения в полидиске, а также рекуррентные формулы для производных, полученные в [10].

Доказательство теоремы 1. Пусть компакт $K \subset M$. В силу леммы 1 можно считать, что M имеет размерность $n - 1$. Пусть, далее, функции $F(z)$ и $u(z)$ те же, что в теореме 2 и лемме 2. Рассмотрим функцию

$$v(z) = \frac{\lambda(z)}{F(z)} - u(z).$$

Имеем $\bar{\partial}v = \bar{\partial}\frac{\lambda}{F} - \bar{\partial}u = g - \bar{\partial}u = 0$, т. е. $v(z)$ голоморфна в области U^n .
Далее,

$$\operatorname{Re} v = \lambda \frac{\operatorname{Re} F}{|f|^2} - \operatorname{Re} u. \quad (4)$$

Согласно лемме 2, функция $u(z)$ ограничена на $\bar{U}^n$. Поэтому с учетом пункта б) теоремы 2 из (4) имеем

$$\operatorname{Re} v(z) \geq -\max_{z \in \bar{U}^n} \operatorname{Re} u(z) > -\infty.$$

Добавив в случае необходимости к функции $u(z)$ соответствующую константу, можно считать, что

$$\operatorname{Re} v(z) > 0 \quad \text{при } z \in \bar{U}^n \setminus K. \quad (5)$$

Покажем, что функция

$$f(z) = \frac{1}{v(z)} = \frac{F(z)}{\lambda(z) - u(z)F(z)} \quad (6)$$

является искомой функцией пика. Прежде всего $f(z)$ голоморфна в U^n и, как следует из (5) и (6), $\operatorname{Re} f(z) > 0$ при $z \in \bar{U}^n \setminus K$. Далее, нули $f(z)$ совпадают с нулями $F(z)$, т.е. ввиду пункта а) теоремы 2, с множеством K . Таким образом, f удовлетворяет условиям (1). Остается проверить, что $f \in A^{m-1, \alpha}(U^n)$. В силу теоремы Харди-Литтлвуда достаточно показать, что $D^j f(z) = O[d(z, M)]^{\alpha-1}$ для любого целочисленного вектора j такого, что $|j| = m$. Функция f на множестве $\bar{U}^n \setminus K$ бесконечно дифференцируема, поэтому достаточно рассмотреть ее лишь в окрестности множества K , где имеем

$$f(z) = \frac{F(z)}{1 - u(z)F(z)}.$$

Выражение для $D^j f$ содержит производные $D^p u$, $|p| = 0, 1, \dots, m$. Согласно лемме 2 при $0 \leq |p| \leq m - 3$ они ограничены, а при $|p| = m - 2$ имеют порядок роста $O[d(z, M)]^{\alpha-1}$. С другой стороны, согласно той же лемме, производные $D^p u$ порядка $|p| = m - 1$ и $|p| = m$ при подходе к M имеют больший порядок роста, а именно, $O[d(z, M)]^{\alpha-2}$ и $O[d(z, M)]^{\alpha-3}$ соответственно. Нетрудно

убедиться в том, что слагаемые в выражении $D^j f$, которые содержат эти производные, имеют соответствующие сомножители F и F^2 , которые "гасят" излишний рост, поэтому согласно пункту d) теоремы 2 указанные слагаемые также имеют порядок роста $O[d(z, M)]^{\alpha-1}$.

Следствие. *Всякое компактное подмножество интерполяционного подмногообразия класса C^m , $m \geq 4$, на остоле полидиска U^n является множеством пика для $A^{m-2,1}(U^n)$.*

Далее доказана следующая интерполяционная

Теорема 3. *Пусть $m \geq 3$, $\alpha \in (0,1)$ и пусть K - компактное подмножество интерполяционного подмногообразия гладкости $C^{m,\alpha}$ на остоле T^n полидиска U^n . Тогда*

- а) *для заданной $f \in C^m(T^n)$ существует функция $F \in A^{m-1,\alpha}(U^n)$ такая, что $F|_K = f|_K$,*
- б) *для заданной $f \in C^{m-1,\alpha}(T^n)$ существует функция $F \in A_n^{m-1,\alpha}(U^n)$ такая, что $F|_K = f|_K$.*

В утверждении (б) под $A_n^{m-1,\alpha}$ подразумевается подмножество функций из A^{m-1} , у которых все производные порядка $m-1$ допускают модуль непрерывности $\gamma \delta^\alpha (\log[1/(\delta)])^{k-1}$, где γ - некоторая константа. Таким образом, например, $A_1^{m-1,\alpha} = A^{m-1,\alpha}$.

Ереванский государственный университет
Институт математики НАН РА

Литература

1. Рудин У. Теория функций в поликруге. М. Мир. 1974. 160 с.
2. Taylor B. A., Williams D. L. - Proc. Amer. Math. Soc. 1970. V. 24. P. 604-606.
3. Alexander H., Taylor B. A., Williams D. L. - J. Math. Anal. Appl. 1971. V. 36. N3. P. 556-566.
4. Saerens R., Stout E. L. - Preprint. University of Washington. Seattle. Wash. 1984.
5. Saerens R. - Ann. Scuola Norm. Super. Pisa Cl. Sci. 1984. V. 11. N4. P. 177-211.
6. Tumanov A. E., Henkin G. M. - Amer. Math. Soc. Transl. 1980. V. 115. N2. P. 74-86.
7. Chaumat J., Chollet A. M. - Ann. Inst. Fourier (Grenoble) 1979. V. 29. N3. P. 171-200.
8. Владимиров В. С., Сергеев А. Г. - Итоги науки и техники. 1985. Т. 8. С. 191-266.
9. Charpentier P. - Ann. Inst. Fourier (Grenoble). 1980. V. 30. N4. P. 121-154.
10. Петросян А. И. - Изв. АН Армении. Математика. 1991. Т. 26. N2. С. 99-107.

Ա. Ի. Պետրոսյան

**Բազմաշրջանում ողորկ ֆունկցիաների հանրահաշիվների պիկի և միջարկման
բազմությունների մասին**

Ապացուցված է, որ $C^{m,\alpha}$ ողորկություն ունեցող ինտերպոլյացիոն բազմաձևության ամեն մի K կոմպակտ ենթաբազմություն պիկի բազմություն է $A^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$ -ի համար: Բացի դրանից, ստացվել է հետևյալ արդյունքը. ամեն մի $f \in C^m(\mathbf{T}^n)$ ֆունկցիայի համար գոյություն ունի $F \in A^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$ այնպիսին, որ $F|_K = f|_K$: Իսկ եթե f -ը պատկանում է $C^{m-1,\alpha}(\mathbf{T}^n)$ -ին, ապա միջարկող F ֆունկցիան կարելի է ընտրել $A_n^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$ -ից:

A. I. Petrosyan

On Peak and Interpolation Sets of Algebras of Smooth Functions in the Polydisk

It is proved, that any compact subset K of an interpolation $C^{m,\alpha}$ -smooth manifold on the distinguished boundary of unit polydisc $\mathbf{U}^n$ is a peak set for the algebra of smooth functions $A^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$. Besides, the following interpolation result is obtained: For given $f \in C^m(\mathbf{T}^n)$ there is $F \in A^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$ with $F|_K = f|_K$. If given f belongs to $C^{m-1,\alpha}(\mathbf{T}^n)$, then the interpolating function F can be chosen from $A_n^{m-1,\alpha}(\mathbf{U}^n)$.

УДК 531.8

Р. М. Киракосян

Влияние распределения касательных напряжений по толщине пластинки при наличии касательных поверхностных нагрузок

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 26/VII 2006)

Ключевые слова: *пластинка, ортотропия, поправочные коэффициенты, касательные напряжения, форма распределения*

Известно ([1]-[3] и др.), что если уточненная теория пластин строится на основе гипотез для перемещений, то с целью повышения точности вводятся поправочные коэффициенты K_x, K_y , учитывающие влияние форм распределения касательных напряжений τ_{xz}, τ_{yz} по толщине пластинки. Если же теория пластин опирается на гипотезы для касательных напряжений (например [4]), то законы распределения этих напряжений непосредственно участвуют в построении теории и необходимость введения поправочных коэффициентов автоматически отпадает.

В настоящей статье с использованием принципа виртуальных работ обобщаются выражения коэффициентов K_x, K_y на случай действия произвольных нагрузок. Используя эти выражения и опираясь на гипотезы для перемещений, получены соотношения и уравнения ортотропных пластин, которые позволяют учитывать влияние форм распределения напряжений τ_{xz}, τ_{yz} и при наличии касательных поверхностных нагрузок. Приводятся примеры приложения. Полученные результаты сравниваются с соответствующими результатами теории [5], которая не учитывает влияния форм распределения напряжений τ_{xz}, τ_{yz} по толщине пластинки.

Литературу об истории развития различных теорий пластин и оболочек, а также многочисленные их приложения можно найти в монографиях [6]-[12] и др.

1. Рассмотрим прямоугольную ортотропную пластинку постоянной толщины h . Координатную плоскость $хоу$ совместим со срединной плоскостью пластинки, а ось $оз$ направим вертикально вниз. Главные направления анизотропии материала параллельны координатным осям. Пластинка несет произвольные нагрузки. Проекции интенсивностей поверхностных нагрузок на оси $ох, оу, оз$ обозначим $X^\pm, Y^\pm, Z^\pm$. Знаки "+" и "-" относятся к поверхностям $z = +h/2$ и $z = -h/2$ соответственно.

В качестве основополагающих гипотез примем:

- а) перемещения по осям $ох$ и $оу$, т.е. перемещения u_x и u_y , являются линейными функциями поперечной координаты z ;
- б) перемещение u_z , нормальное к срединной плоскости, по толщине пластинки не меняется;
- в) напряжение σ_z пренебрежительно мало.

На основе этих допущений имеем:

$$\begin{aligned}u_x &= u(x,y) + z\varphi(x,y), \\u_y &= v(x,y) + z\psi(x,y), \\u_z &= w(x,y)\end{aligned}\tag{1.1}$$

Здесь u, v, w, φ, ψ - искомые функции.

В силу (1.1) основные напряжения $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ будут иметь линейное распределение по толщине пластинки. Тогда согласно дифференциальным уравнениям равновесия сплошной среды касательные напряжения τ_{xz} и τ_{yz} вдоль толщины пластинки будут изменяться по закону квадратной параболы. Имея в виду это обстоятельство, после удовлетворения условиям на поверхностях $z = \pm h/2$ получим:

$$\tau_{xz} = \frac{3Q_x}{2h} \left(1 - \frac{4z^2}{h^2} \right) - \frac{X_1}{2} \left(1 - \frac{12z^2}{h^2} \right) + \frac{z}{h} X_2,\tag{1.2}$$

$$\tau_{yz} = \frac{3Q_y}{2h} \left(1 - \frac{4z^2}{h^2} \right) - \frac{Y_1}{2} \left(1 - \frac{12z^2}{h^2} \right) + \frac{z}{h} Y_2,$$

Здесь Q_x, Q_y - поперечные силы,

$$X_1 = \frac{X^+ - X^-}{2}, \quad Y_1 = \frac{Y^+ - Y^-}{2}, \quad X_2 = X^+ + X^-, \quad Y_2 = Y^+ + Y^-.\tag{1.3}$$

С целью определения прогиба некоторой точки пластинки в этой точке по направлению искомого прогиба мысленно приложим единичную силу. Возникшие от этой силы касательные напряжения будут:

$$\tau_{xz}^{(1)} = \frac{3Q_x^{(1)}}{2h} \left(1 - \frac{4z^2}{h^2} \right), \quad \tau_{yz}^{(1)} = \frac{3Q_y^{(1)}}{2h} \left(1 - \frac{4z^2}{h^2} \right).\tag{1.4}$$

Здесь $Q_x^{(1)}$ и $Q_y^{(1)}$ - поперечные силы, вызванные действием единичной силы.

Согласно принципу виртуальных работ, работа единичной силы на том перемещении данной точки пластинки, которое вызвано реально действующей нагрузкой, равна суммарной работе напряжений, соответствующих единичной силе, на действительных деформациях пластинки [2]. С целью определения вклада деформаций поперечных сдвигов рассмотрим работу только напряжений $\tau_{xz}^{(1)}$ и $\tau_{yz}^{(1)}$ на соответствующих реальных деформациях поперечных

сдвигов γ_{xz} и γ_{yz} . Учитывая, что

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{B_{55}}, \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{B_{44}}, \quad (1.5)$$

и имея в виду (1.2), (1.4), для поправки к классическому значению прогиба после интегрирования по толщине пластинки получим

$$\Delta w = \int_v (\tau_{xz}^{(1)} \cdot \gamma_{xz} + \tau_{yz}^{(1)} \cdot \gamma_{yz}) dv = \frac{1}{h} \int_s \left[K_x \frac{Q_x Q_x^{(1)}}{B_{55}} + K_y \frac{Q_y Q_y^{(1)}}{B_{44}} \right] ds. \quad (1.6)$$

Здесь B_{55} , B_{44} - модули сдвига материала в плоскостях xoz, yoz [4], v - объем пластинки, s - площадь ее срединной плоскости. Коэффициенты K_x и K_y имеют выражения:

$$K_x = -\frac{6}{5} - \frac{X_1 h}{5Q_x}, \quad K_y = -\frac{6}{5} - \frac{Y_1 h}{5Q_y}. \quad (1.7)$$

В выражениях (1.7) параметры нагрузок X_2 и Y_2 не фигурируют, поскольку относятся к плоской задаче, а не задаче изгиба пластинки. Если же не учитывать влияния форм распределения напряжений τ_{xz}, τ_{yz} по толщине пластинки, т.е. вместо (1.2) использовать средние значения напряжений

$$\tau_{xz}^{cp} = \frac{Q_x}{h}, \quad \tau_{yz}^{cp} = \frac{Q_y}{h}, \quad (1.8)$$

то взамен (1.6) получится

$$\Delta w = \frac{1}{h} \int_s \left[\frac{Q_x Q_x^{(1)}}{B_{55}} + \frac{Q_y Q_y^{(1)}}{B_{44}} \right] ds. \quad (1.9)$$

Сравнивая (1.6) и (1.9), заключаем, что коэффициенты K_x и K_y учитывают влияние форм распределения напряжений τ_{xz}, τ_{yz} по толщине пластинки. При отсутствии касательных поверхностных нагрузок $X_1 = Y_1 = 0$ и коэффициенты K_x, K_y принимают постоянное по всей пластинке известное значение "6/5" ([1]-[3] и др.).

2. Значения приведенных деформаций поперечных сдвигов $\bar{\gamma}_{xz}$ и $\bar{\gamma}_{yz}$, одинаковых для всех точек данного сечения пластинки, определяются формулами

$$\bar{\gamma}_{xz} = K_x \frac{Q_x}{B_{55}h}, \quad \bar{\gamma}_{yz} = K_y \frac{Q_y}{B_{44}h}. \quad (2.1)$$

С другой стороны, в силу допущений (1.1) имеем:

$$\bar{\gamma}_{xz} = \varphi + \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \bar{\gamma}_{yz} = \psi + \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (2.2)$$

Из (2.1) и (2.2) для поперечных сил находим:

$$Q_x = -\frac{5}{6} B_{55}h \left(\varphi + \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{X_1 h}{6}, \quad Q_y = -\frac{5}{6} B_{44}h \left(\psi + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{Y_1 h}{6}. \quad (2.3)$$

Соотношения (2.3) вместе с допущениями (1.1) позволяют получить уравнения пластин, способных учитывать влияние форм распределения касательных напряжений τ_{xz}, τ_{yz} по толщине пластинки и при отсутствии поперечных сил.

Пользуясь (1.1) и соотношениями обобщенного закона Гука, при пренебрежении напряжением σ_z , для основных напряжений, моментов и остальных усилий пластинки получим:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= B_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + B_{12} \frac{\partial v}{\partial y} + z \left(B_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + B_{12} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right), \\ \sigma_y &= B_{22} \frac{\partial v}{\partial y} + B_{12} \frac{\partial u}{\partial x} + z \left(B_{22} \frac{\partial \psi}{\partial y} + B_{12} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right), \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\tau_{xy} = B_{66} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + z B_{66} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \right),$$

$$T_x = C_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + C_{12} \frac{\partial v}{\partial y}, \quad T_y = C_{22} \frac{\partial v}{\partial y} + C_{12} \frac{\partial u}{\partial x}, \quad S = C_{66} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \quad (2.5)$$

$$M_x = D_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + D_{12} \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad M_y = D_{22} \frac{\partial \psi}{\partial y} + D_{12} \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad M_{xy} = D_{66} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \right). \quad (2.6)$$

Здесь, как обычно [4],

$$C_{ij} = B_{ij}h, \quad D_{ij} = \frac{B_{ij}h^3}{12}, \quad (2.7)$$

B_{ij} - постоянные материала.

Уравнения равновесия дифференциального элемента срединной плоскости пластинки имеют вид [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial y} &= -X_2, & \frac{\partial T_y}{\partial y} + \frac{\partial S}{\partial x} &= -Y_2, \\ \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} &= -Z_2, & \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} &= Q_x - hX_1, \\ \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} &= Q_y - hY_1, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где

$$Z_2 = Z^+ + Z^-. \quad (2.9)$$

Подставляя выражения усилий и моментов в (2.8), приходим к следующим системам уравнений:

$$\begin{aligned} C_{11} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + C_{66} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} &= -X_2, \\ C_{22} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + (C_{12} + C_{66}) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C_{66} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} &= -Y_2, \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} B_{55} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) + B_{44} \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) &= -\frac{6Z_2}{5h} - \frac{1}{5} \left(\frac{\partial X_1}{\partial x} + \frac{\partial Y_1}{\partial y} \right), \\ D_{11} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + (D_{12} + D_{66}) \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} + D_{66} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \frac{5}{6} B_{55} h \left(\varphi + \frac{\partial w}{\partial x} \right) &= -\frac{5X_1 h}{6}, \\ D_{22} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + (D_{12} + D_{66}) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} + D_{66} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{5}{6} B_{44} h \left(\psi + \frac{\partial w}{\partial y} \right) &= -\frac{5Y_1 h}{6}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Система уравнений (2.10) относится к плоской задаче, а (2.11) - к задаче изгиба пластинки. Первая система имеет четвертый, а вторая - шестой порядок. В соответствии с этим на каждом краю пластинки следует ставить по пять краевых условий: по два условия для плоской задачи и по три - для задачи изгиба. Плоская задача и задача изгиба пластинки разделяются друг от

друга и можно решить их в отдельности.

Приведем некоторые, наиболее часто встречающиеся условия для краев $x = \text{const}$.

а) Условия свободного края:

$$C_{11} \frac{\partial u}{\partial x} + C_{12} \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (T_x = 0), \quad \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (S = 0), \quad (2.12)$$

$$D_{11} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + D_{12} \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad (M_x = 0),$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \quad (M_{xy} = 0),$$

(2.13)

$$5B_{55} \left(\varphi + \frac{\partial w}{\partial x} \right) + X_1 = 0 \quad (Q_x = 0).$$

б) Условия свободного шарнирного опирания: первые четыре условия совпадают с соответствующими условиями свободного края. Взамен последнего условия (2.13) следует брать

$$w = 0. \quad (2.14)$$

в) Условия заделанного края:

$$u = 0, \quad \varphi = 0 \quad (u_x = 0),$$

$$v = 0, \quad \psi = 0 \quad (u_y = 0), \quad (2.15)$$

$$w = 0 \quad (u_z = 0).$$

Возможны и другие условия. Аналогичным образом можно написать условия и для краев $y = \text{const}$.

3. В приведенной таблице представлены решения трех задач для пластинки - полосы, полученные на основе уравнений (2.11) и по теории [5] при действии только касательных поверхностных нагрузок. Результаты, соответствующие уравнениям (2.11), снабжены индексом "1", а теории [5] - индексом "2". Отметим, что теория [5] не учитывает влияния форм распределения касательных напряжений τ_{xz} , τ_{yz} по толщине пластинки. Она фактически учитывает влияние средних значений этих напряжений. Поэтому в случаях отсутствия поперечных сил, когда средние значения напряжений τ_{xz} , τ_{yz} , а следовательно, и средние значения соответствующих деформаций поперечных сдвигов равны нулю, теория [5] поправки не дает и ее результаты совпадают с соответствующими результатами теории Кирхгофа. Такая ситуация имеет место в первых двух рассмотренных задачах. Уравнения же

(2.11) в этих случаях дают определенные поправки. Например, для полос из углепластика [4] при

$$\frac{h}{l} = \frac{1}{5}, \quad \frac{B_{11}}{B_{55}} = 40 \quad (3.1)$$

поправка к значению наибольшего прогиба по уравнениям (2.11) составляет:

в первой задаче $\Delta_1 = 0.08$,

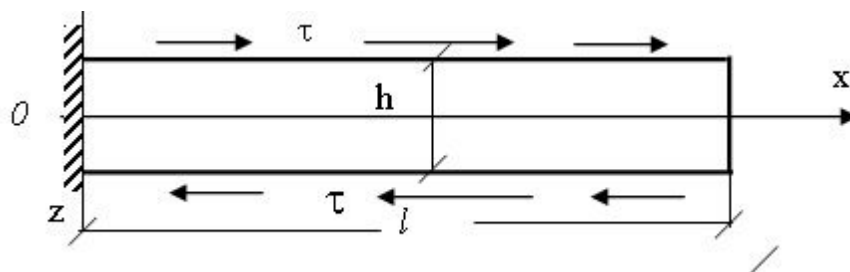
во второй задаче $\Delta_1 = 0.32$.

В третьей задаче уравнения (2.11) и теория [5] приводят к качественно подобным результатам. Они отличаются лишь количественно. Значения прогибов по теории [5] получаются больше -

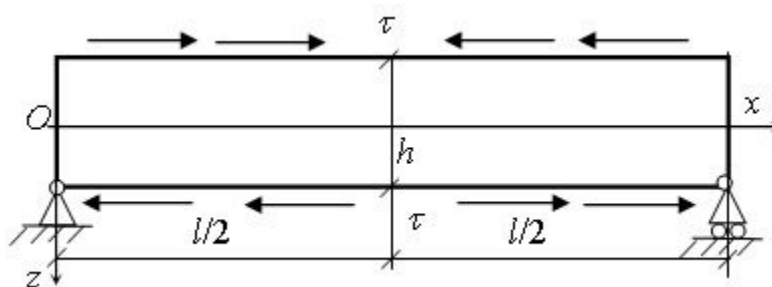
$$\frac{w_2}{w_1} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{1 + \frac{B_{55}}{B_{11}} \cdot \frac{l^2}{h^2}}. \quad (3.2)$$

При (3.1) это отношение составляет 1.123. Когда $B_{55} \rightarrow \infty$, решения по обоим способам стремятся к решению по теории Кирхгофа:

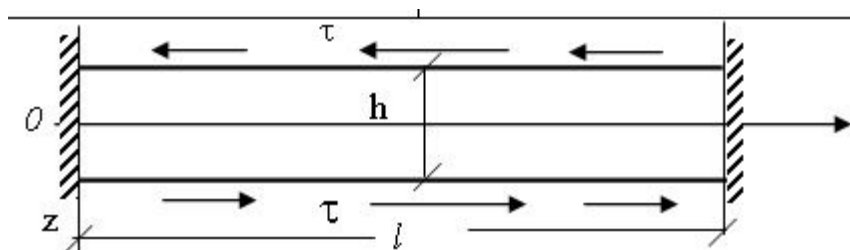
$$Q = \tau h, \quad M_x \equiv 0, \quad W \equiv 0. \quad (3.3)$$



по уравнениям (2.11)	по теории [5]
$W_1 = [(\tau h)/(6D_{11})]x^2(3l-x) + [(\tau x)/(6B_{55})]$	$W_2 = [(\tau h)/(6D_{11})]x^2(3l-x)$
$W_1^{\max} = [(\tau h l^3)/(3D_{11})](1 + [1/20][(B_{11})/(B_{55})] \cdot [(h^2)/(l^2)])$, $\Delta_1 = [1/20][(B_{11})/(B_{55})] \cdot [(h^2)/(l^2)]$	$W_2^{\max} = [(\tau h l^3)/(3D_{11})]$, $\Delta_2 = 0$



по уравнениям (2.11)	по теории [5]
$W_1 = [(\tau h)/(24D_{11})]x(3l^2 - 4x^2) + [(\tau x)/(5B_{55})], 0 \leq x \leq l/2$	$W_2 = [(\tau h)/(24D_{11})]x(3l^2 - 4x^2), 0 \leq x \leq l/2$
$W_1 = [(\tau h(l-x))/(24D_{11})](8lx - 4x^2 - l^2) + [(\tau(l-x))/(5B_{55})]$	$W_2 = [(\tau h(l-x))/(24D_{11})](8lx - 4x^2 - l^2),$
$l/2 \leq x \leq l$	$l/2 \leq x \leq l$
$W_1^{\max} = [(\tau h l^3)/(24D_{11})](1 + [1/5][(B_{11})/(B_{55})] \cdot [(h^2)/(l^2)]), \Delta_1 = [1/5][(B_{11})/(B_{55})] \cdot [(h^2)/(l^2)]$	$W_2^{\max} = [(\tau h l^3)/(24D_{11})], \Delta_2 = 0$



по уравнениям (2.11)	по теории [5]
$W_1 = [(5\tau h x(l^2 - 3lx + 2x^2))/(72D_{11} + 5B_{55}h^2)]$	$W_2 = [(\tau h x(l^2 - 3lx + 2x^2))/(12D_{11} + B_{55}h^2)]$
$W_1^{\max} = W_1 , (x = [l/2](1 \mp [(\sqrt{3})/3]))$	$W_2^{\max} = W_2 , (x = [l/2](1 \mp [(\sqrt{3})/3]))$
$Q_1 = \tau h[(12D_{11} + 5B_{55}h^2)/(72D_{11} + 5B_{55}h^2)]$	$Q_2 = \tau h[(B_{55}h^2)/(12D_{11} + B_{55}h^2)]$
$M_1 = [(30\tau h D_{11}(l - 2x))/(72D_{11} + 5B_{55}h^2)]$	$M_2 = [(6D_{11}\tau h(l - 2x))/(12D_{11} + B_{55}h^2)]$

Ռ. Մ. Կիրակոսյան

**Սալի հաստությամբ շոշափող լարումների բաշխման ազդեցությունը մակերևութային
շոշափող բեռների առկայության դեպքում**

Օգտվելով վիրտուալ աշխատանքների սկզբունքից՝ տեղափոխությունների վարկածների հիման վրա ստացվում են հաստատուն հաստության օրթոտրոպ սալերի առնչություններն ու հավասարումները, որոնք հաշվի են առնում սալի հաստությամբ τ_{xz} և τ_{yz} շոշափող լարումների բաշխման ձևի ազդեցությունը մակերևութային շոշափող բեռների առկայության դեպքում:

R. M. Kirakosyan

**The Influence of Tangential Strains Distribution Along Plates Thickness in the Case of
Existence Tangential Surface Loading**

The correlations and equations of constantly thickness orthotropic plates are obtained using virtual work principal and based on displacement hypotheses. The influence of tangential strains distribution along plates thickness is taken into account in the case of existence tangential surface loading.

Литература

1. *Reissner E. T* - Trans. ASME. 1945. V. 67. P. A69-A77.
2. *Тимошенко С. П., Гере Дж.* Механика материалов. М. Мир. 1976. 669 с.
3. *Григоренко Я. М., Василенко А. Т.* Теория оболочек переменной жесткости. Киев. Наукова думка. 1981. 544 с.
4. *Амбарцумян С. А.* Теория анизотропных пластин. М. Наука. 1987. 360 с.
5. *Васильев В. В.* - Изв. АН МТТ. 1998. №3. С. 46-58.
6. *Агаловян Л. А.* Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. 1997. 414 с.
7. *Лурье А. И.* Статика тонкостенных упругих оболочек. М. Гостехиздат. 1947. 251с.
8. *Лехницкий С. Г.* Анизотропные пластинки. М. Гостехиздат. 1957. 463 с.
9. *Новожилов В. В.* Теория тонких оболочек. Л. Судпромгиз. 1962. 431 с.
10. *Тимошенко С. П., Войновский-Кригер С.* Пластинки и оболочки. М. Физматгиз. 1963. 635 с.
11. *Пелех Б. Л.* Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью. Киев. Наукова думка. 1973. 248 с.
12. *Гольденвейзер А. Л.* Теория упругих тонких оболочек. М. Наука. 1976. 510 с.

УДК 539.3, 624.15

Академик Л. А. Агаловян, Р. Ж. Оганесян

О характере вынужденных колебаний трёхслойной ортотропной пластинки при смешанной краевой задаче

(Представлено 3/IV 2006)

Ключевые слова: вынужденные колебания, анизотропия, упругость, амплитуда, резонанс, сейсмоизолятор

Получено асимптотически точное решение пространственной смешанной задачи о вынужденных колебаниях трёхслойных ортотропных пластин. Показано, что наличие мягкого среднего слоя приводит к уменьшению амплитуд колебаний в вышестоящем слое. Теоретически обосновано применение сейсмоизоляторов.

1. Рассмотрим вынужденные колебания трёхслойной ортотропной пластинки: $D = \{(x, y, z) : x \in [0, a], y \in [0, b], 0 \leq z \leq h, h = h_1 + h_2 + h_3, h \ll \min(a, b)\}$ при условиях полного контакта между слоями, когда верхняя грань верхнего слоя свободна, а на лицевой поверхности нижнего слоя задан вектор перемещения, который во времени изменяется гармонически (рис.1).

Имеем граничные условия:

$$\sigma_{xz}^I = \sigma_{yz}^I = \sigma_{zz}^I = 0 \quad \text{при } z = h, \quad (1.1)$$

$$u^{III}(z = 0) = u^-(\xi, \eta) \exp(i\Omega t),$$

$$v^{III}(z = 0) = v^-(\xi, \eta) \exp(i\Omega t), \quad (1.2)$$

$$w^{III}(z = 0) = w^-(\xi, \eta) \exp(i\Omega t),$$

$$\xi = x/l, \quad \eta = y/l, \quad l = \min(a, b)$$

и условия полного контакта:

$$\sigma_{xz}^I = \sigma_{xz}^{II}, \quad \sigma_{yz}^I = \sigma_{yz}^{II}, \quad \sigma_{zz}^I = \sigma_{zz}^{II}, \quad u^I = u^{II}, \quad v^I = v^{II}, \quad w^I = w^{II} \quad \text{при } z = h_2 + h_3,$$

$$\sigma_{xz}^{II} = \sigma_{xz}^{III}, \quad \sigma_{yz}^{II} = \sigma_{yz}^{III}, \quad \sigma_{zz}^{II} = \sigma_{zz}^{III}, \quad u^{II} = u^{III}, \quad v^{II} = v^{III}, \quad w^{II} = w^{III} \quad \text{при } z = h_3. \quad (1.3)$$

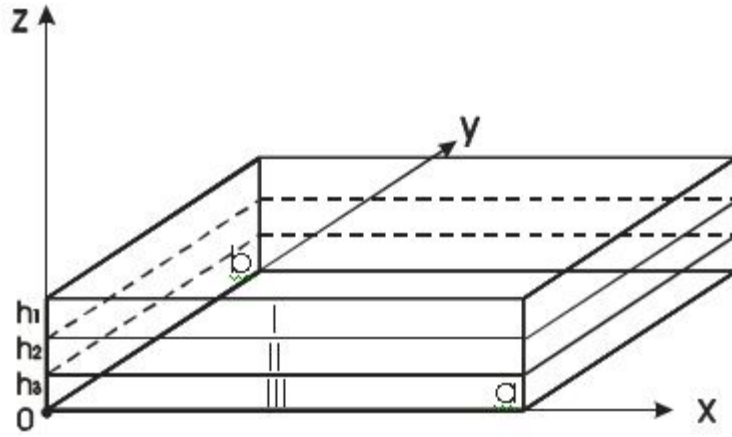


Рис.1.

Запишем систему динамических уравнений пространственной задачи теории упругости анизотропного тела для ортотропных сред:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \sigma_{xx}^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}^{(k)}}{\partial z} &= \rho_k \frac{\partial^2 u^{(k)}}{\partial t^2} \quad (x, y, z, u^{(k)}, v^{(k)}, w^{(k)}), \\
 \frac{\partial u^{(k)}}{\partial x} &= a_{11}^{(k)} \sigma_{xx}^{(k)} + a_{12}^{(k)} \sigma_{yy}^{(k)} + a_{13}^{(k)} \sigma_{zz}^{(k)} \quad (u^{(k)}, v^{(k)}, w^{(k)}; x, y, z, 1, 2, 3), \\
 \frac{\partial u^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial x} &= a_{66}^{(k)} \sigma_{xy}^{(k)}, \quad \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial u^{(k)}}{\partial z} = a_{55}^{(k)} \sigma_{xz}^{(k)}, \\
 \frac{\partial w^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial z} &= a_{44}^{(k)} \sigma_{yz}^{(k)}, \quad k = I, II, III.
 \end{aligned} \tag{1.4}$$

Решение системы уравнений (1.4) при граничных условиях (1.1), (1.2) и условиях контакта (1.3) будем искать в виде [1,2]

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\alpha\beta}^{(k)}(x, y, z, t) &= \sigma_{mj}^{(k)}(x, y, z) \exp(i\Omega t), \\
 (u^{(k)}, v^{(k)}, w^{(k)}) &= (u_x^{(k)}, u_y^{(k)}, u_z^{(k)}) \exp(i\Omega t) \\
 \alpha, \beta &= x, y, z, \quad m, j = 1, 2, 3, \quad k = I, II, III.
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

Подставив (1.5) в (1.4), затем перейдя к безразмерным координатам и безразмерным компонентам вектора перемещения:

$$\xi = x/l, \quad \eta = y/l, \quad \zeta = z/h, \tag{1.6}$$

$$U^{(k)} = u_x^{(k)} / l, \quad V^{(k)} = u_y^{(k)} / l, \quad W^{(k)} = u_z^{(k)} / l,$$

где $h = h_1 + h_2 + h_3$, h_i - толщины слоёв, $l = \min(a, b)$ и $h \ll l$, k - номер слоя, получим сингулярно возмущенную малым параметром $\varepsilon = h/l$ систему, решение которой будем искать в

виде асимптотического разложения [3]:

$$(U^{(k)}, V^{(k)}, W^{(k)}) = \varepsilon^s (U^{(k,s)}, V^{(k,s)}, W^{(k,s)}), \quad (1.7)$$

$$\sigma_{ij}^{(k)} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_{ij}^{(k,s)}, \quad s = \overline{0, N}, \quad k = I, II, III,$$

$s = \overline{0, N}$ означает, что по немому (повторяющемуся) индексу s происходит суммирование от 0 до числа приближений N . Подставив (1.7) во вновь полученную систему уравнений, определив коэффициенты разложения (1.7) и удовлетворив условиям (1.1) - (1.3), получим следующее решение:

$$U^{(k,s)} = \frac{f_{U1}^{(k,s)}}{\Delta_U} \cos \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \Omega_* \zeta + \frac{f_{U2}^{(k,s)}}{\Delta_U} \sin \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \Omega_* \zeta + U_{\varphi}^{(k,s)}$$

$$(U, V, W; a_{55}^{(k)}, a_{44}^{(k)}, 1/A_{11}^{(k)}; b_{13}^{(k,s)}, b_{23}^{(k,s)}, b_{33}^{(k,s)}), \quad k = I, II, III. \quad (1.8)$$

Выражения $f_{U1}^{(k,s)}$ и $f_{U2}^{(k,s)}$ для произвольного s , а также значения величин $\Delta_U, \Delta_V, \Delta_W$ приведены в [2].

При $s = 0$ имеем

$$U^{(k,0)} = \frac{f_{U1}^{(k,0)}}{\Delta_U} \cos \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \Omega_* \zeta + \frac{f_{U2}^{(k,0)}}{\Delta_U} \sin \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \Omega_* \zeta, \quad (1.9)$$

где

$$f_{U1}^{(I,0)} = \Omega_*^2 U^{-(0)} \sqrt{\frac{\rho_{II} \rho_{III}}{a_{55}^{II} a_{55}^{III}}} \cos \sqrt{a_{55}^I} \rho_I \Omega_*,$$

$$f_{U2}^{(I,0)} = \Omega_*^2 U^{-(0)} \sqrt{\frac{\rho_{II} \rho_{III}}{a_{55}^{II} a_{55}^{III}}} \sin \sqrt{a_{55}^I} \rho_I \Omega_*.$$

$$f_{U1}^{(II,0)} = \frac{\Omega_*^2 U^{-(0)}}{2} \sqrt{\frac{\rho_{III}}{a_{55}^{III}}} \left[\left(\sqrt{\frac{\rho_{II}}{a_{55}^{II}}} - \sqrt{\frac{\rho_I}{a_{55}^I}} \right) \cos[(\sqrt{a_{55}^I} \rho_I - (\sqrt{a_{55}^I} \rho_I + \sqrt{a_{55}^{II}} \rho_{II})) \zeta_2] \Omega_* + \right.$$

$$\left. + \left(\sqrt{\frac{\rho_I}{a_{55}^I}} + \sqrt{\frac{\rho_{II}}{a_{55}^{II}}} \right) \cos[(\sqrt{a_{55}^I} \rho_I + (\sqrt{a_{55}^{II}} \rho_{II} - \sqrt{a_{55}^I} \rho_I)) \zeta_2] \Omega_* \right], \quad (1.10)$$

$$f_{U2}^{(II,0)} = \frac{\Omega_*^2 U^{-(0)}}{2} \sqrt{\frac{\rho_{III}}{a_{55}^{III}}} \left[\left(\sqrt{\frac{\rho_I}{a_{55}^I}} - \sqrt{\frac{\rho_{II}}{a_{55}^{II}}} \right) \sin[(\sqrt{a_{55}^I} \rho_I - (\sqrt{a_{55}^I} \rho_I + \sqrt{a_{55}^{II}} \rho_{II})) \zeta_2] \Omega_* + \right.$$

$$+ \left[\sqrt{\frac{\rho_I}{a_{55}^I}} + \sqrt{\frac{\rho_{II}}{a_{55}^{II}}} \right] \sin[(\sqrt{a_{55}^I \rho_I} + (\sqrt{a_{55}^{II} \rho_{II}} - \sqrt{a_{55}^I \rho_I}) \zeta_2) \Omega_*] \Big] \\ (U, V, W; a_{55}^{(k)}, a_{44}^{(k)}, 1/A_{11}^{(k)}).$$

Здесь $\zeta_1 = (h_1 + h_2 + h_3) / h = 1$, $\zeta_2 = (h_2 + h_3) / h$, $\zeta_3 = h_3 / h$; $U^{-(0)} = u^- / l$, $V^{-(0)} = v^- / l$, $W^{-(0)} = w^- / l$ и $U^{-(s)} = V^{-(s)} = W^{-(s)} = 0$ при $s > 0$.

Аналогично записываются выражения $f_{U1}^{(III,0)}$ и $f_{U2}^{(III,0)}$.

Считаем, что $\Delta_U, \Delta_V, \Delta_W \neq 0$. Если Ω такова, что хотя бы одна из этих величин равна нулю, произойдёт резонанс. Эти значения Ω совпадают со значениями частот собственных колебаний [4].

2. Особый интерес представляет случай

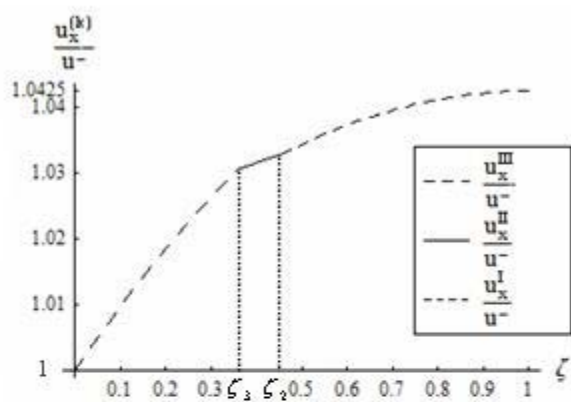
$$u^- = \text{const}, \quad v^- = \text{const}, \quad w^- = \text{const}. \quad (2.1)$$

Уже приближению $s = 0$ соответствует точное решение:

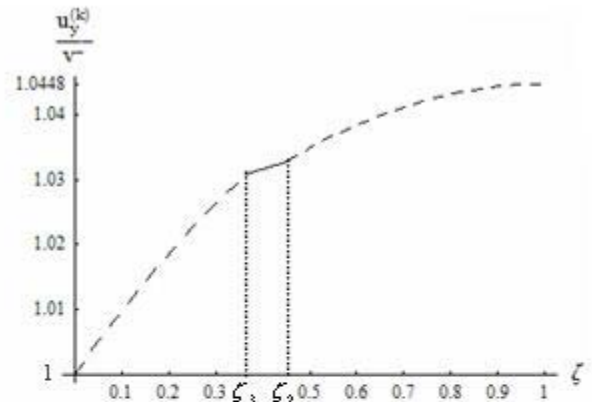
$$u^{(k)} = \left[\frac{f_{U1}^{(k,0)}}{\Delta_U} \cos \sqrt{a_{55}^{(k)} \rho_k} \Omega_* \zeta + \frac{f_{U2}^{(k,0)}}{\Delta_U} \sin \sqrt{a_{55}^{(k)} \rho_k} \Omega_* \zeta \right] \exp(i \Omega t) \quad (2.2) \\ (u^{(k)}, v^{(k)}, w^{(k)}; U, V, W; a_{55}^{(k)}, a_{44}^{(k)}, 1/A_{11}^{(k)}), \quad k = I, II, III.$$

Анализ этого решения при различных конфигурациях слоёв пакета позволяет сделать весьма важное для приложений, в частности для сейсмостойкого строительства, заключение.

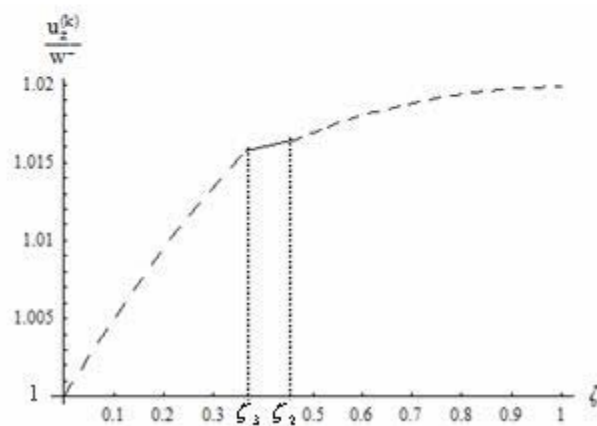
Рассмотрим трёхслойный пакет, состоящий из слоёв СВМ, стеклопластика СТЭТ и АСТТ, характеристики упругости которых приведены в [3], с толщинами соответственно $h_1 = 0.3$ м, $h_2 = 0.05$ м, $h_3 = 0.2$ м. Графики амплитуд колебаний по толщине пластинки приведены на рис. 2,а-в (сплошной линии соответствуют перемещения среднего слоя II, пунктирным - перемещения слоёв I, III).



а



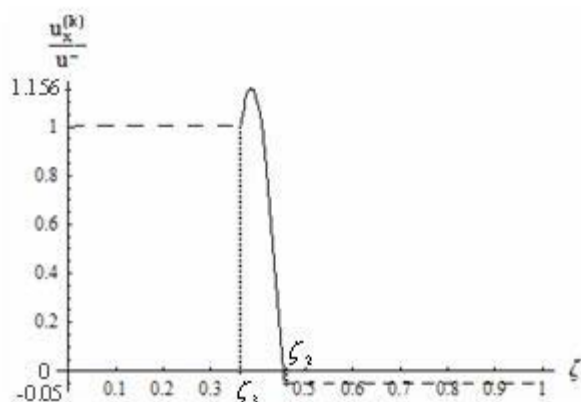
б



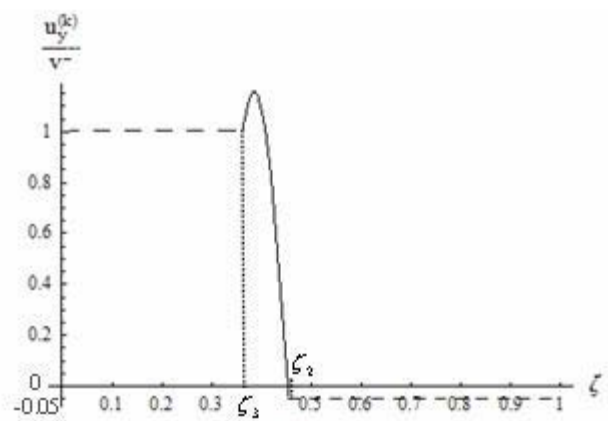
в

Рис.2

Теперь пусть верхний и нижний слои пакета состоят из слоёв стеклопластика СВМ и АСТТ соответственно, а средний слой из резины ($E = 6.96 \cdot 10^5$ Па, $G = 2.4 \cdot 10^5$ Па, $\rho = 1100$ кг/м³). Этому будут соответствовать рис. 3, а-в.



а



б

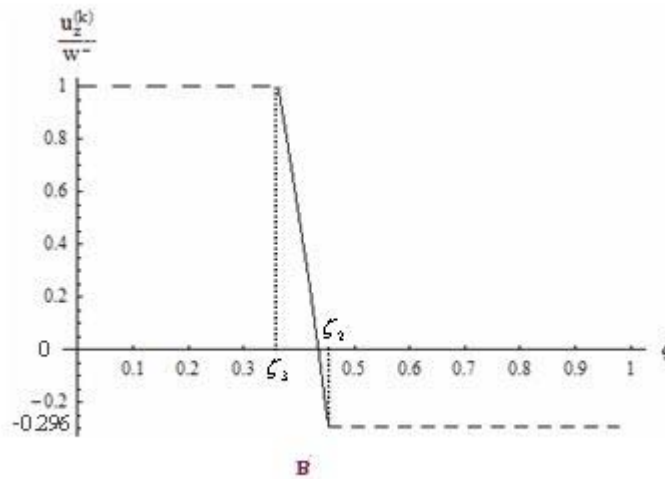


Рис. 3

Аналогичная картина наблюдается, когда верхний и нижний слои из бетона, а средний из резины.

Из приведённых графиков видно, что если все три слоя состоят из жестких схожих материалов, то амплитуды колебаний вырастают (хоть и незначительно) от слоя к слою. При наличии же среднего слоя из более мягкого материала (например, резины), амплитуды колебаний в верхнем слое резко уменьшаются. Этот результат сохраняет силу и при иных толщинах среднего мягкого слоя. Установленный выше факт можно использовать в сейсмостойком строительстве. Если при построении сооружений между бетонным фундаментом и основанием вставить тонкий слой резины, это приведёт к уменьшению опасных колебаний в фундаменте и, как следствие, к увеличению сейсмостойкости сооружения.

3. Рассмотрим ту же задачу, но с другими граничными условиями. Предполагается, что верхняя грань верхнего слоя жёстко закреплена, т.е. в условиях (1.1) вместо $\sigma_{xz}^I = \sigma_{yz}^I = \sigma_{zz}^I = 0$ имеем $u^I = v^I = w^I = 0$ при $z = h$. В этом случае, опять - таки решив уравнения (1.4) при изменённых граничных условиях, получим решение в виде (1.8), но с другими функциями

$f_{Pj}^{(k,s)}$ ($P = U, V, W$; $j = 1, 2$; $k = I, II, III$). В частности, условиям (2.1) будет соответствовать решение (1.8), (1.9), а в (1.10) необходимо заменить $\sin$ на $(-\cos)$, $\cos$ на $\sin$. На рис. 4, а-в изображены изменения амплитуд тангенциального смещения U по толщине пластинки при следующих комбинациях пакета: СВММ, СТЭТ, АСТТ; СВММ, резина, АСТТ; бетон, резина, бетон.

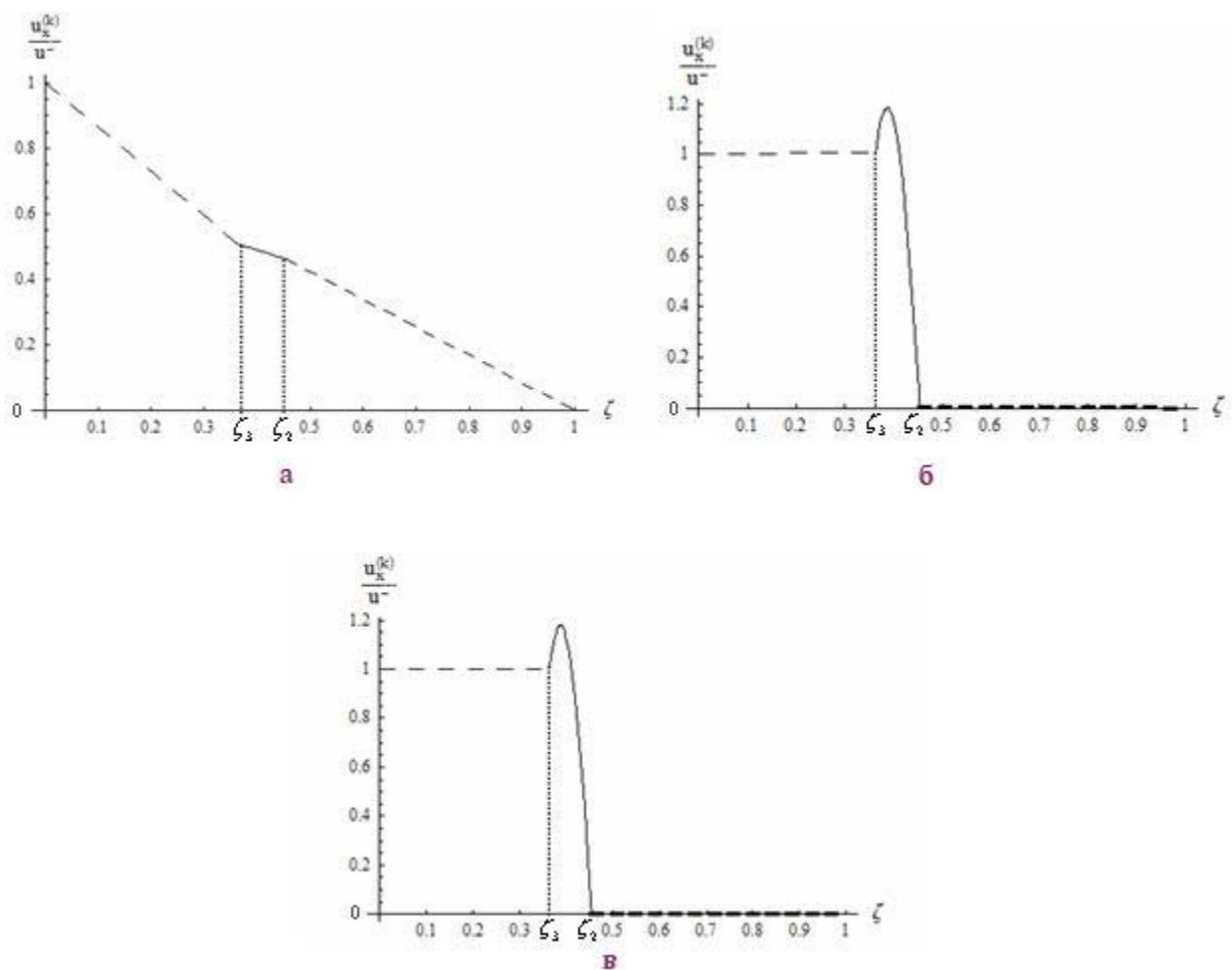


Рис.4

Как видно из графиков, в этом случае тоже амплитуды колебаний в верхнем слое уменьшаются при наличии среднего слоя из резины.

Работа выполнена при поддержке INTAS, grant Ref. No: 03-51-5547.

Институт механики НАН РА

Литература

1. Агаловян Л. А. В сб.: Проблемы механики тонких деформируемых тел. Ереван. Изд-во "Гитутюн" НАН РА. 2002. С. 9-19.
2. Оганесян Р. Ж. В сб.: Избранные вопросы теории упругости, пластичности и ползучести. Ереван. Изд-во "Гитутюн" НАН РА. 2006. С. 242-248.
3. Агаловян Л. А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. 1997. 415 с.
4. Агаловян Л. А., Оганесян Р. Ж. В сб.: V Междунар. конф. "Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред." Ереван. Изд-во "Гитутюн" НАН РА. 2005. С. 14-22.

Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Ռ. ժ. Հովհաննիսյան

**Եռաշերտ օրթոտրոպ սալի ստիպողական տատանումների բնույթը
խառը եզրային խնդրում**

Ուսումնասիրված են եռաշերտ օրթոտրոպ սալի ստիպողական տատանումները, երբ ներքևի շերտի դիմային մակերևույթի վրա տրված է ըստ ժամանակի հարմոնիկ փոփոխվող տեղափոխման վեկտորը, իսկ շերտերի միջև տեղի ունեն լրիվ կոնտակտի պայմանները: Դիտարկված են այն դեպքերը, երբ վերին շերտի դիմային մակերևույթն ազատ է կամ կոշտ ամրակցված: Արտածված են բանաձևեր տատանումների ամպլիտուդները որոշելու համար: Կատարված է վերլուծություն եռաշերտ փաթեթի մի շարք տարբերակների համար: Ցույց է տրված, որ երբ երեք շերտերն էլ համեմատաբար կոշտ են, տատանման ամպլիտուդները շերտից շերտ դանդաղորեն աճում են, իսկ երբ միջին շերտը ավելի փափուկ նյութից է, օրինակ ռետինից, ամպլիտուդները երրորդ շերտում կտրուկ նվազում են: Կատարված են հաշվարկներ նաև կոշտ ամրակցման դեպքի համար, և ցույց է տրված, որ ռետինե միջին շերտի առկայությունը էապես նվազեցնում է տատանման ամպլիտուդները վերին շերտում: Ստացված արդյունքները հիմնավորում են սեյսմամեկուսիչների կիրառման անհրաժեշտությունը սեյսմակայուն շինարարությունում:

Academician L. A. Aghalovyan, R. Zh. Hovhannisyan

**On the Character of Forced Vibrations of the Three-layered Orthotropic Plates
in the Mixed-Boundary Problem**

The object of study is the forced vibrations of the three-layered orthotropic plate, on the front face of the lower level of which the displacement vector is given which varies harmonically according to time. Between the layers there are conditions of full contact. All the cases when the front face of the upper layer is free or tightly fastened are observed. Formulae are developed to determine the amplitudes of vibrations. A numerical analysis is performed for a number of alternative versions of the three-layered packet. It is shown that when all the three layers are relatively inflexible, then the vibration amplitudes increase from layer to layer, but when the middle layer is smoother, e.g. it is made of rubber material, then the amplitudes abruptly decrease in the third layer. Calculations have been also done for the tough fastening case and it is shown, that the presence of the middle rubber layer significantly decreases the vibration amplitudes in the upper layer. These results prove the necessity of using seismic isolators in a seismic steady construction.

УДК 621.315

М. Г. Азарян, академик В. М. Арутюнян

О возможности создания режима ближнего поля для наноисследований в электронике

(Представлено 10/V 2006)

Ключевые слова: нанотехнология, зондовая микроскопия, ближнее поле, наномасштабный зазор

Нанотехнологиям и нанофизическим исследованиям сегодня уделяется большое внимание. Лидерами являются, как правило, высокоразвитые страны, имеющие большой экономический и научно-технический потенциал. Это связано со сложностью технологической оснастки, наличием и востребованностью специалистов высокой квалификации, большими инвестициями.

Нанотехнология определяется как "...совокупность способов и приемов создания функциональных элементов нанометровых размеров на поверхности подложек, в том числе из отдельных молекул и атомов, с возможностью одновременной их визуализации и контроля" [1]. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) [2-4] в значительной степени удовлетворяет приведенному определению, и именно она предоставляет и другой путь участия в наноисследованиях. Этот путь предполагает привлечение более дешевой техники, не требующей специальных помещений для технологических операций и многочисленного высококвалифицированного персонала.

Принцип работы СЗМ позволяет манипулировать нано- и субнано объектами и создавать их, локально активизировать химические реакции, например, производить операции окисления или травления и организовывать атомномасштабную архитектуру на поверхности материалов твердотельной электроники [1- 3].

Физика наномасштабных элементов диктует специфику инструментов для наноисследований. Пример этого - СЗМ.

Принципы работы зондовой микроскопии требуют создания наномасштабного зазора игла-поверхность, в котором основную роль начинают играть и зависимости считываемого (конкретным видом микроскопа) сигнала от величины этого зазора. Эту ситуацию можно назвать режимом ближнего поля. В технике СЗМ такой зазор достигается применением специально сконструированных прецизионных двигателей. Кроме того, в микроскопии необходима организация X,Y-сканирования и одновременного поддержания устойчивого сигнала обратной связи, обеспечивающего этот "штатный режим" работы. Требуется и специальное программное обеспечение как для управления работой микроскопа, так и последующей обработки полученных данных.

В то же время из многих научных публикаций, посвященных зондово-микроскопическим исследованиям, следует, что научно-практический интерес могут представлять как сам зазор зонд-поверхность, являясь наномасштабной конфигурацией, так и отдельные узлы этих

устройств [5-7].

Несмотря на значительный прогресс в промышленном производстве СЗМ последние все еще остаются довольно дорогими приборами и далеко не каждая исследовательская организация имеет возможность его приобретения. Поэтому, как нам кажется, может быть востребовано предлагаемое простое и не дорогое устройство, легко реализующее режим "ближнего поля". Это позволит провести исследования как самого зазора, зависимости его поведения от разнообразных внешних факторов, так и предложить новые технические решения в зондовой микроскопии, адаптирующие прибор к конкретным исследовательским задачам.

Одним из возможных принципов для реализации подобного устройства - измерительного стенда наноразмерного зазора - является создание условия, при котором проявляется регистрируемый туннельный ток. Опыт создания лабораторного зондового микроскопа [8] и работы с ним подсказал, что использовать туннельный ток в качестве информативного сигнала в ближнеполевом режиме проще (нет необходимости в применении кантилевера и соответствующей техники измерения его отклонения) и зачастую нужнее (из-за появления возможности исследования и электрофизических свойств исследуемых объектов). Известно (например [2-4]), что туннельный ток (I_T) зависит от площади поперечного сечения S , "канала" для туннелирующих электронов, величины средней работы выхода материалов зонда и поверхности ($V_T = \phi_z + \phi_{\Pi}/2$), напряжения зонд-поверхность U_{cm} и самого зазора между зондом и поверхностью H_T . Таким образом, комплекс этих измеряемых параметров такого туннельно-токового стенда может предоставить, например, информацию о качестве самого зонда, вольт-амперной характеристике H_T и ее отклика на процессы в нем. Сама система обратной связи, применяемая в технике поддержания режима ближнего поля, позволяет прямо измерять и размеры H_z [9].

Основными условиями для функционирования зондового микроскопа являются: организация прецизионного подвода (позиционирование) зонда к исследуемой поверхности (ИП) на столь малое расстояние, при котором начинают проявляться ближнеполевые эффекты; обеспечение отслеживающим позиционером поддержания ближнеполевого зазора - замыкающего звена в цепи обратной связи (ОС); X,Y-сканирование с устойчивым отслеживающим сигналом ОС; создание соответствующего программного обеспечения СЗМ.

Предлагаемое устройство не нуждается в сканировании, так как здесь отсутствует задача собственно микроскопирования, что значительно упрощает его техническое осуществление, а создание необходимого зазора достигается здесь отводом зонда, изначально находящегося в гальваническом контакте с проводящей поверхностью, на задаваемое расстояние (H_z). Востребованность в СЗМ технике специально разработанных микродвигателей позиционирования зонда (для достижения аналогичного рабочего зазора) в основном диктуется необходимостью сохранить латеральное (вдоль плоскости исследуемой поверхности) пространственное разрешение микроскопа, которое определяется также и радиусом кривизны кончика зонда-иглы (при соударении с исследуемым объектом (ИО) игла "притупляется"). Способом отвода значительно упрощается организация ближнеполевого режима, о создании которого информирует регистрируемое изменение природы тока контакта поверхность/зонд с проводящего ($I_{пр}$) на туннельный ток (I_T). Здесь применяется техника

отслеживания постоянства заданного порогового значения I_T , но с облегчением задачи стабилизации ОС (сканеры в стенде отсутствуют). На рис.1 представлена принципиальная блок-схема стенда, обеспечивающая туннельно-токовый контроль заданной величины зазора. При отводе поверхности ИО от зонда гальванический контакт зонд/поверхность обрывается, что приводит к крутому падению исходной величины тока, формируемого перестраиваемым напряжением $U_{см}$. Ток преобразуется в предварительном усилителе (ПУ) в напряжение U_T , поступающее на устройство отслеживания (УО). Оно измеряет спадающее U_T и, сравнивая с заданным пороговым $U_{п}$, выдает разностный сигнал Δ , формирующий управляющее ОС напряжение $U_{ОС}$ для исполнительного механизма (ИМ), корректирующего зазор H_T . ИМ представляет собой совмещение электромагнитного позиционера (ЭМП) с пьезокерамическим позиционером (ПКП). В используемом измерительном приборе одновременно наблюдается трансформация гальванического контакта в туннельный (поведение U_T) и формирование и изменение $U_{ОС}$. Помимо ручного, предусмотрено и компьютерное управление работой стенда (помимо регистрации U_T и $U_{ОС}$ задаются $U_{см}$ и пороговое напряжение - $U_{п}$).

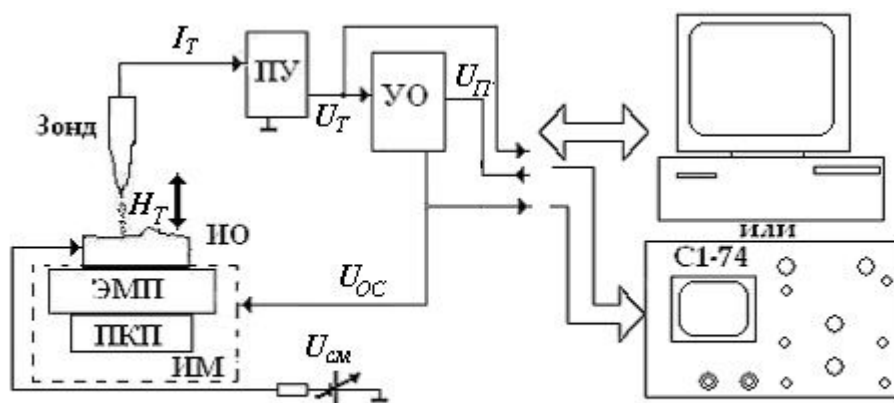


Рис. 1

На рис.2 приведена схема туннельно-токовой измерительной ячейки.

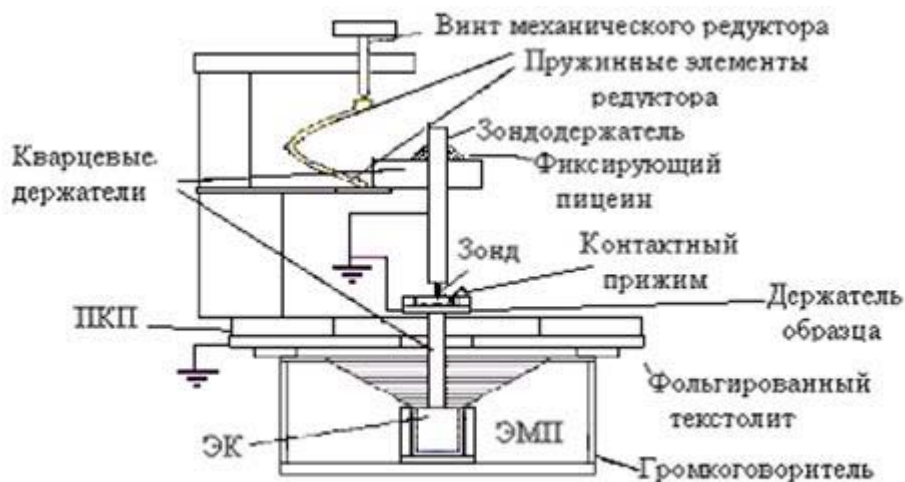


Рис. 2

Конструкция измерительной ячейки предполагает вертикальное расположение системы зонд/поверхность, что открывает возможности проведения исследований и в жидкой среде. Несущие детали конструкции изготовлены из кварцевого стекла (для сведения к минимуму теплового нарушения величины зазора). Корпус зондодержателя, снабженный микроразъемом на нижнем конце, может свободно перемещаться в отверстии кварцевого держателя. Зонд, будучи заземленным в никелевой трубочке, припаян к штырю. Штырь легко вставляется в микроразъем. В исходном положении зонд упирается в ИП. Этим же способом фиксируется и держатель образца. Такое простое крепление позволяет легко производить смену как зонда, так и ИО. Габариты ячейки разрешают при необходимости использовать и вибро- и звукоподавляющие системы.

Механизмы позиционирования - ЭМП, потребляющие относительно большие токи, проявляют тепловую нестабильность, но позволяют реализовать большой динамический диапазон перемещений. Не подверженный такому тепловому дрейфу ПКП имеет, однако, несравненно меньший диапазон перемещений и требует высоковольтное (до сотен вольт) управление. Использование ЭМ помимо расширения динамического диапазона Н-позиционирования позволяет исследовать особенности работы и самих исполнительных механизмов. Наличие независимого Н-привода предоставляет возможность и модуляции зазора в ближнеполевом режиме.

Для удобства и разносторонней проверки функционирования стенда в конструкции предусмотрен и механический редуктор, пружинные элементы которого изготовлены из полосок бериллиевой бронзы. Перемещающий винт редуктора вмонтирован в деталь из текстолита. Внешняя сторона держателя образца, изготовленного из фольгированного текстолита, заземлена. Прикладывание $U_{см}$ к ИП обеспечивается с помощью пружинящего контактного прижима.

В качестве ЭМП использован малогабаритный громкоговоритель. К его подвижной электрической катушке (ЭК) приклеена кварцевая трубочка, на которой крепится держатель образца. В конструкции держателя предусмотрена возможность погружения ИО в жидкую среду. Заземленный фольгированный текстолит призван экранировать от возможных помех от ЭМП чувствительный ПУ, подсоединенный к образцу.

ПУ стенда представляет собой стандартный преобразователь ток/напряжение, собранный на операционном усилителе TL081 и помещенный в экранирующий корпус. Управление ЭМП осуществляется через усилитель мощности (УМ) $U_{ОС}$ отслеживающего сигнала. Предусмотрена возможность суммирования с сигналом $U_{ОС}$ независимого регулируемого постоянного сигнала U_p , разрыва цепи ОС (перекл. I) и переключения направления действия ЭМП (перекл. II). В отдельный металлический корпус формирователя стендовых сигналов (ФСС) помещены ПУ, УМ и переключатель полярности с батареей (рис.3). ФСС подсоединяется к электронному блоку СТМ.

Он использовался нами для осуществления компьютерного управления U [10].

При необходимости Н-позиционирование может проводиться одновременно ЭМП и ПКП. Гальванический контакт зонда с ИП контролируется по величине входного тока при разомкнутой цепи ОС. Это положение зондодержателя в отверстии фиксируется пицеином. В качестве испытательного применялся зонд, электролитически сформированный из

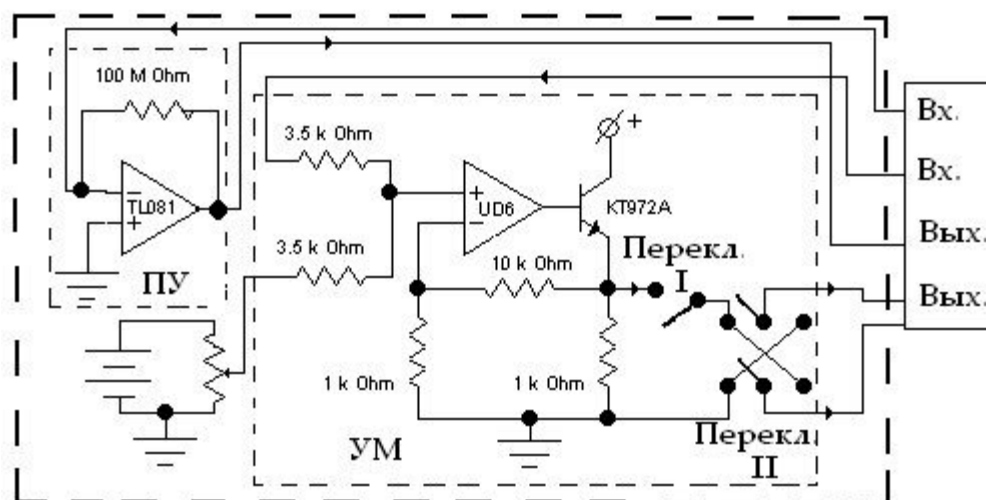


Рис.3.

На рис.4 представлена кривая зависимости от управляющего сигнала перемещения, обеспечиваемого ЭМП. Нелинейность зависимости частично подправляется коррекцией механических крепежных узлов ЭМП. Предполагается в будущем снабдить стенд соответствующей биморфной пьезокерамикой, обеспечивающей достаточно большой динамический диапазон при довольно низких значениях прилагаемого напряжения. Это поможет создать исполнительный механизм с улучшенными характеристиками.



Рис.4

Таким образом проведенные предварительные измерения, на наш взгляд, убедительно показали правильность и практичность выдвинутой идеи упрощенного создания режима ближнего поля для исследования его проявлений и воплощения его в экспериментальное устройство (в виде исследовательского стенда). Первые испытания предложенного стенда показали, что после замыкания цепи ОС, как правило, регулировкой коэффициентами ОС и скорости реакции следящей системы удастся получить ближнеполевой режим. В случае, когда

этого не удавалось достичь только приложением сигнала ОС, зазор регулировался с помощью механического пружинного позиционера и U_p . Стенд снабжен разнообразными возможностями изменения конфигурации подключения электронных компонент измерительной схемы. Имеется достаточно широкое поле для дальнейших работ, как по усовершенствованию самого стенда, так и применению его непосредственно по назначению в исследованиях нанообъектов. Например, мы полагаем, что стенд может предоставить и возможность экспериментирования по контролируемому формированию в электролите (*in situ*) зондов СТМ.

Работа выполнена при поддержке Национальной программы по полупроводниковой нанoeлектронике.

Ереванский государственный университет

Литература

1. *Неволин В. К.* Зондовые нанотехнологии в электронике. М. Мир. 2005. 152с.
2. *Эдельман В. С.* - ПТЭ. 1989. N5. С. 25-49.
3. *Быков В. А.* Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследований и модификации поверхностей. Докт. дис. М. 2000.
4. *Миронов В. Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород, 2004. 110 с.
5. *Kuk Y., Sulverman P. J.* - Rev. Sci. Instrum. 1989. V. 60. N2. P. 165-180.
6. *Muralidharan G., Wig1 A., Pinnaduwege L. A., Hedden D. L., Datskos P. G., Thundat T., Lareau R. T.* - Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 2002. V. 723. P. 681-685.
7. *Passiana A., Muralidharan G., Kouckekian S. K, Mehta A., Cherian S., Ferrell T. L. and Thundat T.* - Journal of Applied Physics. 2002. V. 91. N71. April. P. 4693-4699.
8. *Azaryan M. H.* - Proc. of the third National Conf, Sevan. 2001. 10-12 September. P. 283-288.
9. *Васильев С. Ю., Денисов А. В.* - ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 1. С. 100-106.
10. *Azaryan M. H., Haroutyunyan V. M. et al.* - Proc. of conf. on "Educational, Scientific & Technological Appl. in LabVIEW Environments, and Technologies of National Instrum." Moscow. 2004.

Մ. Հ. Ազարյան, ակադեմիկոս Վ. Մ. Հարությունյան

**Էլեկտրոնիկայում նանոհետազոտություններ կատարելու նպատակով մոտիկ դաշտի ռեժիմ
ստեղծելու պարզ հնարավորության մասին**

Էքսպերիմենտալ նանոհետազոտություններ կատարելու համար առաջարկվում է թունել-լաիոսանքային զոնդավորմամբ սարքավորման օգնությամբ մի պարզ և էժանագին մեթոդ, որտեղ իրագործվում է մոտիկ-կարգի դաշտերի ռեժիմ, երբ ի հայտ են գալիս զոնդ/հետազոտվող մակերևույթ նանոմասշտաբային բացակի օրինաչափությունները: Նախագծված և ստենդի տեսքով հավաքված սարքավորման նախնական հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ դրանց օգնությամբ հնարավոր է լուծել ելակետային խնդիրը:

M. H. Azaryan, V. M. Haroutyunyan

**On the Simple Opportunity of Realizing Short-range Field Regime for
Nano-investigations in Electronics**

An idea of the simple and not expensive tunnel-current probe equipment is advanced. It offers the possibility of carrying out nano-investigations. The equipment realizes short-range field regime wherein the regularities of nanoscale probe/surface under study compliance come into play. The previous investigations of the developed-designed device in the desk form revealed that the initial goal can be attained using the advanced equipment.

Corresponding Member of NAS RA A. G. Bagdoyev, A. V. Shekoyan

Generalized Non-linear Equations of Magnetohydrodynamical Media

(Submitted 17/III 2006)

Keywords: *Maxwell equations, magnetohydrodynamics, Galilean transformations*

From elder classes of school we were fascinating by the theory of relativity, which we studied by popular literature.

At the ripe age the sceptical attitude to the theory of relativity arised in ourselves. In the middle of 60 th of XX th century A.G. Bagdoyev informed the president of AS of Armenia V. A. Ambartsumyan, and some years ago also the leading Armenian physicists about his judgments on this question.

It is difficult to say that they completely agreed with him, but there weren't also any remarks very much to the point. Recently we acquainted with the works of Academician of RAS S.S Grigoryan [1], where he showed insolvency of the general theory of relativity in explanation of various Cosmogonic problems, in particular, of generation of the black holes, and on the other hand he showed the applicability of the Newton's theory, developed by Mitchell and Laplace to this problems. This encouraged us to write this article, concerning to the critical analysis of the principal sources of the special theory of relativity. There are experimental data of American physicists from Los-Alamos about variability of the speed of light and facts of constancy in big volumes of temperature in cosmic objects, which leads to the necessity to take into account the fact of the presence of the super light speed. These facts, which are in contradiction with special theory of relativity, are brought in the article of Pyotr Obraztov, published "In science world" N2, 2005.

The basic argument for creation the special theory of relativity was the thesis due to which the linear Maxwell equations are invariant with respect to more general Lorents transformations, in contrast to non-linear equations of mechanics, which are invariant with respect to Galilean transformations and therefore one must fit the equations of mechanics to these more general transformations.

Following to this logics one must prefer to general non-linear equations of hydromechanics, which are invariant with respect to Galilean transformation, the obtained from them after linearisation for small disturbances, wave equation, which is invariant with respect to more general Lorents transformation. Of course nobody will insist on it. Then the question arises whether it is not better to fit Maxwell equations, derived in earth conditions for relatively small electromagnetic fields with respect to the enorme light speed, and write down non-linear Maxwell equations, which by analogy with mentioned example, must satisfy to more particular but more natural Galilean transformations.

By the way the equations of this type are equations of magnetohydrodynamics, obtained from

matching solution of Maxwell equations for moving media [2, 3]

$$\text{rot} \bar{\mathbf{H}} = \frac{4\pi}{c} \bar{\mathbf{j}} + \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial \bar{\mathbf{E}}}{\partial t}, \quad \text{rot} \bar{\mathbf{E}} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{\mathbf{B}}}{\partial t}, \quad \bar{\mathbf{B}} = \bar{\mathbf{H}} \quad (1)$$

where current density is connected with $\bar{\mathbf{E}}$ by Ohm law

$$\bar{\mathbf{j}} = \sigma \bar{\mathbf{E}}' = \bar{\mathbf{E}} + \frac{\bar{\mathbf{v}} \times \bar{\mathbf{B}}}{c} \quad (2)$$

with equations of motion of media

$$\rho \frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = -\nabla p + \frac{\bar{\mathbf{j}} \times \bar{\mathbf{B}}}{c} \quad (3)$$

For not too small varied in time processes or (which is the same) for not too large frequencies, the item with displacement current in (1) can be neglected, and as a result the induction equation can be obtained from (1), (2)

$$\frac{d\bar{\mathbf{B}}}{dt} = (\bar{\mathbf{B}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{v}} - \bar{\mathbf{B}} \text{div} \bar{\mathbf{v}} + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \Delta \bar{\mathbf{H}} \quad (4)$$

and instead of (3)

$$\rho \frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = -\nabla p + \frac{\text{rot} \bar{\mathbf{H}} \times \bar{\mathbf{B}}}{c} \quad (5)$$

and equations (4), (5) are invariant with respect to Galilean transformation, where to the same accuracy $\bar{\mathbf{H}}$ can be taken as the invariant.

These equations were successfully applied to study non-linear waves in pulsars [4, 5], where the great frequencies and large magnetic fields take place. In these conditions the Alfen velocity has the same order as light velocity. In such problems we must take into account non-linear effects and solve non-linear Maxwell equations coupled with hydrodynamical equations. Usually in magnetohydrodynamics frequencies of process ω are much smaller than electroconductivity σ , which allows to neglect the displacement current.

In the case of $\omega \sim \sigma$ for example for magnetic stars [4, 5] $\omega \sim 10^{14}$ [1/sec], we have also to take into account the displacement currents in magnetohydrodynamic equations and, as it was mentioned, to take into account non-linearity for considered great magnetic fields, i.e. to write down non-linear Maxwell equations.

As an example of taking into account the displacement current in non-linear equations (1)-(3) which satisfy the condition of invariancy with respect to the Galilean transformations, as well as in (4), (5) we can replace the displacement current in (1) on $[1/c][d\bar{\mathbf{D}}/dt]$, $\bar{\mathbf{D}} = \varepsilon \bar{\mathbf{E}}'$, where derivative in time is taken for moving particle. Then system (1)-(3) again will be invariant respectively to Galilean transformations, where $\bar{\mathbf{E}}'$ is a simply parameter, which can be excluded as in derivation of (4).

Taking into consideration the improved value of displacement current we have equations of moving electroconducting media in the form (1)-(3), where $\bar{\mathbf{D}} = \varepsilon \bar{\mathbf{E}}'$, $d/dt = \partial/\partial t + (\bar{\mathbf{v}} \cdot \nabla)$.

Note that taking into account the displacement current demands to revise orders of parameters. To

do it let us simplify the system of equations, making the iteration in the first equation

$$\sigma \bar{E}' = \frac{c}{4\pi} \text{rot} \bar{H} - \frac{\varepsilon}{4\pi\sigma} \frac{d}{dt} \frac{\varepsilon}{4\pi} \text{rot} \bar{H} \quad (6)$$

Placing (6) in (2) we obtain the induction equation with the accounting of displacement current

$$\frac{d\bar{B}}{dt} = (\bar{B} \cdot \nabla) \bar{v} - \bar{B} \text{div} \bar{v} + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \Delta \bar{H} - \frac{c^2}{4\pi\sigma} \frac{\varepsilon}{4\pi\sigma} \text{rot} \frac{d}{dt} \text{rot} \bar{H} \quad (7)$$

Here $\bar{B} = \mu \bar{H}$, $\mu = 1$. Taking into consideration that in propagating waves $[d/dt] \sim \omega$, $\nabla \sim [(\omega)/c_n]$, where c_n is wave speed, from (7) we obtain orders $\omega \sim \sigma$,

$$v \sim c_n, \quad c_n \sim c, \quad E \sim H \quad (8)$$

where [3, 4] $c_n \sim a_1$, $a_1 = B/\sqrt{4\pi\rho}$ is Alfen speed. From the equation of motion (3) we obtain

$$\frac{p}{\rho} \sim c^2, \quad a_1 \sim c \quad (9)$$

It is evident that orders (8), (9) take place for general nonsimplified system of equations as well.

$$\text{rot} \bar{H} = \frac{4\pi}{c} \sigma \bar{E}' + \frac{\varepsilon}{c} \frac{d\bar{E}'}{dt}, \quad \bar{E}' = \bar{E} + \frac{\bar{v} \times \bar{B}}{c} \quad (10)$$

$$\text{rot} \bar{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \quad \bar{j} = \sigma \bar{E}' \quad (11)$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho c} \bar{j} \times \bar{B}, \quad \bar{B} = \bar{H} \quad (12)$$

System (10)-(12) due to (8), (9) describes the motion of electroconducting fluids in great magnetic fields and with great velocities and pressures, and is invariant with respect to Galilean transformation.

Of course it must be considered only as a possible example of modification of Maxwell equations for moving media, and accounting of non-linearity, the mentioned equations are invariant with respect to Galilean transformations.

Note that system (10)-(12) is closed together with the equation of continuity of mass and the state equation of fluid. At the same time it takes place the [2] equation of continuity of charge density ρ_e in form

$$\frac{\partial \rho_e}{\partial t} + \text{div} \bar{j} = 0 \quad (13)$$

If we place a usual Maxwell equation (1) due to which $\text{div} \bar{j} = -[1/(4\pi)][(\partial)/(\partial t)] \text{div} \bar{D}$ in (13), we obtain from (13)

$$\operatorname{div} \vec{j} = 4\pi\rho_e \quad (14)$$

which is the [2] known Culon law, derived initially for static problem, and postulated by Maxwell for dynamic problems, by the way, for inmoved media. In considered statement of problem for moving media equations (10)-(12) yield

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{d\vec{D}}{dt}, \quad \operatorname{div} \vec{j} = -\frac{1}{4\pi} \operatorname{div} \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (15)$$

From (13) and (15) we obtain

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho_e - \frac{1}{4\pi} \operatorname{div} \vec{D} \right) - \frac{1}{4\pi} \operatorname{div} \{ (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \vec{D} \} = 0 \quad (16)$$

After resolving the equations (10)-(12), from (16) we obtain ρ_e .

For inmoving media $\vec{v} = 0$ and (16) coincides with (14), and in general case of moving media the correctness of (16) is not less based than of equation (14). Also note that as it is mentioned in [2] it is not necessary to derive (2) from Lorents transformations, in which the velocity of inertial system is supposed to be constant, but in (2) $\vec{v}$ is a variable velocity of particle, and as it is done in [2] to assume (2) as an experimental Ohm law for moving media. Thus, on our opinion, the special theory of relativity can be considered as an asymptotic theory taking place for large velocities and bounded fields, which allows it to describe the motion of elementary particles with corresponding shortening of length and time, but does not make a fetish of its results in application to non-linear equations of mechanics, as well as to electrodynamic equations, particularly for large electromagnetic fields.

In applications to these non-linear equations Galilean transformations are more natural than more general by form, but more particular by applications, Lorents transformations.

Also note that equations of motion of two-component plasma and equations of motion of mixtures of gas and fluid in clouds are not invariant with respect to Lorents transformation, and for the former ones the dispersion law for waves is obtained, which gives electromagnetic waves for large frequencies and magnetohydrodynamic waves for small ones [6].

And it is not posed the condition of invariancy of equations with respect to any transformations in inertial systems, which is the basic argument of the special theory of relativity.

Institute of Mechanics NAS RA

Литература

1. Григорян С.С. В сб.: Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред. V Междунар. конф. Горис. 2005. С. 164-169.
2. Кутушев А.М., Голубева Н.С. Основы радиоэлектр. М. Энергия. 1969. 879 с.
3. Багдоев А.Г., Седракян Д.М. - Астрофизика. 2002. Т.45. Вып. 1. С. 63-68.
4. Багдоев А.Г., Седракян Д.М. - Астрофизика. 2003. Т.46. Вып. 1. С. 87-94.
5. Тамм И.Е. - Основы теории электричества. М. Наука. 1966. 624 с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М. Атомиздат. 1964. 283с.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա.Գ. Բագդոև, Ա.Վ. Շեկոյան

Ընդհանրացված ոչ գծային մագնիսահիդրոդինամիկ միջավայրի հավասարումները

Դիտարկվում է շարժվող միջավայրի ոչ գծային ընդհանրացված Մաքսվելլի հավասարումների դուրս բերման մի տարբերակը, որի համար այդ հավասարումները, ինչպես նաև հեղուկի շարժման հավասարումները, ինվարիանտ են Գալիլեյի ձևափոխության նկատմամբ:

Член-корреспондент НАН РА А. Г. Багдоев, А. В. Шекоян

Обобщенные нелинейные уравнения магнитогидродинамических сред

Дано обобщение нелинейных уравнений магнитной гидродинамики в случае больших электропроводностей и соизмеримых с ними по порядку частот. В отличие от обычных уравнений магнитной гидродинамики, записанных для больших электропроводностей и относительно небольших частот, учитывается ток смещения, который модифицируется для движущейся среды таким образом, чтобы окончательные уравнения, как и уравнения обычной гидродинамики, были инвариантны относительно преобразований Галилея.

Academician E. M. Kazaryan¹, A. A. Kostanyan¹, H. A. Sarkisyan^{*1,2}

Optical absorption in GaAs quantum well caused by donor-acceptor pair transitions

(Submitted 20/IX/06)

Keywords: *quantum well, donor-acceptor pair, transitions*

1. Introduction. The investigation of properties related with impurity centers in semiconductor quantum well (QW) structures has not only fundamental interest, but also is of major importance in optoelectronic device applications (high electron mobility transistors, QW infrared photodetectors or emitters, etc.) [1].

In semiconductors of A^3B^5 group, the electrons that bound with doped impurities, form shallow energy states close to band gap edges. In particular, doping the bulk semiconductor simultaneously with both donor and acceptor impurities, form the shallow states near the band gap edges, making possible optical transitions between two clearly isolated energy levels. [2-4].

One of the first works related to investigations of donor-acceptor pair (DAP) transitions in above-mentioned semiconductors is Hopfield's work [2]. Later, detailed investigation of DAP transitions were made by Stoneham and Harker [3], where central-cell corrections were taken into account.

The investigation of hydrogenic impurities in GaAs QW was in details performed by Bastard [5]. Later investigations of impurity properties in QW was followed by several other, more detailed investigations. The energy spectrum of the ground state and the low-lying excited states for shallow impurities in QW structures, influence of dielectric constant mismatches at well interfaces, effects of spatially dependent screening, electron-phonon interactions, nonparabolicity of the conduction and valence band, etc. were in details performed by other authors (see for example Ref. [6])

Variations in the properties can be caused by changing the concentration of the dopant from uniform distributions within QW to concentrated sheet layers resulting in a so-called δ -doped profile. Energetic levels of an impurity are possible to tune in a controlled way by changing the doping profile. Understating the influence of impurities on the optical properties near the QW intrinsic transitions is of particular concern in order to optimize the design of optoelectronic devices.

The PL spectrum is an effective technique for characterizing doped QWs. In addition to free-excitonic transition, donor-bound exciton [7,8], acceptor-bound exciton [9], free electron to acceptor [10-12] and heavy hole to donor [10-12] transitions were also observed in p-type and n-type doped QWs.

Besides above-mentioned ones, acceptor-to-donor pair transitions in QWs are also possible. There are several experimental reports concerning observation of the DAP transition peak in the PL spectra. Ding et al [13] have reported an observation of an anomalously large blueshift of apparent

DAP transition peak in compensation-doped coupled QWs. The blueshift was observed in PL spectra while the excitation intensity increases from 0.54 to 423 W/cm². Authors proposed that the blueshift is due to the change of the Coulomb interaction energy between recombined donors and acceptors as their separation decreases. Later Guzman et al [14] performed an optical characterization of GaAs/GaAlAs single QW structures by interband PL spectroscopy. The peak in PL spectra at lower energy was observed and attributed to DAP transition. Samples were grown by molecular beam epitaxy (MBE) with two-dimensional doping concentration (Si) in the wells in the range of 0-10¹² cm⁻². Si is related to acceptor, while C is related to residual donor, which is always present in samples grown by MBE. In this connection, one can assume that non-compensated QWs were considered. The dependence of DAP transition peak on different doping concentration was performed, and the blueshift was observed.

However, in above-mentioned experimental works, discussions about DAP transitions concerned only qualitative aspect of the subject. In this connection, it is important to have a quantitative model, which will describe aforementioned transitions that can give an opportunity to perform an essential comparison between theory and the experiment.

In this paper, we present a theoretical investigation of DAP transitions in the framework of non-compensated lightly doped GaAs infinite-barrier QW.

2. Theory. The impurity envelope functions are the solutions of Schrödinger equation with the effective Hamiltonian

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m^*} + V(z) - \frac{e^2}{\kappa \sqrt{\rho^2 + (z - z_i)^2}}, \quad (1)$$

where m^* is the electron effective mass, κ - the dielectric constant (for GaAs $\kappa = 13.18$), z_i ($i = D, A$) is the impurity position along OZ axes, $V(z)$ - the confinement potential.

For definiteness we will only refer to the donor state, because it is clear that (1) also applies to the acceptor state, where m^* understood as the hole effective mass.

We present the envelope function of ground state as

$$\psi_0(\rho, z) = \varphi_0(\rho)\chi_0(z), \quad (2)$$

where $\varphi_0(\rho)$ is the function in QW plane and $\chi_0(z)$ is along the quantization axis OZ.

Taking into account the normalization condition for $\chi_0(z)$ we get two-dimensional Schrödinger equation for the function $\varphi_0(\rho)$

$$\left[\frac{\hat{p}_x^2 + \hat{p}_y^2}{2m^*} + V_{\text{eff}}(\rho) \right] \varphi_0(\rho) = (\varepsilon - E_0) \varphi_0(\rho), \quad (3)$$

where $V_{\text{eff}}(\rho)$ is the effective Coulomb potential in XOY plane:

$$V_{\text{eff}}(\rho) = -\frac{e^2}{\kappa} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{|\chi|^2}{\sqrt{\rho^2 + (z - z_i)^2}} dz. \quad (4)$$

The solution of Eq.(3) is found using the variational method, with the trial function of the ground state in the form [5]

$$\varphi_0(\rho) = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\rho/\lambda}, \quad (5)$$

where λ is the variational parameter.

The ground state energy is obtained after the minimization of the function

$$\varepsilon(\lambda, z_i) = E_0 + \frac{\hbar^2}{2m^* \lambda^2} - \frac{2e^2}{\kappa \lambda} \int_0^\infty x e^{-x} dx \int_{-L/2}^{L/2} \frac{|\chi_0|^2 dz}{\sqrt{x^2 + \frac{4}{\lambda^2} (z - z_i)^2}}. \quad (6)$$

The binding energy is equal to

$$E_{\text{bind}} = E_0 - \min_{\lambda} \varepsilon(\lambda, z_i). \quad (7)$$

Now we turn to the calculation of the absorption coefficient in considered structure, conditioned by transitions between ground states of DAP.

Let us consider lightly doped QW with concentration of acceptors n_A , so that $\bar{R} \gg a_D, a_A$ conditions are satisfied ($\bar{R}$ is the average distance between acceptors and donors in the QW plane). In this case the main contribution into the transitions within the donor-acceptor system makes pairs satisfying to $R \geq a_D, a_A$ conditions, because the number of pairs with $R < a_D$ is not significant. For this case the coupling energy of the DAP can be taken equal to $e^2/\kappa R$ and considered as an acceptor energy level shift. The location of the donor is $(\vec{\rho}, z)$, and the acceptor is $(\vec{\rho} - (\vec{R}, z)$, where $\vec{\rho}$ is the radius vector and $\vec{R}$ is the distance between donor and acceptor in QW plane. Later we will assume that donor and acceptor are located in the center of QW.

The electron and hole ground eigenstates and eigenvalues are (measured from the maximum of valence band)

$$\psi_A = \frac{2}{\lambda_A} \sqrt{\frac{1}{\pi L}} \cos\left(\frac{\pi z}{L}\right) e^{-\frac{|\vec{\rho} - \vec{R}|}{\lambda_A}} u_{v,0}(\vec{\rho} - \vec{R}), \quad (8)$$

$$\psi_D = \frac{2}{\lambda_D} \sqrt{\frac{1}{\pi L}} \cos\left(\frac{\pi z}{L}\right) e^{-\frac{\rho}{\lambda_D}} u_{c,0}(\vec{\rho}), \quad (9)$$

$$E_A = -\min \varepsilon_A(\lambda_A) - \frac{e^2}{\kappa R}, \quad (10)$$

$$E_D = \min \varepsilon_D(\lambda_D) + \varepsilon_{\text{gap}}, \quad (11)$$

where λ_A, λ_D are variational parameters, $u_{v,0}, u_{c,0}$ - Bloch amplitudes in the center of the Brillouin zone (in the discussed structure zone extrema are on the center of Brillouin zone).

The light absorption coefficient is determined by the formula [15]

$$\alpha_R(\omega) = \frac{4\pi^2 c}{N\omega V} \frac{|M_{AD}|^2}{|A_0|^2} \delta(E_f - E_i - \hbar\omega), \quad (12)$$

where V is the sample volume, M_{AD} - the matrix element of "acceptor→donor" transition, N - the refractive index, A_0 is the vector potential amplitude of incident electromagnetic wave.

In the case of normal incident light the matrix element can be written as

$$M_{AD} = \frac{2e}{\pi m_0} (\vec{e} \vec{p}_{cv}) \frac{1}{\lambda_A \lambda_D} \frac{2}{L} \int_{-L/2}^{L/2} e^{iq_z z} \cos \left(\frac{\pi z}{L} \right) \cos \left(\frac{\pi z}{L} \right) dz \times \quad (13)$$

$$\times \int_0^{2\pi} \int_0^\infty e^{-\left(\frac{1}{\lambda_A} \sqrt{\rho^2 + R^2} - 2\rho R \cos\varphi + \frac{1}{\lambda_D} \rho \right)} \rho d\rho d\varphi = \frac{2e}{\pi m_0} (\vec{e} \vec{p}_{cv}) \frac{1}{\lambda_A \lambda_D} F(R) \xi(q_z L),$$

where $\vec{p}_{cv}$ is the matrix element conditioned by Bloch amplitudes, $\vec{e}$ is the incident light polarization, q_z is the photon wave vector in the z direction.

By $F(R)$ and $\xi(q_z L)$ we denoted the following integrals

$$F(R) = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty e^{-\left(\frac{1}{\lambda_A} \sqrt{\rho^2 + R^2} - 2\rho R \cos\varphi + \frac{1}{\lambda_D} \rho \right)} \rho d\rho d\varphi, \quad (14)$$

$$\xi(q_z L) = \frac{2}{L} \int_{-L/2}^{L/2} e^{iq_z z} \cos \left(\frac{\pi z}{L} \right) \cos \left(\frac{\pi z}{L} \right) dz.$$

In discussed case of shallow impurities Eq.(13) can be simplified, if we take into consideration the fact, that for GaAs $\tilde{\varepsilon}_g \geq \varepsilon_g \sim 1$ eV (the expression for $\tilde{\varepsilon}_g$ see below) and for QW width we have $L \sim 10^{-6}$ cm (~ 100 Å), which makes the parameter $q_z L \ll 1$. This allows us to take $\xi(q_z L)$ approximately equal to 1.

As it follows from Eq. (12) such transitions are possible only between those DAPs, the distances between which can be determined from the energy conservation law

$$R_1 \equiv R = \frac{e^2}{\kappa(\hbar\omega - \tilde{\varepsilon}_g)}, \quad (15)$$

where

$$\tilde{\varepsilon}_g = \varepsilon_g + E_D^0 + E_A^0, \quad E_A^0 = \min_{\lambda_A} \varepsilon_A(\lambda_A), \quad E_D^0 = \min_{\lambda_D} \varepsilon_D(\lambda_D). \quad (16)$$

Considering R as changing continuously when $n_A \gg n_D$, let us write the expression for the absorption coefficient [4]

$$\alpha(\omega) = N_D \int_0^\infty \alpha_R(\omega) W(R) dR, \quad (17)$$

where N_D - number of donors, $W(R)$ - distribution function by R values.

As DAPs distribution function we take the adjacent-neighbor distribution [4], and taking $W(R)$ not dependent on z:

$$W(R) = 2\pi R n_A \exp\{-\pi R^2 L n_A\}, \quad (18)$$

where n_A is the bulk concentration of acceptors.

After averaging over the distribution (18) for the absorption coefficient of DAP transition we obtain the following expression

$$\alpha_{\text{DAP}}(\omega) = \frac{2^5 \pi N n_A^- n_D^+}{L \omega \lambda_A^2 \lambda_D^2 c m_0^2} |\bar{e} \vec{p}_{cv}|^2 |\xi(q_z L)|^2 |F(R_1)|^2 R_1^3 \{-\pi R_1^2 n_A^-\}, \quad (19)$$

where n_A^- and n_D^+ are two dimensional surface concentrations of acceptors and donors, respectively.

3. Discussion. Fig. 1 shows the dependencies of the absorption coefficient on the energy of incident light at different values of QW width ($L = 50$ Å, 65 Å, 100 Å). As it follows from figure, with the increase of L the effective width of the forbidden band decreases and therefore the absorption threshold shifts to the smaller energies (smaller frequencies), as a result of size-quantization weakening. Also small reduction of the absorption coefficient value is observed.

Calculations are made at the value of dominant impurity (acceptors) concentration equals to $n_A^- = 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, and at $k = 0.05$ compensation value ($k = n_D^+ / n_A^-$). The numerical values of parameters in

the absorption coefficient (19) in the GaAs structures are: $\varepsilon_{\text{gap}} = 1.519 \text{ eV}$, $m_v = 0.34m_e$, $m_c = 0.067m_e$, $N = 3.6$.

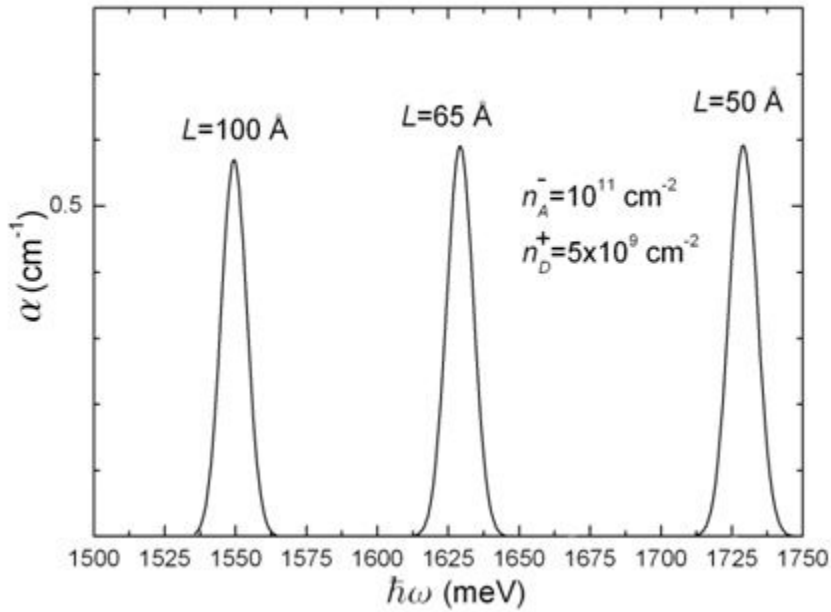


Fig.1. Absorption coefficient dependence on incident light frequency at different widths of QW

Fig. 2 presents the absorption coefficient dependencies on the incident light frequency at different values of dominant impurity concentration ($n_A^- = 5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$, $n_A^- = 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, $n_A^- = 2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$, $n_A^- = 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$). With the increase of the impurity concentration the absorption coefficient growth occurs, as well as threshold frequency slightly increases (i.e. the blueshift is observable).

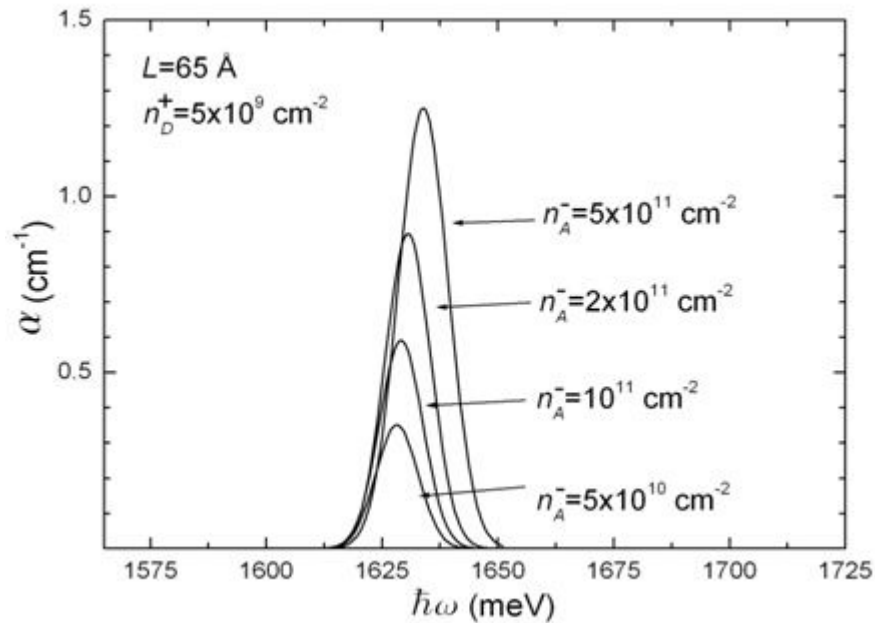


Fig.2. Absorption coefficient dependence on incident light frequency at different concentrations of dominant impurity

Fig. 3 shows the blueshift dependences on different values of two-dimensional concentrations of

dominant impurity (acceptor). There is a significant difference between the experimental and theoretical data for the lightly doped samples.

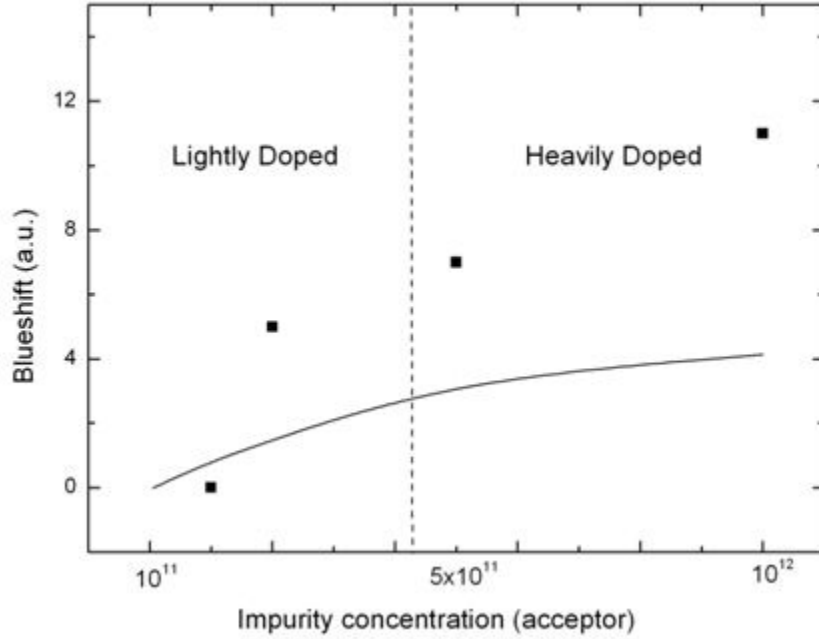


Fig.3. The blueshift dependence on dominant impurity (acceptor) concentration: squares - experimental results, solid line - result of calculations, left - region of low concentrations, right - region of high concentrations

The blueshift can be presented as

$$\Delta E_{\text{shift}} = \varepsilon_g - E_{\text{bD}} - E_{\text{bA}} + \frac{q_1 q_2}{R} \quad (20)$$

where E_{bD} and E_{bA} are donor and acceptor binding energies, respectively; the fourth item in Eq.(20) is the Coloumbian term. When acceptor concentration is increasing (e.g. concentration of Si atoms [14]), donors (e.g. residual C atoms [14]) and acceptors become spatially closer, the blueshift in the acceptor-donor transition peak should take place, as a result of the Coloumbian term increase [13], [14]. So the growth of doping level should be the reason of blueshift increase. Such a result is obtained in our theoretical model.

In Ref.[14] the blueshift of DAP transition peak was observed with respect to e1-hh1 peak (transition between first conduction subband and first heavy-hole subband) in GaAs/AlGaAs QW infra-red detector structures. The considered samples with different concentrations of impurities were grown at different runs via MBE. In the reported results fluctuations of QW thicknesses (appearing due to different runs) introduce certain variation into blueshift growth tendency along with impurity concentration growth in the lightly doping samples. The comparison of our theoretical results with the experimental data shows that in the lightly doped samples the mentioned technological fluctuations significantly affect on the blueshift growth tendency along

with the impurity concentration increase from sample to sample. As it is seen from Fig. 1, even small differences in well thicknesses can result in significant shift of the absorption threshold (peak position).

4. Conclusion. We have presented the theoretical model for donor-acceptor pair transitions in non-compensation doped GaAs QW. These transitions are taking place between different impurity atoms' levels. The developed model enables in the frames of simple theoretical model to simulate blueshift behavior in doped QW structures.

This work was supported by the Armenian State Program "Semiconductor Nanoelectronics".

¹Russian-Armenian State University

²Yerevan State University

*Corresponding author: e-mail address: shayk@ysu.am; tel.: +374 10 553-246

Литература

1. *B. F. Levine* - Journ. Appl. Phys. 1993. V. 74. R1-81.
2. *J. J. Hopfield* - Proc. Int. Conf. on Semiconductors. Paris. 1964. P. 725.
3. *A. M. Stoneham, A. H. Harker* - Journ. Phys. C: Solid St. Phys. 1975. V. 8. P. 1109-18.
4. *E. M. Kazaryan, A. H. Melikyan, H. R. Minasyan* - Sov. Phys. Semiconductors. 1979. V. 13. P. 2034.
5. *G. Bastard* - Phys. Rev. 1981. B 24. P. 4714.
6. *S. Frazzoli, F. Bassani, R. Buczko* - Phys. Rev. 1990. B 41. P. 5096.
7. *R. Stepniewski, S. Huant, G. Martinez, B. Etienne* - Phys. Rev. 1989. B 40. P. 9772.
8. *P. O. Holtz, B. Monemar, M. Sundaram, J. L. Merz, A. C. Gossard* - Superlatt. Microstruct. 1992. V. 12. P. 133.
9. *Q. X. Zhao, P. O. Holtz, C. I. Harris, B. Monemar, E. Veje* - Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 2721.
10. *L. E. Oliveira, R. Perez-Alvarez* - Phys. Rev. 1989. B 40. P. 10460.
11. *E. M. Kazaryan, A. A. Kostanyan, H. A. Sarkisyan* - Physica. 2005. E 28. P. 423.
12. *J. Kundrotas, A. Cerskus, S. Asmontas, G. Valusis, B. Sherliker, M. P. Halsall, M. J. Steer, E. Johannessen, P. Harrison* - Phys. Rev. 2005. B 72. P. 235322.
13. *Y. J. Ding, R. Korotkov, J. B. Khurgin, W. S. Rabinovich, D. S. Katzer* - Appl. Phys. Lett. 1998. V. 72. P. 534.
14. *A. Guzman, J. L. Sanchez-Rojas, J. M. G. Tijero, J. J. Sanchez, J. Hernando, E. Calleja, E. Mufioz, G. Vergara, M. T. Montojo, L. J. Gornez, P. Rodriiguez, R. Alrnazan, M. Verdu* - IEE Proc.- Optoelectron. 1999. V. 146. P. 89.
15. *A. I. Anselm* - Introduction of Semiconductors Theory. Nauka. 1978. in Russian.

Ակադեմիկոս Է. Մ. Ղազարյան, Ա. Ա. Կոստանյան, Հ. Ա. Սարգսյան

Դոնոր-ակցեպտոր անցումներով պայմանավորված օպտիկական կլանումը GaAs-ից քվանտային փոսում

Տեսականորեն հետազոտված է օպտիկական կլանումը GaAs-ից քվանտային փոսում՝ պայմանավորված դոնոր-ակցեպտորային անցումներով: Արդյունաբար զանգվածի մոտավորությամբ վարիացիոն եղանակով ուսումնասիրված են դոնորի և ակցեպտորի հիմնական վիճակների ալիքային ֆունկցիաները և էներգետիկ մակարդակները: Հաշվի է առնված կլանման կորի լայնացումը՝ պայմանավորված միջխառնուրդային հեռավորությունների միջինացմամբ: Հետազոտված է կլանման գործակցի՝ քվանտային փոսի լայնությունից և խառնուրդների կոնցենտրացիայից կախման բնույթը: Ուսումնասիրված է կլանման սպեկտրի կապույտ շեղումը, և կատարված է համեմատություն փորձնական արդյունքների հետ:

Академик Э. М. Казарян, А. А. Костанян, А. А. Саркисян

Оптическое поглощение в квантовой яме из GaAs, обусловленное донор-акцепторными переходами

Теоретически исследовано оптическое поглощение в квантовой яме из GaAs, обусловленное донор-акцепторными переходами. В приближении эффективной массы вариационным методом изучены волновые функции и энергетические уровни основных состояний донора и акцептора. Учтено уширение кривой поглощения, обусловленное усреднением по межпримесным расстояниям. Исследован характер зависимости коэффициента поглощения в зависимости от толщины квантовой ямы и от концентрации примесей. Изучено синее смещение в спектре поглощения и проведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными.

УДК 666. 112.9

М. З. Петросян, Н. Б. Князян, академик К. А. Костанян

Стеклование, структурные особенности и электропроводность стекол
системы $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$

(Представлено 28/VIII 2006)

Ключевые слова: *стеклообразование, электропроводность, бораты, фториды, ванадаты*

Оксиды B_2O_3 и V_2O_5 , значительно отличающиеся по строению, определяют сложность строения стекол на их основе, нелинейный характер изменения ряда свойств, особенно электрических, ввиду присутствия в составе стекол элемента переменной валентности. Наличие широких областей стеклообразования в ванадиевоборатных системах с щелочноземельными катионами и возможность получения стекол с высоким содержанием V_2O_5 и низким B_2O_3 позволяют полагать, что роль и положение ванадия в структуре таких стекол могут быть различны в зависимости от концентрации модификаторов.

В кристаллическом V_2O_5 группы VO^{3+} связаны посредством двух- и трехкоординированных ионов кислорода таким образом, что получается координационное число 5 по ванадию [1]. Группы VO_5 связаны друг с другом частично вершинами, частично ребрами и образуют слои, причем в каждой группе один атом кислорода немостиковый. По способности образовывать стекло B_2O_3 является типичным стеклообразователем. Оксид бора существует в двух кристаллических модификациях: гексагональной, структура которой построена из неправильных тетраэдров BO_4 , и орторомбическая, где часть атомов бора находится в тройной координации. Систематические исследования стеклообразующих ванадатных систем с типичным стеклообразователем B_2O_3 , являющимся стабилизатором в многокомпонентных стеклах, свидетельствуют, что при изменении концентрации B_2O_3 и модифицирующего катиона могут реализоваться многообразные формы ближнего порядка (V^{IV} , V^V , B^{III} , B^{IV}) [2]. Вследствие окислительно-восстановительных процессов, происходящих в стеклообразующем расплаве при высоких температурах, возможно также частичное выделение кислорода [3].

Целью данной работы являлось изучение стеклообразования и влияния фторида бария на фазовый состав продуктов кристаллизации и на электрические характеристики стекол системы $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$. Синтез стекол с содержанием до 50 мол.% BaF_2 производился в корундовых тиглях в электрической печи в атмосфере воздуха при температурах 800-1000°C с выдержкой 60 мин. Стекла синтезировались из химически чистых реактивов V_2O_5 , H_3BO_3 и BaF_2 . Дериватограммы порошков стекол сняты на дериватографе Q-1500, скорость нагрева

$10^{\circ}\text{мин}^{-1}$. Рентгенограммы порошков закристаллизованных стекол получены на дифрактометре ДРОН 2 с медным излучением ($\lambda = 1.542 \text{ \AA}$) с никелевым фильтром, скорость съемки $2^{\circ}/\text{мин}$.

Электрические свойства в температурном интервале от комнатной до температуры стеклования измерены при постоянном и переменном напряжении, электроды графитовые.

На рис. 1 приведены область стеклообразования в системе $\text{V}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaF}_2$ и составы исследованных стекол.

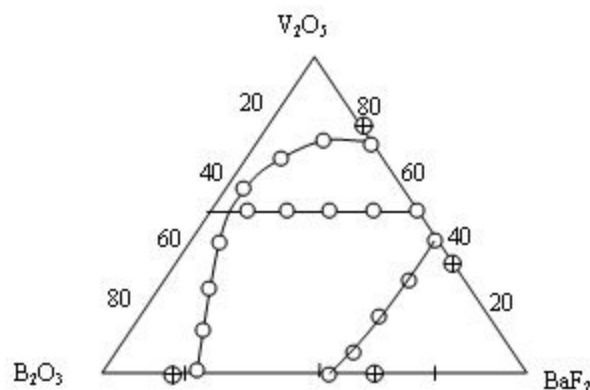


Рис.1. Область стеклообразования:
 $\oplus$ - стеклосодержащие кристаллические включения;
 $\bigcirc$ - стекло.

Трехкомпонентные системы, содержащие два стеклообразующих оксида (B_2O_3 и V_2O_5), сохраняют общую тенденцию в образовании двух областей стеклообразования, которые обусловлены стремлением ($\text{B}^{\text{III}}, \text{B}^{\text{IV}}$) и ($\text{V}^{\text{IV}}, \text{V}^{\text{V}}$) к образованию в стекле своего характерного кислородного (в нашей системе оксифторидное) окружения. Основное отличие фторсодержащей системы от оксидной - это расширение областей стеклообразования в бинарных системах $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaF}_2$ и $\text{V}_2\text{O}_5 - \text{BaF}_2$, что, по всей вероятности, обусловлено координационным сдвигом $\text{BO}_3 \rightarrow \text{BO}_4$, $\text{VO}_4 \rightarrow \text{VO}_5$ в сторону образования групп BO_4 и VO_5 и уменьшением склонности расплавов к расслоению.

В бинарных системах $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaF}_2$ и $\text{V}_2\text{O}_5 - \text{BaF}_2$ стекла образуются при содержании от 32 до 54 мол.% и от 27 до 52 мол.% BaF_2 соответственно. Отсутствие гомогенных стекол в бинарной системе $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ и тройной, примыкающей к двойной системе $\text{V}_2\text{O}_5 - \text{B}_2\text{O}_3$ объясняется ограниченной взаимной растворимостью компонентов в субсолидусной области и широкой областью метастабильной ликвации в бинарной системе [4].

На основании кристаллохимического подхода к трактовке структуры борванадатных стекол, включающего изотермическую обработку стекол при температурах экзотермических эффектов на ДТА стекол с последующей идентификацией образовавшихся кристаллических фаз, определены доминирующие структурные мотивы на основе бора и ванадия при увеличении концентрации BaF_2 по разрезу $\text{V}_2\text{O}_5 = 50$ мол.%.

На кривых ДТА порошков стекол (рис.2), содержащих до 30 мол.% BaF_2 , проявляются

широкие пики с малой высотой, указывающие на высокие величины активационного барьера кристаллизации.

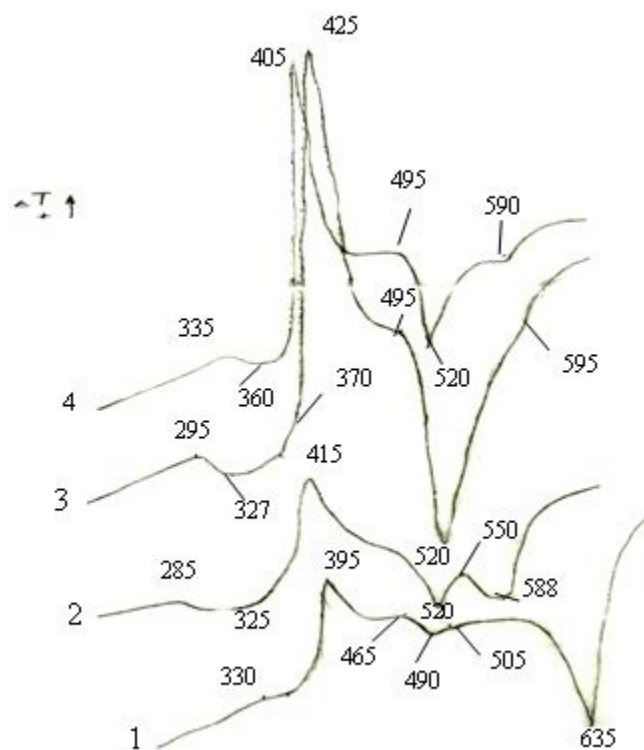


Рис. 2 Кривые ДТА стекол по разрезу $V_2O_5 = 50$ мол.%, содержащих:
1- $BaF_2 = 20$ мол.%, 2- $BaF_2 = 30$ мол.%, 3- $BaF_2 = 40$ мол.%, 4- $BaF_2 = 50$ мол.%.

Увеличение в стекле количества фторида, участвующего в образовании оксифторидных группировок, по-видимому, приводит к уменьшению процесса трехмерного структурирования каркаса стекла за счет увеличения концевых связей фтора и смещения равновесия координационных переходов $BO_4 \rightarrow BO_3$, $VO_4 \rightarrow VO_5$. Деполимеризация пространственной структуры приводит к значительному уменьшению температуры стеклования стекол (t_g) примерно на $50^\circ C$ и температуры ликвидуса системы (t_λ) на $45^\circ C$.

В продуктах кристаллизации этих стекол кроме бората и ванадата бария идентифицированы также фторсодержащие бораты и ванадаты. Присутствие в продуктах кристаллизации мета- $Ba(VO_3)_2$, пиро- $Ba_2V_2O_7$ и орто- $Ba_3(VO_4)_2$ ванадатов бария свидетельствует о том, что последовательность образования основной единицей структуры стеклообразного каркаса при уменьшении количества стеклообразующего оксида B_2O_3 зависит от концентрации вводимого катиона модификатора (Ba^{2+}). При высоком соотношении B_2O_3/V_2O_5 , по-видимому, пространственная структура стекла строится преимущественно из цепочек BO_3 и VO_3 групп, связанных общими вершинами, при этом катионы модификатора располагаются в пустотах решетки. Одновременно происходят координационные переходы $BO_3 \rightarrow BO_4$ [2]. Переход

атомов бора в четверную координацию может быть двояким: донорно-акцепторная связь $B^{IV}-O$ может являться боковой и мостиковой. Только во втором случае эта связь приводит к дополнительному пространственному увязыванию ванадатных и боратных групп $V(O,F)_4$ и $B(O,F)_4$. Образование оксифторидных боратных и ванадатных групп подтверждается наличием в продуктах кристаллизации стекол соединений $BaBO_3F$ и $Ba_5F(VO_4)_3$. Переход в многофторидную область составов выражается в крутом подъеме ветвей экзоэффектов (увеличение кристаллизационной способности стекол) и снижением температуры ликвидуса системы. Начиная с определенной концентрации BaF_2 часть фтора, вводимого с модификатором, превращается в немостиковый по схеме $[B(OF)_{4/2}]_2^- Ba^{2+} \rightleftharpoons [BO_{3/2}F^-]_2 Ba^{2+}$ и приведенное равновесие смещается вправо, т.е. образование боратных тетраэдров уменьшается [5].

Деполимеризация структуры стекла, при которой значительная часть фтора (частично и кислорода) может стать концевой, локализоваться близ катиона модификатора (Ba^{2+}) и в координационном окружении ванадия, способствует получению многофторидных ванадатных стекол. По сравнению с чисто оксидной системой $BaO - V_2O_5$ температура ликвидуса снижается на 115-120°C [6], что способствует получению стекол, содержащих до 55 мол.% BaF_2 . То обстоятельство, что все ванадаты бария плавятся инконгруэнтно с образованием расплава и BaO , создает возможность активного участия иона модификатора в координационных переходах бора и ванадия с компенсацией электрического заряда. При постепенном уменьшении B_2O_3 в составе стекол большое значение для получения устойчивых стекол приобретают степень диссоциации V_2O_5 и состав анионов в стеклообразующем расплаве. По-видимому, при соотношении $B_2O_3/V_2O_5 \approx 1$ и низком содержании BaF_2 в структуре стекла образуется в целом "слоистая" структура, включающая полиэдры бороксольных колец B_3O_6 и тетраэдрические группы BO_4 и VO_4 . При малом содержании VO_4 групп каждое пятиугольное пространство, образованное атомами кислорода, входящими в состав полиэдров VO_4 , и плоские B_3O_6 кольца соединяются щелочноземельными металлами, осуществляющими одновременно связь между слоями [7]. По мере уменьшения соотношения B_2O_3/V_2O_5 при увеличении BaF_2 в центральной области составов системы в продуктах кристаллизации превалируют боратные соединения бария (βBaB_2O_4 , $BaBO_3F$) и $Ba(VO_3)_2$, где бор находится и в четверной, и в тройной координации, а ванадий преимущественно в четверной координации. Т.е. можно предположить, что взаимодействие между боратной и ванадатной составляющими стекла реализуется в результате образования чередующихся связей $B - O - V$, приводящих к трехмерному увязыванию каркаса. Совместимость структурообразующих групп увеличивает температурную область трансформации стекол ($t_g - t_f$) от 15 до 40°C. При меньшем содержании в стекле B_2O_3 (< 10 мол%) основными кристаллическими фазами являются ванадаты бария.

На кривых ДТА этих стекол имеются экзотермические эффекты при 405-425 и 495-500°С, обусловленные образованием вначале мета-, а затем пированадата бария. При 590-595°С наблюдаются эндотермические эффекты перитектического плавления метаванадата.

Ответственными при образовании каркаса многованадатных стекол могут являться VO_4 тетраэдры, тригонально бипирамидальные и тетрагонально пирамидальные группы VO_5 . В работе [2] не исключается возможность образования групп VO_6 в стеклах, содержащих V_2O_5 50 мол.% и более.

Установлено, что электрическая проводимость ванадатных стекол определяется присутствием ионов V^{4+} и V^{5+} , и полупроводниковый характер политемпературной проводимости, низкая подвижность носителей заряда объясняются перескоковым механизмом проводимости. В соответствии с этим проводимость ванадатных стекол (ванадатов) обусловлена перескоками поляронов между ионами V^{4+} и V^{5+} . Вклад ионной составляющей с ростом температуры может возрастать или уменьшаться в зависимости от вида модифицирующего катиона [3]. Политемпературные проводимости исследованных стекол приведены на рис. 3.

Удельная проводимость (σ) на постоянном токе, в целом, имеет экспоненциальную зависимость от $1/T$ с энергией активации $E_\sigma = 0.079$ эв. Более резкий спад на политемпературе проводимости в области температуры 25-100°С связан, по-видимому, с изменением электронной составляющей проводимости. Считают, что в ванадатных стеклах и кристаллах электроперенос связан с переносом электронов по локализованным состояниям, а рост электронной составляющей и уменьшение энергии активации проводимости с увеличением температуры - с увеличением вероятности перескоков за счет

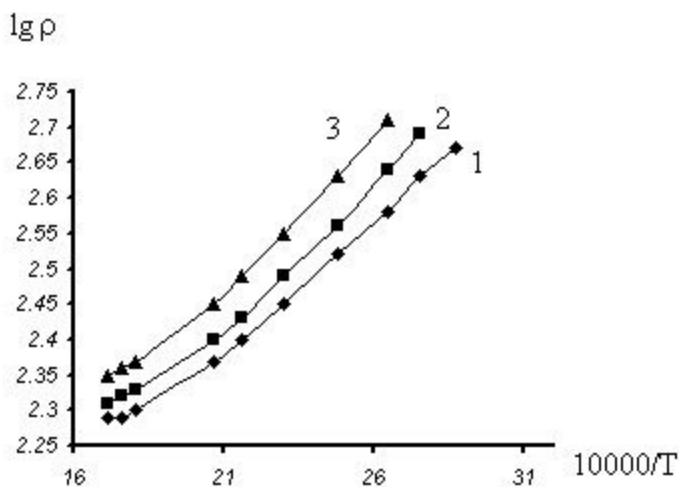


Рис. 3. Температурная зависимость удельного сопротивления стекол от температуры:

1- $\text{V}_2\text{O}_5:\text{B}_2\text{O}_3 = 5:3$, 2- $\text{V}_2\text{O}_5:\text{B}_2\text{O}_3 = 5:2$, 3- $\text{V}_2\text{O}_5:\text{B}_2\text{O}_3 = 5:1$.

перекрывания молекулярных орбиталей [8]. На политемпературах можно отделить два линейных участка: область высоких температур, где проводимость осуществляется преимущественно электронами, локализованными на ионах ванадия ($E_\sigma = 0.047$ эв), и область низких

температур, где преобладает ионная составляющая по фтору ($E_{\sigma} = 0.079\text{эВ}$). Температурная зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь приведены на рис. 4.

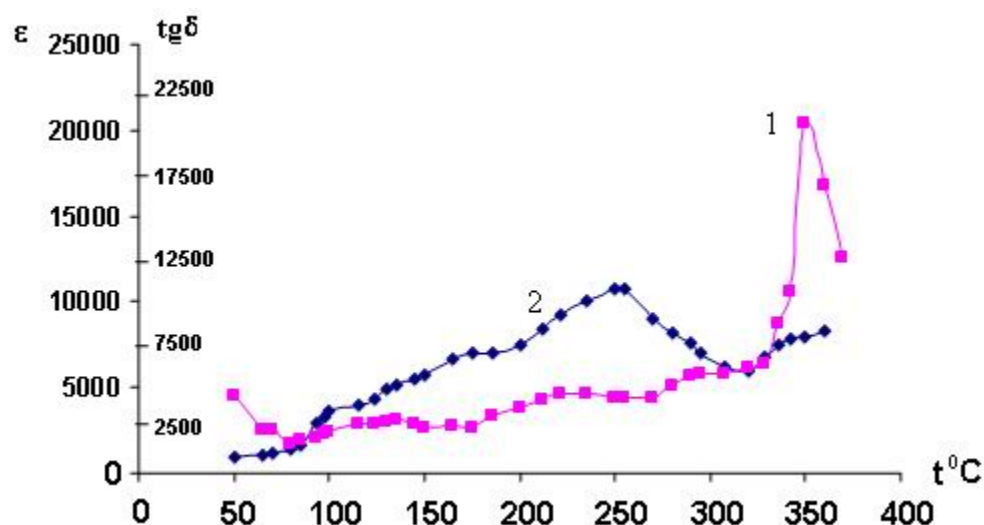


Рис. 4. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости (1) ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь (2).

На кривых зависимостей $\text{tg}\sigma = f(t)$ и $\epsilon = f(t)$ фиксируются четко выраженные максимумы в области температур 240-350°C. Такое резкое изменение кривых, по мнению многих исследователей [9], свидетельствует об изменении характера релаксационных процессов и типа проводимости при нагревании образца. О механизме проводимости можно также судить по величине энергии активации процесса и электропроводности стекла.

Низкие значения $E_{\sigma} (< 0.079\text{эВ})$ и удельного сопротивления предопределяют электронный характер проводимости стекол [10].

Государственный инженерный университет Армении

Մ. Զ. Պետրոսյան, Ն. Բ. Կնյազյան, ակադեմիկոս Կ. Ա. Կոստանյան

$V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$ համակարգի ապակիների ապակեզոյացումը, կառուցվածքային առաձնահատկությունները և էլետրահաղորդականությունը

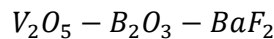
Հետազոտվել են $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$ համակարգի ապակեզոյացումն ու ապակիների հարկադրական բյուրեղացման արգասիքները: Դիֆերենցիալ թերմիկ և ռենտգենաֆազային անալիզի եղանակներով ուսումնասիրվել են համակարգի լիքվիդուսի ջերմաստիճանը, սինթեզված ապակիների բյուրեղացման ջերմաստիճանային տիրույթը և բյուրեղային ֆազերի բաղադրությունը:

Բացահայտվել է, որ BaF_2 -ի կոնցենտրացիայի մեծացման դեպքում տեղի է ունենում V^{5+} և V^{4+} փոփոխական վալենտականության մետաղների իոնների վերադասավորում ապակեզոյացնող ցանցում, իսկ էլետրական հատկությունների փոփոխությունը որոշվում է գլխավորապես V^{5+}/V^{4+} հարաբերությամբ:

Քննարկվել է բոր և վանադիում իոնների կոորդինացիոն վիճակը ապակու կառույցում: Էլետրահաղորդականության և պրոցեսի ակտիվացման էներգիայի արժեքների հիման վրա հիմնավորված է հաղորդականության էլետրոնային ձևը հետազոտված բորվանադատային ապակիներում:

M. Z. Petrosyan, N. B. Knyazyan, academician K. A. Kostanyan

Glassformation, Structural Features and Electrical Conductivity of Glasses of System



It is investigated the glassforming and products of compulsory cristallization of system $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$. The methods of differential thermal and rentgen analyses investigate the changes of liqvidus temperature, area of cristallisation of the synthesized glasses, and mixture of cristal phases.

It is revealed that at increase in concentration BaF_2 there is an embedoling of ions transitive metals (V^{5+}, V^{4+}) in glassforming network, and caracter of change of electric properites it is defined mainly by ratio V^{5+}/V^{4+} .

The question on a coordination condition of ions of a pine forest and vanadium in a grid of a glass is considered.

On a basis of electrocommunication and on a process of activation energy, the assumption of electronic mechanizm of communication glasses is made.

Литература

1. *Абдулаев А. А., Кисловский Л. П.* - Кристаллография. 1970. Т. 15. С. 988.
2. *Hubert T., Mosel G., Witke K.* - Физика и химия стекла. Т. 27. N2. 2001. С. 172.
3. *Фотиев А. А., Слободин Б. В.* Ванадаты, Состав, синтез, структура, свойства. М. Наука. 1988. 272 с.
4. *Мальцев В. Т., Чобанян П. М.* - Журн. неорганической химии. 1974. Т.19. N 6. С. 1617-1620.
5. *Костанян К. А., Князян Н. Б., Гаспарян Л. А.* - Хим. журнал Армении. 2004. Т. 57. N 1-2. С. 14.
6. *Фотиев А. А., Макаров В. Л.* - Журн. неорганической химии. 1969. Т. 14. N 1. С. 277-281.
7. *Красненко Т. И., Фотиев А. А.* - Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1983. Т. 19. N5. С. 803.
8. *Attos O., Massot M., Balkanski M., Haro-Poniatowski E., Asomoza M.* - J. Non-Cristalline Solids. 1997. V. 210. P. 163-170.
9. *Ingram M. D.* - Phys. Chem. Glasses. 1987. V. 28. P. 215.
10. *Гречаник Л. А., Файнберг Е. А., Зерцалова И. Н.* В сб.: Электрические свойства и строение стекла. М. - Л. Химия. 1964. С. 30.

УДК 577.15

Л. П. Тер-Татевосян, Л. В. Саркисян, И. Г. Асланян, академик А. А. Галоян

Влияние PRP-1 на активность некоторых фосфатаз в костном мозге белых крыс в норме и при раздражении нейросекреторных ядер гипоталамуса (NPV и NSO)

(Представлено 3/IV 2006)

Ключевые слова: щелочная фосфатаза, кислая фосфатаза, неорганическая пирофосфатаза, казеинфосфатаза, PRP-1

Одна из наиболее актуальных проблем при изучении углеводно-фосфорного обмена - выявление возможных регуляторов фосфатаз, среди которых гормоны имеют первостепенное значение. Влияние гормонов на обмен веществ и энергии осуществляется в основном через определенные ферменты, причем гормоны влияют либо непосредственно на их синтез, либо на синтез других веществ, участвующих в конкретном ферментативном процессе. Гипоталамус, являясь частью как нервной, так и эндокринной систем, выделяет пептидно-белковые факторы, контролирующие выделенные гипофизом гормоны, часть которых непосредственно воздействует на биохимические процессы в тканях. В этом отношении особенно интересны выделенные академиком А. А. Галояном из гипоталамуса быка иммуностимулирующие нейропептиды, являющиеся регуляторами для ряда ферментов углеводно-фосфорного обмена [1- 3].

В настоящей работе исследованы роль и механизм действия одного из биоактивных пептидов гипоталамуса PRP-1 (пролин-богатый пептид - галармин-1) на активность ряда фосфатаз в костном мозге крыс, где происходит зарождение новых лимфоцитов, несущих ответственность за иммунную систему организма [4].

Опыты ставились *in vitro* на гомогенатах костного мозга белых крыс. Первая серия опытов ставилась на здоровых крысах массой 120-150 г с использованием галармина-1 в концентрациях от 0.5 до 10 μ с интервалами. Во второй серии крысы массой 200-250 г были подвергнуты стимуляции гипоталамических ядер под нембуталовым наркозом. Раздражающий электрод вводили в nSO и n-PaLM прямоугольными электрическими импульсами длительностью 1 с с частотой 100 Гц, с общей протяженностью стимуляции 15 мин (3 раза с интервалом 5 мин), после чего по истечении 15 мин крысы забивались для изъятия костного мозга [5].

Активность щелочной (КФ 3.1.3.1) и кислой (КФ 3.1.3.2) фосфатаз определяли методом Шлыгина и Михлина [6]. В качестве субстрата использовали паранитрофенилфосфат ("Reanal") в концентрации $2 \cdot 10^{-3}$ М в миналовом буфере с pH 9.6 для щелочной фосфатазы и pH 4.6 - для кислой. Об активности этих ферментов судили по нарастанию паранитрофенола в течение 30 мин при 30°C. Активность неорганической пирофосфатазы (КФ

3.6.1.1) определяли методом Геппеля [7], субстратом данного фермента был неорганический пирофосфат Na в медуляловом буфере с pH 7.2. Активность фосфопротеинфосфатазы (КФ 3.1.3.16) с казеином в качестве субстрата (pH 6.2) в экстрактах определяли по Фанштейну, Фольку [8]. По количеству отщепившегося от субстрата неорганического фосфора судили о ферментативной активности казеинфосфатазы и неорганической пирофосфатазы, которую выражали в микромолях фосфора на грамм ткани в минуту (Е) [9]. Для всех четырех ферментов приведены средние данные 5-6 опытов, статистически достоверные.

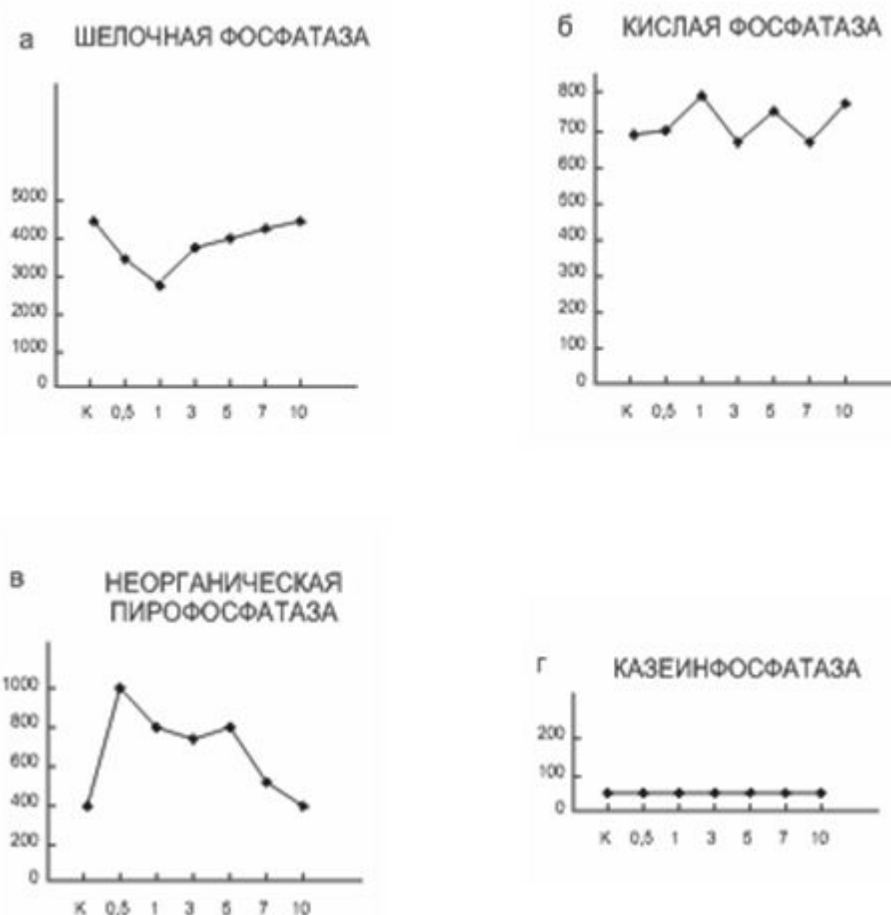


Рис. 1. Активность фосфатаз в костном мозге белых крыс под действием галармина. По оси абсцисс - галармин в γ; по оси ординат - активность фермента в Е. а, б - Е = мк моль фенола/ г тк. мин, в, г - Е = мк моль Р/ г тк. мин

Ранее нами было показано, что некоторые пептиды гипоталамуса приводят к сдвигам в активности щелочной фосфатазы [2]. Аналогичная картина наблюдается и в случаях с PRP-1 (рис.1,а), где все используемые дозы пептида оказывают подавляющее действие на ферментативную активность: PRP-1 в дозе 0.5 и 1 γ снижает активность щелочной фосфатазы костного мозга на 40% по сравнению с контролем, в то же время фиксируется частичная потеря чувствительности этого фермента (20%) к высоким концентрациям пептида (3-10 γ). Снижение активности фермента предположительно связано с конформационными изменениями его активного центра, ибо для щелочной фосфатазы необходимы соответствующие количества ионов двухвалентных металлов в качестве кофакторов для

компенсации зарядов на фосфатной группировке и облегчения нуклеофильной атаки гидроксильной группы серина на фосфор [10]. Кислая фосфатаза костного мозга крысы (рис.1,б) характеризуется несколько иными свойствами, чем щелочная. Кривая ее активности носит более плавный характер и нет линейной зависимости от доз пептида. Различия в каталитических центрах и структурах этих двух моноэстераз (кислой и щелочной фосфатаз), по всей вероятности, и является причиной расхождения в характере ответных реакций на действие данного пептида.

Существует ряд доказательств важного значения пирофосфата как в регуляторной деятельности некоторых ферментативных процессов, так и в обеспечении постоянного уровня макроэргических соединений [11]. Обмен неорганического пирофосфата осуществляется пирофосфатазой - специфическим ферментом, расщепляющим пирофосфорную кислоту на молекулы ортофосфорной кислоты. Результаты определения зависимости пирофосфатазы костного мозга крыс от PRP-1 приведены на рис.1,в. Как видно из кривой, ферментативная активность наиболее высока при минимальной дозе нейропептида (0.5γ), с повышением же количества галармина наблюдается обратная корреляция, и при наличии в инкубационной среде 10γ PRP-1 активность пирофосфатазы приравнивается к норме. Как показывает кривая 1,г, эффект действия гипоталамического пептида зависит не только от его концентрации, но и от природы фермента, на который он действует. Для казеинфосфатазы костного мозга крысы абсолютная величина ферментативной активности под действием различных доз галармина практически не отличается от контрольных величин. Для всех групп животных этот показатель очень мал и равен 40 мкМ Р/ тк мин. Результаты данной серии опытов позволяют судить о потенциальных возможностях регуляции обмена фосфопротеинов на участке, находящемся под контролем фосфатаз, где нейрого르몬ам отведена не последняя роль.

Гормоны гипоталамуса выделяются нервными клетками, собранными в группы (ядра гипоталамуса) и связанными с гипофизом сетью кровеносных сосудов и нервов. При поражении ядер гипоталамуса повреждаются макромолекулы живой клетки со сдвигами в обмене веществ, с нарушениями на уровне отдельных органов и тканей. Существенные морфологические и биохимические нарушения возникают в нервной ткани, развивается соответствующая патология, при которой фосфатазы подвергаются изменениям [3, 12]. Была проведена серия экспериментов по изучению эффекта разрушения гипоталамических ядер на активность ферментов в костном мозге крыс. Как видно из рис.2, сдвиги в активности исследуемых фосфатаз при данной патологии носят не только количественный, но и качественный характер. Максимальной ферментативной активностью отличается щелочная фосфатаза - имея в контроле 4500 Е , ее активность возрастает до 6000 Е у опытных крыс.

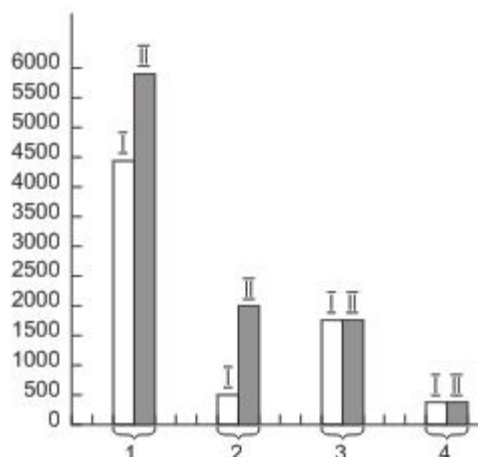


Рис. 2. Активность фермента в костном мозге белых крыс в норме и после раздражения ядер гипоталамуса (NPV и NSO): I - □ - контроль, II - ■ - опыт; по оси абсцисс: 1- щелочная фосфатаза, 2- кислая фосфатаза, 3- неорганическая пирофосфатаза, 4- казеинфосфатаза; по оси ординат - активность фермента в Е, 1,2 - Е = мк моль фенола/ г тк. мин, 3,4 - Е = мк моль Р/ г тк. мин

Неорганическая пирофосфатаза, проявляя высокую энзиматическую активность у здоровых крыс (1600 Е), к данной патологии не чувствительна. Казеинфосфатаза, исследованная в тех же условиях, неактивна как у интактных животных, так и у крыс, подвергшихся раздражению гипоталамических ядер. Особый интерес представляет кислая фосфомоноэстераза костного мозга крысы. Как видно из графика (рис.2), каталитическая активность данного фермента в норме составляет 660 Е, после стимуляции ядер NPV и NSO резко возрастает, доходя до 1980 Е, что составляет трехкратное повышение ферментативной активности. Подобный скачок кислой фосфатазы можно предположительно объяснить выбросом PRP-1, которые прямо и косвенно стимулируют активацию энзима. Это предположение подтвердилось иммуногистохимическими исследованиями, где *in vivo* морфологически было доказано увеличение структур, резко активирующих кислую фосфатазу костного мозга крысы [13]. Рассмотрев полученные данные, приходим к заключению, что на фоне функциональной реактивности нервной ткани в ответ на поражение организма уровень активности фосфатаз подвергается определенным сдвигам, выражающимся в одних случаях в нарастании процесса катаболизма, в других - в преобладании скорее компенсаторных механизмов.

Таким образом, гипоталамические пептиды прямо или косвенно принимают активное участие в регуляции метаболизма фосфопротеинов через фосфатазы.

Авторы выражают благодарность за помощь сотрудникам лаборатории компенсации функций ЦНС Института физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА.

Институт биохимии им. Г. Х. Бунятына НАН РА

Լ. Պ. Տեր-Թադևոսյան, Լ. Վ. Սարգսյան, Ի. Հ. Ասլանյան, ակադեմիկոս Ա. Ա. Գալոյան

**PRP-1-ի ազդեցությունը սպիտակ առնետների ոսկրածուծի որոշ ֆոսֆատազների վրա
նորմալում և հիպոթալամուսի նեյրոսեկրետոր կորիզների (NPV և NSO) գրգռման դեպքում**

Այս ուսումնասիրության նպատակն է *in vitro* պայմաններում PRP-1 ի տարբեր չափաբաժինների (0.5, 1, 3, 5, 7, 10 γ) ազդեցության որոշումը առնետների ոսկրածուծում ածխաջրածնային – ֆոսֆորային փոխանակության վրա, ինչպես նաև հիպոթալամիկ կորիզների գրգռման էֆեկտը այդ ֆերմենտների ակտիվության վրա:

Պեպտիդի խտությունից կախված՝ հայտնաբերվել է հիմնային ֆոսֆատազի ակտիվության նվազում (4500-ից - 3000 E)՝ չափաբաժնի 1 γ -ով ավելացման դեպքում, թթու ֆոսֆատազի ֆերմենտային ակտիվության փոքր ավելացում (1 և 5 γ), և անօրգանական պիրոֆոսֆատազի կտրուկ ակտիվացում՝ PRP-1 0.5, 1, 3, 5 γ խտությունների դեպքում:

Հասկապես հետաքրքիր է թթու ֆոսֆատազի ակտիվության եռակի (300%) բարձրացումը հիպոթալամուսի նեյրոսեկրետոր կորիզների գրգռման դեպքում: Ֆիզիոլոգիական տվյալ ազդեցության ժամանակ հիմնային ֆոսֆատազն ավելի կայուն էր, իսկ անօրգանական պիրոֆոսֆատազը ցուցաբերեց լրիվ կայունություն:

L. P. Ter-Tadevosian, L. V. Sarkissian, I. G. Aslanian, Academician A. A. Galoyan

Effect of PRP-1 on Activity of Some Phosphates in Rat Bone Marrow in Control and in Stimulation of Hypothalamic Nuclei (NPV and NSO)

The purpose of the current study was *in vitro* the determination effect of different dosages of PRP-1 on some enzymes of carbohydrate - phosphate metabolism in rat bone marrow as well as the effect of stimulation of hypothalamic nuclei on above-mentioned enzymes. The dependency of different concentration of PRP-1 was revealed; decrease activity of alkaline phosphates (4500-3000 E) in addition to dosage 1 γ ; slight increase of enzymatic activity of acid phosphates (1 and 1.5 γ) and sharp activation of inorganic pyrophosphates at PRP-1 concentration 0.5, 1.0, 3.0, and 5.0 γ have been noted. Especially there is of interest the 3-time increase of activity of acid phosphates compared to control in rats after stimulation. An Alkaline phosphate was more stable to this physiological action. Inorganic phosphates revealed full resistance.

Литература

1. Тер-Татевосян Л. П., Саркисян Л. В., Асланян И. Г., Галоян А. А. - ДНАН РА. 2004. Т. 104. N 3. С. 228-233.
2. Тер-Татевосян Л. П., Саркисян Л. В., Асланян И. Г., Галоян А. А. - ДНАН РА. 2004. Т. 104. N 4. С. 343-348.
3. Galoyan A. Armen. In: Brain Neurosekretory cytokines, Immune Response and Neuronal Survival. Kluwer Academic Plenum Publishers. 2004. P. 1-188.
4. Fontenay M., Bryckaert M., Tobelem G. - J. CM Physiol. 1992. V. 152. N 3. P. 507.
5. Paxinos G., Watson C. The Rat Brain in stereotaxic coordinates. ACADEMIC PRESS inc, 1986.
6. Шлыгин Г. К., Михлин С. Я. - Вопр. мед. химии. 1955. N 1. С. 468.
7. Heppel L. A. - Metods in Enzymology. 421. New York. 1955. V.2. P. 570-574.
8. Feinstein R. N., Folk M. E. - J. Biol. chem. 1949. V. 177. P. 339-344.
9. Taussky H. H., Shorr E. J. - Biol. Chem.. 1953. V. 202. P. 675-685.
10. Hauson A. W., Applebury M. L., Coleman I. E., Wyckoff. - J. Biol. Chem. 1970. V. 245. P. 4975-4976.
11. Flodgaard H., Frenor P. - Abstracts 9th internat. Congr. Biochem. Stockholm. 1973. P. 218.
12. Prelot M., Do T. X., Planchenault P., Glrault. A. - Arch. Int. phyziol/ et. Biochem. 1990. V. 98. N 1. С. 59-66.
13. Melikyan N. - Electronic Journal of Natural sciences (National Academy of Sciences of RA) 2005. T. 2. N 5. P. 12-147.

УДК 612.019:591.044

Л. М. Овсепян, академик К. Г. Карагезян, А. В. Мелкумян, Г. В. Захарян

**Взаимосвязь окислительного фосфорилирования и процесса
перекисного окисления липидов в митохондриальной фракции
головного мозга при гипоксии**

(Представлено 2/VI 2006)

Ключевые слова: *окислительное фосфорилирование, перекисное окисление липидов, гипоксия*

Кислородное голодание организма вызывает метаболические перестройки в тканях, влияя главным образом на систему биологического окисления. Кислород используется клетками в процессе дыхания, в основном митохондриальной системой окисления. Полное восстановление молекулы кислорода до воды требует наличия четырех электронов. При гипоксии понижается концентрация молекулярного кислорода и увеличивается уровень восстановленности компонентов дыхательной цепи, в результате чего стимулируется восстановление кислорода по одноэлектронному пути. В этих условиях в митохондриях (МХ) накапливаются активные формы кислорода; при переносе первого электрона формируется супероксидный радикал, при переносе второго - перекись водорода; наиболее токсичный и реактивный гидроксил - радикал является результатом третьего переноса электрона [1]. При снижении мозгового кровотока и развитии ишемии именно митохондриальная дыхательная цепь переноса электронов становится мощным источником образования активных форм кислорода - нестабильных и крайне реакционноспособных метаболитов.

Целью настоящего исследования явилось сравнительное изучение процессов окислительного фосфорилирования, содержания цитохромов, а также перекисного окисления липидов в митохондриальной фракции головного мозга в норме и при гипоксии.

Опыты проводили на беспородных белых крысах массой 170-200г. Гипоксию головного мозга вызывали одномоментной окклюзией сонных артерий (30 мин). МХ головного мозга выделяли в среде, содержащей 0.25 М сахарозы и 0.01 М трис-НСl буфера, рН7.4, методом дифференциального центрифугирования при 13000 g, после осаждения ядер при 600 g. Скорость дыхания МХ измеряли полярографически с помощью электрода Кларка в среде инкубации следующего состава, в мМ: сахароза - 100, KH_2PO_4 - 15, трис HCl - 15 (рН 7.4), ЭДТА - 0.1. В качестве субстратов окисления использовали комплекс субстратов янтарной (4 мМ) и глютаминовой (6 мМ) кислот. Скорость дыхания регистрировали в следующих метаболических состояниях: V_2 - состояние покоя до работы в присутствии субстратов окисления; V_3 - состояние активной деятельности, стимулированное добавкой в среду АДФ (200 мМ); V_4 - состояние отдыха после работы или отрегулированное состояние. Дыхательный контроль, определяемый отношением V_3 к V_4 , отражает степень стимуляции

дыхания в зависимости от уровня фосфорилирования [2]. Количество цитохромов рассчитывали по величине поглощения в максимуме поглощения α -полосы при 605 нм для цитохрома а, при 550 нм для цитохрома С, при 562 нм для цитохрома В и при 557 нм для цитохрома В₅ [3].

О содержании диеновых конъюгатов судили по характерному для них поглощению при 233 нм [4], гидроперекисей - по цветной реакции с тиоцианатом аммония при максимуме поглощения 480 нм [5], малонового диальдегида - по реакции с тиобарбитуровой кислотой [6]. Количественное определение белка производили по Лоури [7]. Достоверность полученных результатов оценивали методом вариационной статистики Стьюдента-Фишера.

Таблица 1

Показатели дыхательной и фосфорилирующей активности (в нг ат О/с мг белка)
митохондрий мозга в норме и при гипоксии (субстрат - сукцинат+глутамат) (n = 7)

Показатели	V ₂	V ₃	V ₄	ДК	Т фосфор.
Контроль	2.49±0.16	5.45±0.2	2.59±0.16	2.18±0.15	20±1.2
Гипоксия	2.28±0.17	2.44±0.16*	2.38±0.12	1.07±0.17*	40±1.3*

Примечание: * $p < 0.001$.

Как видно из табл.1, МХ мозга контрольных крыс при наличии сукцината и глутамата в качестве субстрата окисления поглощают 2.49 нг атомов кислорода на 1 мг белка. Добавление АДФ оказывает приблизительно двукратное стимулирующее воздействие на этот процесс, дыхательный контроль при этом колеблется в пределах 2.18, и по этой величине представляется возможность судить о способности дыхательной цепи к ускорению процесса переноса электронов на фоне введения экзогенной АДФ и переходу в отрегулированное состояние. Согласно результатам проведенных исследований гипоксия сопровождается заметным уменьшением скоростей дыхания V₂ и V₄, удлинением времени фосфорилирования и резко выраженным уменьшением скоростей V₂ и V₃, что является отчетливым показателем серьезности нарушений в процессе передачи электронов по дыхательной цепи. Величина дыхательного контроля, равная 1.07, указывает на почти полное разобщение процессов дыхания и фосфорилирования при гипоксии. Этот комплекс изменений однозначно свидетельствует о нарушении при гипоксии сопряжения окисления и фосфорилирования в МХ. Снижение скорости переноса электронов в активном и разобщенном состояниях может быть обусловлено изменением активностей комплексов дыхательной цепи МХ или изменением содержания цитохромов. В табл.2 представлены данные об уменьшении содержания цитохромов в дыхательной цепи переноса электронов в МХ мозговой ткани гипоксических животных.

Содержание цитохромов в митохондриях головного мозга в норме и при гипоксии (нмоль/мг белка) (n = 5)

Цитохром	Контроль	Гипоксия
B	0.140±0.006	0.112±0.005**
C	0.182±0.012	0.133±0.011***
C-1	0.159±0.007	0.112±0.006*
a	0.238±0.009	0.205±0.008***
B-5	0.183±0.011	0.128±0.009**

Примечание: * - $p < 0.001$; ** - $p < 0.01$; *** - $p < 0.02$.

При исследовании процесса перекисного окисления липидов нами обнаружено увеличение содержания продуктов свободнорадикального окисления - диеновых конъюгатов, гидроперекисей и малонового диальдегида в МХ. Увеличению содержания перекисей в головном мозге способствуют высокое содержание в нем легко окисляемых субстратов, таких как полиненасыщенные жирные кислоты и катехоламины; сравнительно низкий уровень антиоксидантов - глутатиона и витамина Е и антиоксидантных ферментов (глутатионпероксидазы, каталазы, супероксиддисмутазы); наличие высокого содержания в МХ негеминового железа, которое является активатором ПОЛ, а также недостаточность кислорода при гипоксии, приводящие к активированию свободнорадикальных реакций.

Мишенью повреждающего действия свободных радикалов являются белки, нуклеиновые кислоты и липиды клеточных мембран. Механизм ингибирующего действия свободных радикалов кислорода на активность ферментов связывают с окислительной модификацией аминокислотных остатков мембранно-зависимых ферментов. Согласно данным Цханга и соавт. [8] НАДН-оксидаза, НАДН-дегидрогеназа, сукцинатдегидрогеназа, сукцинатоксидаза и F_0F_1 -АТФаза ингибируется гидроперекисями и супероксидрадикалами. Окислительная модификация белков может сопровождаться их агрегацией [9]. Нам представляется, что одним из объяснений сниженной активности окислительного фосфорилирования при гипоксии может быть как ингибирование ферментов, так и нарушение белок-белковых и белок-липидных взаимоотношений в дыхательных комплексах МХ, где помимо отмеченного одной из главных мишеней ОН-радикалов является ДНК [10]. Примечательно, что ДНК МХ, кодирующая небольшое количество пептидов НАДН-дегидрогеназы, апоцитохром в, субъединицы 1-3 цитохромоксидазы и шестую и восьмую субъединицы F_0F_1 -АТФазы, обладают большей, чем ядерная ДНК, чувствительностью к действию оксидантов [11].

Таблица 3

Содержание продуктов перекисного окисления липидов в головном мозге в норме и при гипоксии (n = 7)

Показатель	Контроль	Гипоксия
Диеновые конъюгаты, нмоль/мг белка	1.22±0.15	2.94±0.18*
Гидроперекиси, Е/мг белка	0.62±0.02	1.12±0.03*
МДАНмоль/мг белка	5.2±1.2	11.3±1.4*

Примечание: * - $p < 0.001$.

Таким образом, наблюдаемое нами снижение скорости дыхания МХ в активном и разобщенном состояниях, коэффициента АДФ/О, также уменьшение содержания цитохромов дыхательной цепи являются результатом окислительного повреждения белков и нуклеиновых кислот в МХ свободными радикалами, образующимися в дыхательной цепи при гипоксических состояниях.

Институт молекулярной биологии НАН РА

Литература

1. Болдырев А. А. - Нейрохимия. 1995. Т. 12. N3. С. 271-278.
2. Руководство по изучению биологического окисления полярографическим методом Г. М. Франк. 1973. М. Наука. 120с.
3. Евдотиенко Ю. В., Мохова Е. Н. Механизмы дыхания, фотосинтеза и фиксация азота. 1967. М. Наука. С. 35-48.
4. Романова Л. А. Стальная И. Д. В кн.: Современные методы в биохимии. 1977. М. Наука. С. 63.
5. Стальная И. Д. В кн.: Современные методы в биохимии. 1977. М. Наука. С. 64
6. Владимиров Ю. А. Арчаков А. И. В кн. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. 1972. М. Наука. С. 252.
7. Lowry O., Rosenbogh N., Farr A. - J. Biol. Chem. 1951. V. 153. N1. P. 265-275.
8. Zang Y., Marcillat O. - J. Biol. Chem. 1990. V. 265. P. 16330-16336.
9. Halliwell B. - In: Free Radikals in the Brain. 1992. P. 21-40.
10. Calabrese V., Scapagnini G, Bates T. E. - Neurochemical Research. 2001. V. 26. N6. P. 739-765.
11. Mecocci P., Beal M. F., Cecchetti R. et al - Mol. Chem. Neuropathol. 1997. V. 31. P. 53-64.

Լ. Մ. Հովսեփյան, ակադեմիկոս Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Ա. Վ. Մելքումյան, Գ. Վ. Ջաքարյան

Գլխուղեղի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայում լիպիդների պերօքսիդացիոն գործընթացի և օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման փոխադարձ կապը հիպօքսիայի ժամանակ

Հետազոտվել են գլխուղեղի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայում օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման, ցիտոքրոմների պարունակության և լիպիդների պերօքսիդացման գործընթացները փորձարարական հիպօքսիայի պայմաններում: Ուսումնասիրությունները բացահայտել են օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման ռեակցիաների խախտում, ցիտոքրոմների պարունակության իջեցում և ազատ ռադիկալային գործընթացների ակտիվացում:

Հետազոտությունների արդյունքները, անկասկած, հետաքրքրություն են ներկայացնում հասկանալու ախտաբանազենետիկական այն մեխանիզմները, որոնք ընկած են օրգանիզմի հիպօքսիկային վիճակների հիմքում:

L. M. Hovsepyan, academician K. G. Karageuzyan, A. V. Melkumyan, G. V. Zakharyan

**Cooperation Between of Lipid Peroxidation and Oxidative Phosphorylation
in the Brain Mitokhordial Fraction under the Conditions of Hypoxia**

It was shown that processes of oxidative phosphorylation and peroxidation of lipids as well as the quantitative changes of cytochrom contents under the conditions of experimental hypoxia are accompanied by the significant abnormalities. The data obtained have demonstrated that abnormalities mentioned are characterized by activation of free radical peroxidation reactions, by the lowering of the cytochromes quality and by the depression of the intensity of phosphorilation reactions.

These results spray the light on the modern understandings of pathogenetical mechanisms, which are under lying in the base of hypoxia.

УДК 577.153.+616.36+455.625

О. К. Бдоян, Л. Л. Данилова, Г. В. Элбакян, академик К. Г. Карагезян

**Характеристика структурно-метаболических нарушений
мембраносвязанных фосфолипидов при оксидативном стрессе,
индуцированном адреналиновой гипергликемией**

(Представлено 4/IX 2006)

Ключевые слова: *фосфолипиды, свободнорадикальное окисление, мембраны, эритроцитов, гипергликемия*

Исследованиями последних лет [1-9] по экспериментальному сахарному диабету (СД), моделированному аллоксаном, выявлен ряд принципиально новых особенностей в расстройствах реакций тканевого метаболизма фосфолипидов (ФЛ), ФЛ-ФЛ соотношений и интенсивности течения процессов свободнорадикального окисления (СРО) липидов, имеющих существенное значение в регуляции филогенетически запрограммированного статуса клеточной активности [10,11].

Целью настоящей работы является изучение особенностей нарушений метаболизма ФЛ в мембранах эритроцитов (МЭ) белых крыс как наиболее приближенного прототипа мембранных образований тканей различных уровней дифференциации в отдельные периоды развития гипергликемии, индуцированной адреналином.

Исследования проводили на 126 белых беспородных крысах-самцах массой 180-200 г, содержащихся в ординарных условиях вивариях и голодавших перед началом экспериментов в течение 12 ч. Внутривенное введение адреналина в количестве 2.5 мкг/100 г массы тела производили проколом кожи шприцем по биссектрисе угла венозного расширения, образованного верхней поллой и подключичной венами при крестообразной фиксации белых крыс на станках для мелких животных. Забор крови в объеме 2 мл производили из указанной области через 15, 30, 45 и 60 мин после внутривенной инъекции адреналина.

МЭ выделяли по методу, описанному Лимбер [12]. К 4.5 мл крови прибавляли 0.5 мл 1.5%-ного раствора оксалата натрия, тщательно перемешивали, центрифугировали 15 мин при 1000 g на рефрижераторной центрифуге К-23. Плазму сливали, осадок - эритроцитарную массу дважды промывали изотоническим раствором NaCl с последующим центрифугированием. Отмытую эритроцитарную массу суспендировали в буферном растворе (0.01 M NaHCO₃, 0.003 M NaCl) с ЭДТА в соотношении 1:5, смесь центрифугировали при 12000 g на рефрижераторной центрифуге К-24 в течение 40 мин. Надосадочную жидкость сливали и осадок дважды промывали буфером без ЭДТА, центрифугировали при 12000 g в течение 30 мин. Процедуру повторяли два раза, последний раз с использованием буфера трис-HCl, pH 7.2.

МЭ переносили в фарфоровую ступку, добавляли 15-20 мл ацетона, содержимое тщательно растирали с помощью пестика и сушили под током холодного воздуха до образования сухого

остатка [13]. Экстракцию ФЛ и их количественное определение производили по Фолчу [14]. Фракционирование индивидуальных ФЛ проводили методом одномерной восходящей тонкослойной хроматографии с использованием системы растворителей хлороформ-метанол-аммиак (65:35:5). Экстракты ацетоновых порошков наносили на пластины в трех точках, удаленных от нижнего края пластины на 2 см. Пластины высушивали на воздухе и окрашивали в парах йода. Пятна ФЛ идентифицировали с помощью соответствующих стандартных свидетелей (Sigma). После элюирования подкисленным метанолом элюаты выпаривали досуха и сжигали в среде серной и азотной кислот для минерализации органического фосфора, количественное определение которого основано на измерении оптической плотности синего окрашивания, развивающегося в результате инкубирования его в присутствии молибденовокислого аммония и витамина С при 37°C в течение 1.5 ч. После охлаждения пробы фотометрировали на СФ-26 при длине волны 830 нм [15].

Как вытекает из данных, отраженных в табл. 1, по истечении 60 мин после инъекции адреналина развитие гипергликемической реакции организма характеризуется ярко выраженными качественно-количественными нарушениями ФЛ всех категорий. Наиболее демонстративными при этом представляются уменьшение содержания фосфатидилхолинов (ФХ) и параллельно развивающееся возрастание уровня лизофосфатидилхолинов (ЛФХ), указывающие на интенсивность протекания реакций деацилирования ФХ, катализируемых воздействием чрезмерно активировавшейся фосфолипазы A_2 (ФЛазы A_2).

Таблица 1

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора /мл мембран эритроцитов) в мембранах эритроцитов белых крыс через 15 (1), 30 (2), 45 (3) и 60 (4) мин после введения адреналина

Фракции фосфолипидов	Контроль	Адреналин			
		1	2	3	4
Лизофосфати- дилхолины	3.0±0.4	3.9±0.1 ^x	4.1±0.2 ^x	4.3±0.1 ^x	16.9±0.1 ^x
Монофосфои- нозитиды	5.0±0.4	6.5±0.7 ^x	7.9±0.5 ^x	8.5±0.6 ^x	9.7±0.8 ^x
Сфингомиелины	26.7±1.1	23.7±0.9 ^{xx}	20.6±1.1 ^x	18.9±1.2 ^x	16.9±1.0 ^x
Фосфатидилхолины	39.3±1.21	33.2±1.0 ^{xx}	30.0±1.1 ^{xx}	26.2±1.1 ^x	24.7±1.2 ^x
Фосфатидилсерины	11.9±0.6	10.1±0.4 ^{xx}	8.8±0.5 ^x	7.9±0.5 ^x	7.0±0.5 ^x
Фосфатидилэта- ноламины	7.9±0.4	8.5±0.6 ^{xxx}	9.3±0.4 ^x	10.6±0.6 ^x	10.8±0.5 ^x
СФЛ	95.0±1.6	85.9±1.5 ^{xxx}	80.7±1.2 ^x	75.9±1.4 ^x	86.0±1.0 ^x

СНФЛ	77.2±1.3	69.3±1.3 ^{xxx}	64.0±1.4 ^{xx}	59.5±1.4 ^x	69.5±1.3 ^x
СКФЛ	17.8±0.6	16.6±0.6 ^x	16.7±0.5 ^x	16.7±0.5 ^x	16.7±0.6 ^x
К СНФЛ/СКФЛ	4.3±0.06	4.3±0.06 ^x	3.8±0.05 ^x	3.6±0.05 ^x	4.1±0.04 ^x

Примечания: n=28; x-P < 0.001; xx-P < 0.01.

Максимальным антиоксидантным действием обладает тиосульфат натрия (ТСН), молекулярный механизм детоксицирующего действия которого обусловлен инактивированием ФЛазы A_2 , обладающей, как известно, мощным катализирующим действием на процесс деацелирования ФХ в различных биологических образованиях, в частности в МЭ. Образующиеся в результате большие количества ЛФХ (или лизолецитинов) выступают в роли стимуляторов массового гемолиза с формированием необратимого гипоксического синдрома с летальным исходом. Обладая ярко выраженным антигемолитическим действием, ТСН проявляет также мощную антирадиационную активность путем превентирования процесса окисления структурных белков, их сульфгидрильных групп, комплексообразование которых с ДНК сопровождается формированием систем, не поддающихся разрушительному действию радиационного фактора.

Приведенные примеры антирадикального, антитоксического и стимулирующего действия ТСН на репарационные процессы при различных отклонениях нормального функционирования многочисленных биологических систем организма на клеточном, субклеточном, мембранном и молекулярном уровнях ставят ТСН в ряд наиболее эффективных терапевтических средств.

ТСН не вызывал сколько-нибудь заметных отклонений в динамике количественных изменений изученных фракций ФЛ в МЭ, что явилось свидетельством его стабилизирующего действия на регуляторные механизмы, нормализующие качественно-количественный уровень исследованных соединений, характерный для нормально метаболизирующих эритроцитов крови (табл.2).

Таблица 2

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора /мл мембран эритроцитов) в мембранах эритроцитов белых крыс через 15 (1), 30 (2), 45 (3) и 60 (4) мин после однократной внутривенной инъекции 1 мл сверхнизких концентраций (10^{-4} М, 10^{-8} М, 10^{-12} М - усредненные данные) тиосульфата натрия спустя 2 ч после его введения

Фракции фосфолипидов	Контроль	1	2	3	4
Лизофосфати- дилхолины	3.5±0.4	3.7±0.4	3.7±0.4	3.2±0.4	3.6±0.4

Монофосфоино- зитиды	4.9±0.3	5.1±0.5	5.1±0.3	5.3±0.4	5.3±0.4
Свингомиелины	26.9±0.4	27.1±0.5	27.2±0.4	27.3±0.5	27.5±0.5
Фосфатидилхолины	38.7±1.2	38.6±0.6	38.9±0.7	40.3±0.8	41.0±0.8
Фосфатидилсерины	12.5±0.6	12.7±0.7	12.7±0.6	12.9±0.6	12.8±0.7
Фосфатидилэ- таноламины	7.1±0.4	7.3±0.4	7.3±0.4	7.4±0.4	7.5±0.4
СФЛ	96.3±1.8	94.4±1.8	94.8±1.2	97.1±2.0	97.7±2.0
СНФЛ	76.2±1.3	76.7±1.3	77.0±1.3	78.9±1.4	79.6±1.4
СКФЛ	17.4±0.7	17.4±0.3	17.8±0.7	18.2±0.7	18.1±0.7
К СНФЛ/СКФЛ	4.3±0.1	4.3±0.11 ^x	4.3±0.11 ^x	4.3±0.19 ^x	4.40±0.11 ^x

Примечания: n=35; обозначения те же, что и в табл. 1, без обозначений расхождения от контроля статистически не достоверны.

Таким образом, изолированное введение ТСН не сопровождается статистически достоверными изменениями характеристик изученных показателей, что служит доказательством его общестабилизирующего действия.

Изучение особенностей 2-часового действия использованных разновидностей сверхнизких доз ТСН на фоне стабилизированной 60-минутной гипергликемии, моделированной адреналином, позволило прийти к заключению о неоднотипности проявления антиокислительной активности этого соединения применительно к отдельным представителям ФЛ в МЭ. Отмечающаяся в целом отчетливо проявляющаяся тенденция к упорядочению количественного содержания всех фракций ФЛ в отдельности и в изученных суммарных выражениях не характеризовалась, тем не менее, их полнейшей нормализацией (табл. 3). Отмеченный разнотип, выразившийся в разнонаправленности количественных сдвигов нейтральных и кислых ФЛ (НФЛ и КФЛ соответственно), не отразившийся в конечном счете на сумме ФЛ (СФЛ), расценивается как одно из частных проявлений среди многочисленных компенсаторно-приспособительных реакций организма, которое имеет, несомненно, важное значение в поддержании и стимулировании физиологического стереотипа деятельности данной биологической системы. Вместе с тем нельзя обойти вниманием факт продолжающейся убыли содержания ФХ и отмечающегося на этом фоне одновременного, более чем 5-кратного количественного доминирования ЛФХ над величиной одноименного показателя в контроле. Несмотря на отсутствие статистически достоверных расхождений в величинах СФЛ, СНФЛ, СКФЛ незначительные их отклонения от контрольных уровней оставляют, тем не менее, свой след на величине коэффициента (К) СНФЛ/СКФЛ.

Особенности количественных сдвигов ФЛ всех категорий при предварительной сенсibilизации организма введением 1 мл ТСН в концентрации 10^{-12} М и выработанной на этом фоне 60-минутной гипергликемии, моделированной адреналином, приведены в табл. 4.

Таблица 3

Особенности 2-часового действия сверхнизких доз тиосульфата натрия при нарушениях количественного содержания представителей нейтральных (НФЛ) и кислых (КФЛ) фосфолипидов, их суммы (СНФЛ и СКФЛ соответственно), а также коэффициента СНФЛ/СКФЛ (в %) в мембранах эритроцитов крови белых крыс с моделированной адреналином 60-минутной гипергликемией

Фракции фосфолипидов	Контроль	Адреналин	Тиосульфат натрия 10 ⁻⁴ М	10 ⁻⁸ М	(1.0 мл) 10 ⁻¹² М
Лизофосфати- дилхолины	3.0±0.4	16.9±1.0 ^x	16.6±0.9 ^x	16.4±0.9 ^x	16.7±1.0 ^x
Монофосфои- нозитиды	5.0±0.4	9.7±0.8 ^x	8.8±0.7 ^x	6.8±0.8 ^{xx}	5.6±0.5
Сфингомиелины	26.7±1.1	16.9±1.0 ^x	19.9±1.1 ^{xx}	23.4±1.0 ^x	26.4±1.1
Фосфатидилхолины	39.3±1.2	24.7±1.2 ^x	25.8±1.0 ^x	26.1±1.1 ^x	27.5±1.0 ^x
Фосфатидилсерины	11.9±0.6	7.0±0.5 ^x	8.1±0.5 ^{xx}	9.7±0.6 ^{xx}	11.2±0.5
Фосфатидилэ- ноламины	7.9±0.4	10.8±0.5 ^x	9.9±0.5 ^{xx}	8.8±0.4 ^{xx}	8.1±0.5
СФЛ	95.0±1.2	86.0±1.0 ^x	88.4±1.0 ^{xx}	91.3±1.0	95.2±1.0
СНФЛ	77.2±1.0	69.3±1.3 ^x	71.5±1.0 ^{xx}	74.7±0.9 ^{xx}	78.4±0.9 ^x
СКФЛ	17.8±0.6	16.7±0.6 ^x	16.9±0.6 ^x	16.6±0.5 ^x	16.8±0.6
К СНФЛ/СКФЛ	4.3±0.1	4.1±0.04 ^x	4.2±0.04 ^x	4.5±0.05 ^x	4.7±0.05 ^x

Примечания: n=28, x-P < 0.001, xx-P < 0.01; без обозначений расхождения статистически не достоверны

ТСН, заранее введенный в организм в отмеченной выше сверхнизкой концентрации, выступает в роли мощного синергиста α -токоферола, являющегося основным составляющим в системе эндогенной антирадикальной защиты клетки и принимающего важное участие в антистрессорной реакции организма.

Таблица 4

Динамика количественных изменений фосфолипидов (в мкг липидного фосфора /мл мембран эритроцитов) в мембранах эритроцитов крови белых крыс в контроле, после однократной внутривенной инъекции 1 мл 10⁻¹²М тиосульфата натрия (1) и через 15 (2), 30 (3), 45 (4) и 60 (5) мин после введения 2.5 мкг/100 г массы тела адреналина на этом фоне

Фракции фосфолипидов	Контроль	1	2	3	4	5
Лизофосфати- дилхолины	3.9±0.34	3.6±0.3	3.7±0.4	3.7±0.4	3.8±0.5	3.7±0.3
Монофосфоино- зитиды	4.5±0.3	4.2±0.4	4.6±0.3	4.4±0.3	4.7±0.3	4.7±0.4
Свингомиелины	27.0±0.5	26.9±0.4	27.5±0.5	28.0±0.5	28.1±0.5	27.9±0.4
Фосфатидил- холины	39.0±0.8	39.7±0.7	40.1±0.8	39.9±0.7	40.1±0.8	39.6±0.7
Фосфатидил- серины	13.1±0.5	12.7±0.4	12.9±0.5	13.2±0.5	13.1±0.5	12.6±0.4
Фосфатидилэ- таноламины	8.1±0.4	7.4±0.5	7.3±0.4	7.3±0.4	7.5±0.5	7.1±0.4
СФЛ	95.6±1.8	94.5±1.8	96.1±1.8	96.8±1.8	97.3±1.9	95.6±1.9
СНФЛ	78.0±1.2	77.6±1.3	78.7±1.2	79.0±1.3	79.5±2.0	78.3±1.2
СКФЛ	17.6±0.6	16.9±0.6	16.9±0.6	17.6±0.6	17.8±0.6	17.3±0.7
К СНФЛ/СКФЛ	4.4±0.09	4.6±0.1 ^x	4.5±0.11 ^x	4.48±0.1 ^x	4.40±0.11 ^x	4.5±0.09 ^x

Примечания: n=35; обозначения те же, что и в табл. 2.

Примечательно при этом имеющее место полное нивелирование эффектов адреналина на метаболизм ФЛ уже с самого начала формирования гипергликемической реакции организма. Последнее является свидетельством соответствующего ответа организма на предварительное введение ТСН, выразившегося в формировании прочной ответной реакции организма как противодействия, направленного на нейтрализацию токсических воздействий на физиологически протекающие реакции липидного обмена. В случае же использования ТСН на фоне уже индуцированной адреналином гипергликемии характер развития эффектов нивелирования расстроенных сторон метаболизма ФЛ оказывался однотипным, но несколько затянувшимся. Однако и в данном случае, как и в предыдущем варианте эксперимента превалирование умеренно превышающих норму концентраций ЛФХ носит закономерный характер.

Институт молекулярной биологии НАН РА

Հ. Կ. Բդոյան, Լ. Լ. Դանիլովա, Գ. Վ. Էլբակյան, ակադեմիկոս Կ. Գ. Ղարազյուզյան

**Թաղանթակախյալ ֆոսֆոլիպիդների կառուցվածքամետաբոլիկ խանգարումների բնութագիրը
ադրենալինային հիպերգլիկեմիայից առաջացած օքսիդատիվ ստրեսի պայմաններում**

Ստացված արդյունքները վկայում են այն մասին, որ սպիտակ առնետների մոտ ադրենալինով առաջացած հիպերգլիկեմիայի պայմաններում օքսիդատիվ ստրեսը բնութագրվում է արյան էրիթրոցիտների թաղանթներում տեղի ունեցող ֆոսֆոլիպիդների որակական և քանակական վառ արտահայտված տեղաշարժերով: Վերջիններս արտահայտված են լիզոֆոսֆատիդիլխոլինների շեշտակի ավելացմամբ, որը առավել արտահայտված կատարվում է ադրենալինի ներարկումից 60 րոպե անց: Նատրիումի թիոսուլֆատի գերցածր քանակների $/10^{-4}\text{M}$, 10^{-8}M , 10^{-12}M /օգտագործման պարագայում տեղի է ունենում ֆոսֆոլիպիդային փոխանակության խախտումների վերականգնում, բացառությամբ լիզոֆոսֆատիդիլխոլինների, որոնց քանակությունը շարունակում է մնալ բարձր արժեքների սահմաններում: Նշված փաստը դիտվում է օրգանիզմի հարմարողական մեխանիզմների տեսանկյունից, որը կմեկնաբանվի հետագայում:

H. K. Bdoyan, L. L. Danilova, V. E. Elbakyan, academician K. G. Karageuzyan

**Characteristics of Structural and Methabolic Abnormalities of Membrane-bound
Phospholipids under the Conditions of Oxidative Stress, Conditioning by Adrenaline
Inducted Hyperglycemia**

The data obtained have shown that adrenaline induced hyperglycemia in white rats is accompanied by significant abnormalities in erythrocyte membranes of membrane-bound phospholipids. These changes are characterized by pronounced decrease of quantity of membranebound phosphatidylcholines, which was accompanied by the simultaneous increase of lysophosphatidylcholines level. Using on this background the super low concentrations (10^{-4}M , 10^{-8}M , 10^{-12}M) of sodium thiosulfate is characterized by normalization of disorders mentioned with the exception of lysophosphatidylcholines the high concentration of which remains unchanged. This fact has a special significance, which may be explained as the one mechanism of compensatory activity of the organism.

Литература

1. Аганянц М. А., Карагезян К. Г., Овсепян Л. М. - Информационные технологии и управление. Ереван. 2003. Т. 2. N1. С. 219-227.
2. Аганянц М. А., Мартиросян Э. А., Овсепян Л. М., Думанян Д. Г., Карабашян Л. В., Карагезян К. Г., Секоян Э. С. В сб.: Современные аспекты реабилитации в медицине. Материалы I Международной конференции. Ереван. 2003. С. 9.
3. Карагезян К. Г., Едоян А. Р., Овсепян Л. М., Едоян Л. В., Аганянц М. А., Карян Ш. С., Мартиросян Э. А. - Международная Академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Вестник. Санкт-Петербург. 2003. Т. 86. N 4. С. 194-196.
4. Карагезян К. Г., Едоян А. Р., Едоян Л. В., Овсепян Л. М. - Доклады НАН РА. 2003. Т. 103. N 3. С. 251-256.
5. Карагезян К. Г., Едоян А. Р., Карян Ш. С., Едоян Л. В. - Доклады НАН РА. 2003. Т. 103. N 4. С. 336-341.
6. Ghazaryan A. V., Hovsepyan L. M., Karageuzyan K. G. - Iranian Journal of Biochemistry and Molecular biology. 2005. P 31.
7. Мартиросян А. А., Казарян А. В., Секоян Э. С., Карабашян Л. В., Джанполадян Е. Г., Амирханян О. М., Овакимян С. С., Овсепян Л. М., Данилова Л. Л. - Аллергология и иммунология. Афины. 2005. Т. 6. N 3. С. 368.
8. Karageuzyan K. G., Ktsoyan Zh. A., Ghazaryan A. V., Elbakyan G. V., Sarkisyan N. N., Khachatryan Z. A., Arakelova K. A., Manukyan G. P., Kazaryan K. A., Sedrakyan A. M., Hovhanessyan A. I., Tatyana M. V. - International J. on Immunorehabilitation. Athens. 2005. V. 7. N2. P. 102.
9. Казарян А. В. - Материалы Международной конференции "Ломоносов 2005". М. 2005. С. 437-439.
10. Крепс Е. М. Фосфолипиды клеточных мембран нервной системы в развитии животного мира. XXII Баховские чтения Л. Наука. 1967. 74 с.
11. Крепс Е. М. Липиды клеточных мембран Л. Наука. 1981. 330 с.
12. Limber G. R., Davie R. F., Haker A. M. S. - Blood. 1970. V. 36. N 2. P. 111-118.
13. Карагезян К. Г. - Лаб. дело. N 1. 1969. С. 23-26.
14. Folch J., Lees M., Sloane-Stane G. - J. Biol. Chem. 1957. V. 226. P. 497-509.
15. Зубер В. Л. В. кн.: Методы биохим. исслед. Л. Изд-во ЛГУ. 1982. С. 74-80.

УДК 599.332.72.616

Г. Р. Агамян

**Воздействие пролин-богатого полипептида на эндогенный
уровень металлопротеинов анти- и прооксидантной активности
в тканях белых крыс**

(Представлено академиком К. Г. Карагезяном 15 /IX 2006)

Ключевые слова: *пролин-богатый полипептид, металлопротеины, ткань*

Воздействие синтетического аналога пролин-богатого полипептида -1 (ПБП-1) на различного характера биосистемы интенсивно исследуется уже больше 15 лет. Эти исследования показали, что ПБП-1 обладает антимикробным, иммуномодуляторным, нейропротективным и кардиопротективным эффектами [1,2]. При повышенных концентрациях (больше 80 мкг) ПБП-1 обладает способностью стимулировать процесс продуцирования гидроксильных радикалов (НО[•]) [3], однако по предварительным результатам при относительно низких концентрациях (0.1-5 мкг), наоборот, обладает способностью улавливать гидроксильные радикалы, оказывая антиоксидантный эффект. Таким образом ПБП-1 защищает многие металлопротеины, которые денатурируются гидроксильными радикалами, например, некоторые металлопротеины антиоксидантной (МАО) и прооксидантной (МПА) активности, оказывая антистрессорный эффект при различного характера проявлениях оксидативного стресса, особенно в тех случаях, когда наблюдается повышение уровня перекиси водорода в различных формированиях тканей. Эти явления наблюдаются при канцерогенезе, алюминиевой интоксикации, интоксикации тяжелыми металлами, гипогликемии, гемосекции спинного мозга [4-8]. ПБП-1 стабилизирует и эритроцитарные мембраны (ЭМ), подавляя процесс рилизинга изоформ цитохрома (цит) b 558 из их мембран [9]. Однако механизмы воздействия ПБП-1 на уровень МАО и МПА в тканях здоровых крыс в отсутствии оксидативного стресса комплексно еще не определены.

Цель работы состоит в определении воздействия экзогенно введенного ПБП-1 на уровень МАО и МПА в крови и других тканях здоровых крыс под влиянием экзогенно введенного ПБП-1.

Белым половозрелым здоровым крысам (12 животных) массой 200-250 г внутрибрюшинно было введено по 10 мкг/ мл ПБП-1 всего три раза через каждые двое суток. Контрольным животным был введен физиологический раствор в аналогичном режиме (по 0.5 мл). Крысы были декапитированы под легким эфирным наркозом. Кровь стабилизировали 2%-ным оксалатом натрия в условиях легкого перемешивания в ходе набора крови. Кровь животных опытной и контрольной групп (по 35 мл) была далее инкубирована в аэробных условиях *in vitro* при 4⁰ в течение 4 суток. Это делается для синтеза *in vitro* сывороточных цит b558 как новых и важных компонентов защиты крови от повреждающих эффектов перекиси водорода.

МАО (Cu, Zn-СОД и каталаза из растворимой фракции эритроцитов, церулоплазмин (ЦП) и трансферрин (ТФ) из сыворотки крови) и МПА (цит b5 из растворимой фракции эритроцитов, изоформы цит b558 ЭМ - цит b558III и цит b558IV, цит b558 нейтрального характера, O_2^- - продуцирующий липопроtein сыворотки - супрол) выделяли и очищали биотехнологическим способом путем ионообменной хроматографии белковых фракций сыворотки, растворимой части эритроцитов и ЭМ на целлюлозах ДЕ-52 и КМ-52 ("Whatman", Англия), сефадексе ДЕАЕ А-50 ("Pharmacia", Швеция) и гель-фильтрации на сефадексах G-100 и G-150 (Pharmacia). Цит b558III и цит b558IV выделяли и очищали без использования детергента, заметно снижающего стабильность указанных гемопротеинов [10,11]. Количество МП определяли путем измерения характерной для данного белка плотности максимального оптического поглощения: для цит b5 - 525, изоформ цит b558 - 530, супрола - 430, ЦП - 610 и ТФ - 470 нм. Активность супероксиддисмутазы определяли общеизвестным методом нитротетразолиевого синего (НТС), путем измерения процента ингибирования образования формазана в результате восстановления НТС супероксидными радикалами.

МАО (суммарная фракция Cu,Zn-СОД и Mn-СОД, каталаза) и МПА (цит С) выделяли из тканей крыс биотехнологическим способом, с небольшим видоизменением с целью получения также цит С и каталазы [12].

Оптические спектральные измерения осуществляли на спектрофотометре "Specord UV-VIS" (Германия) с длиной оптического пробега 1 см. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли методом вариационной статистики Стьюдента - Фишера, с определением критерия достоверности Р.

Таблица 1

Относительное изменение (%) уровня МПА и МАО в крови белых крыс под воздействием экзогенно введенного ПБП-1, по сравнению с 100% контрольными показателями (Р < 0.05, n = 8)

Металлопротеины	%
Цит b5	-25.0+/-3.1
Цит b558 сыворотки	+102.4 +/- 8.8
Цит b558III ЭМ	- 80.6 +/- 6.1
Цит b558IV ЭМ	- 60.9 +/- 4.8
Цит b558 нейтрального характера из ЭМ	+ 91.7 +/- 6.5
Супрол	+ 77.6 +/- 5.4
Церулоплазмин	+ 11.6 +/- 2.0
Трансферрин	+ 59.5 +/- 4.0
Cu,Zn-СОД	+ 16.0 +/- 1.8
Каталаза	- 35.2 +/- 2.4

В результате трехкратного введения крысам по 10 мкг ПБП-1 и дальнейшего инкубирования крови в аэробных условиях при 4° in vitro уровень МАА и МПА претерпевает своеобразное изменение (табл.1). Наблюдается снижение уровня цит b5, компонента для НАДРН-зависимой метгемоглобин редуктазы в цитозоле эритроцитов [13]. Это свидетельствует о некотором повышении подвижности животных. Феноменальным можно считать почти двукратное увеличение уровня синтезированных ex vivo сывороточных цит b558, смягчающих пагубные последствия перекиси водорода в сыворотке крови и показывающих высокую резистентность этих цитохромов против перекиси водорода, по сравнению с другими гемопротеинами, включая и изоформы цит b558 ЭМ [14]. Уровень цит b558 ЭМ значительно снижен под воздействием ПБП-1, чему способствует подавление процесса рилизинга изоформ цит b558 пролин-богатым полипептидом [9]. Это вовсе не указывает на уменьшение уровня цит b558 в ЭМ, так как значительная часть цит b558 остается еще в "иммобилизованном" состоянии и отщепляется специальным методом (вторичной обработкой этих ЭМ). Однако в опытной группе резко повышается уровень цит b558 ЭМ нейтрального характера, что свидетельствует об определенном превращении части цит b558III кислого характера в цитохром b558 нейтрального характера. Это своеобразный ответ адаптационных механизмов организма на внешние факторы, каким и является ПБП-1 (такой эффект наблюдается при различных заболеваниях). Положительным воздействием ПБП-1 на здоровый организм можно считать увеличение уровня липопротеина сыворотки высокой плотности - супрола с повышением его стабильности. Это является важным фактором сохранения вязкости сыворотки и в целом сохранения гемодинамики.

В приведенном режиме ПБП-1 вызывает повышение уровня МАА (ЦП, ТФ и Cu,Zn-СОД), но уровень каталазы продолжает несколько снижаться из-за деградирования при аэробном инкубировании, а ПБП-1 фактически не способен полностью останавливать процесс инактивирования каталазы. В крови опытной группы под влиянием ПБП-1 изменение расчетного суммарного уровня МАА (антиоксидантный статус) и суммарный расчетный уровень МПА (прооксидантный статус) в целом составляет +52.6 и +95.2% соответственно, по сравнению с 100%-ными контрольными показателями. Таким образом, под влиянием экзогенно введенного ПБП-1 прооксидантный статус крови увеличивается почти в 2 раза по сравнению с антиоксидантным статусом, в основном из-за увеличения уровня сывороточных цит b558.

Таблица 2

Относительное изменение (%) уровня МАА и МПА в тканях белых крыс под влиянием экзогенно введенного ПБП-1 по сравнению с 100% контрольными показателями (P < 0.05, n = 8)

Ткань	Цит С	Cu,Zn-СОД + + Mn-СОД	Каталаза
Мозг	-47.4 +/-6.1	-61.9 +/- 3.7	+ 2.1 +/- 0.3
Костный мозг	-16.7 +/- 2.8	+ 375.5 +/- 31.9	+ 3.3 +/- 0.4

Тимус	- 8.9 +/-1.2	- 24.3 +/-5.0	+ 3.3 +/- 0.4
Селезенка	+ 29.4 +/- 5.1	+ 23.7 +/- 2.7	+ 18.2 +/- 3.2
Печень	- 5.7 +/- 0.6	+ 2.2 +/- 0.5	- 29.6 +/- 3.2
Сердце	-101 +/- 1.3	-3.1 +/- 0.2	-11.4 +/- 2.2
Почки	-28.6 +/- 3.7	+ 4.4 +/- 1.2	+ 5.8 +/- 0.6

Уровень МАА (фракция Cu,Zn-СОД+Mn-СОД, каталаза) и МПА (цит С) в различных тканях изменяется по-разному. Уровень цит С снижается в мозговой ткани, костном мозге, тимусе, печени, сердце и почках от 5.7 до 47.4%. Снижение уровня цит С особенно ощутимо в мозговой ткани (табл.2). Увеличение уровня цит С наблюдается только в селезенке. Суммарная активность Cu,Zn-СОД и Mn-СОД снижается в мозговой ткани и тимусе, но практически не изменяется в печени, сердце и почках. Феноменальным можно считать почти четырехкратное увеличение активности суммарной фракции Cu,Zn-СОД и Mn-СОД в костном мозге, основного фактора гемопоэза. В селезенке также наблюдается увеличение активности этих ключевых антиоксидантных ферментов. Фактически ПБП-1 вызывает повышение антиоксидантной активности органов, ответственных за иммунный ответ. Видимо, таков механизм действия ПБП-1 при модулировании иммунитета организма [2]. Однако ПБП-1 вызывает снижение активности каталазы в печени и некоторое - в сердечной ткани. Ее активность увеличивается только в селезенке. В других тканях активность каталазы практически не изменяется. Фактически под влиянием ПБП-1 в здоровом организме наблюдается характерное изменение уровня МАА и МПА крови и других тканей с резким увеличением уровня сывороточных цит b558, цит b558 ЭМ нейтрального характера, а также активности Cu,Zn-СОД и Mn-СОД в костном мозге, что создает определенный дисбаланс между продуцирующими и утилизирующими АФК металлопротеинами.

Таким образом, адаптационные механизмы по-разному откликаются на действие внешних факторов, каким, в частности, является ПБП-1, в здоровом организме и при заболеваниях с характерным фоном оксидативного стресса, при котором ПБП-1 оказывает антистрессорный эффект [4-6], регулируя эндогенный уровень МАА и МПА в различных тканях, включая и кровь. При этом чувствительность к ПБП-1 больше в органах, ответственных за иммунитет организма (селезенка, костный мозг и тимус).

Институт биохимии им. Г. Х. Бунятыя НАН РА

Գ. Ռ. Աղամյան

**Պրոլինով հարուստ պոլիպեպտիդի (ՊՀՊ-1) ազդեցությունը հակա- և
պրոօքսիդանտային ակտիվության մետաղապրոտեինների էնդոգեն
մակարդակի վրա սպիտակ առնետների հյուսվածքներում**

Օրգանիզմի հարմարվողական մեխանիզմները տարբեր կերպ են արձագանքում արտաքին գործոններին՝ մասնավորապես ՊՀՊ-1-ի ազդեցությանը օքսիդատիվ սթրեսի բնութագրական ֆոնի բացակայության և առկայության պայմաններում: Վերջինիս դեպքում ՊՀՊ-1-ը ցուցաբերում է հակասթրեսային ազդեցություն՝ կարգավորելով հակա- և պրոօքսիդանտային ակտիվությամբ օժտված մետաղապրոտեինների էնդոգեն մակարդակները տարբեր հյուսվածքներում, ներառյալ արյունը: Այդ տեսակետից ՊՀՊ-1-ի հանդեպ առավել զգայնություն են ցուցաբերում իմունային համակարգին մասնակից օրգանները (վալժախ, ոսկրածուծ և թիմուս):

G. R. Aghamyan

**The Influence of Intraperitoneal Injected Proline-rich Polypeptide
(PRP-1) on the Endogenous Level of Metalloproteins Anti- and
Prooxidative Activity in White Rats Tissues**

The adaptive mechanisms of the organism differently react to the influence of external factors - the PRP-1 of a healthy organism and at diseases with a characteristic oxidative stress, during which the PRP-1 causes antistressor effect, by regulation of endogenous level of metalloproteins antioxidative activity and metalloproteins prooxidative activity, in various tissues, including the blood. The sensitivity towards PBP-1 is more in organs which are responsible for the immunity of the organism (spleen, bone marrow and thymus).

Литература

1. *Galoyan A. A.* Biochemistry of Novel Cardioactive Hormones and immunomodulators of the Functional System Neurosecretory Hypothalamus-Endocrine Heart. Moscow. Nauka. 1977. 240 p.
2. *Galoyan A. A.* Brain Neurochemistry cytokins: Immune Response and Neuronal Survival. Kluwer Academic Plenum Publishers. N.-Y. 2004. 188p.
3. *Knaryan V., Samannatary S., Galoyan A., Mohanakumar K.* - Neuroscience Lett. 2005. V. 375. P. 187-191.
4. *Симонян Г. М., Нерсисян А. К., Симонян Р. М., Бабалян М. А., Симонян М. А.* - Нейрохимия. 2005. Т. 22. С. 125-130.
5. *Agadjanyan M. I., Vahradyan A. G., Simonyan M. A., Galoyan A. A.* In: Report of VI Intern. Conf. AD. Spain. Barcelona. 2002. P. 152.
6. *Оксузян Г. Р., Симонян М. А., Галоян А. А.* - ДНАН РА. 2003. Т. 103. С. 160-166.
7. *Варданян А. Р., Симонян Р. М., Бабалян М. А., Геворкян Д. Н., Симонян М. А.* - Нейрохимия. 2004. Т. 21. С. 289-292.
8. *Sulkhanyan R. M., Chavushyan E. A., Sarkissian J. S., Galoyan A. A.* - 34 rd ASN Annual Meeting (USA). Neurochemistry. 2003. V. 85. P. 16.
9. *Симонян Р. М., Симонян Г. М., Бабалян М. А., Симонян М. А.* - Мед. наука Армении. Т. 43. С. 13-18.
10. *Симонян М. А., Симонян Г. М.* Способ получения металлопротеинов крови. Лицензия изобрет. No 341 Армпатента. Ереван. 1997.
11. *Симонян М. А., Симонян Г. М., Симонян Р. М.* Способ получения цитохромов b из мембран эритроцитов. Лицензия изобрет No 908 Армпатента. Ереван. 2001.
12. *Симонян М. М.* Способ получения СОД из животного сырья. Открытия, изобрет. (СССР). 1988. Т. 28. С. 107.
13. *Passon P. G., Hultquist D. E.* - Biochim. Biophys Acta. 1972. V. 273. P. 62-73.
14. *Симонян Г. М., Симонян Р. М., Симонян М. А.* В кн: Актуальные вопросы военной медицины. Ер. гос. мед. ун-т. им. М. Гераци. Ереван. 1999. С. 48-51.

УДК 616-056:616.34-008.87

Z. A. Khachatryan

Alterations in Gut Microbiota Composition in Familial Mediterranean Fever

(Submitted by academician K. G. Karageuzyan 16/IX 2006)

Keywords: *familial Mediterranean fever, gut microbiota, phylogenetic analysis*

Familial Mediterranean fever (FMF; MIM249100) is a recessively inherited disorder of the inflammatory pathway, manifested by acute self-limited recurrent episodes of fever and polyserositis [1]. The Mediterranean fever gene (MEFV), responsible for the disease, has been recently identified by positional cloning [2, 3]. Pyrin, the protein product of MEFV, consists of several conserved domains, including the N-terminal pyrin domain (PYD), which is found in a number of autoinflammatory proteins involved in the regulation of inflammation and apoptosis [4]. According to recent studies, autoinflammatory genes, such as MEFV, may represent an exaggerated innate immune response to various signals in vitro, including microbial products [5]. Indeed, the CARD15/NOD2 gene product belongs to the same superfamily of proteins [6], and its mutations have been found to underlie inflammatory bowel diseases (IBD), such as Crohn's disease, in which an inappropriate immune response to components of the commensal microbiota exists [7]. In this regard, it has been proposed to investigate the composition of gut microbiota in FMF to reveal a possible contribution of commensal bacteria to the onset and maintenance of the disease.

As a large majority of bacterial species is effectively unculturable, it is impossible for detailed examination of gut microorganisms to be achieved through traditional culture techniques. Molecular-genetic analyses of bacterial microbiota based on 16S ribosomal ribonucleic acid (rRNA) genes obviate the need for culture and have been shown to be powerful tools in determining microbial diversity in complex samples [8].

In the present study, the fecal bacterial composition has been for the first time examined in FMF by using microbial community analysis through sequencing of 16S rDNA libraries.

Fecal samples were collected from genetically ascertained FMF patients (12 patients in remission, 3 patients in attack periods) and 7 healthy individuals.

DNA was extracted from fecal samples of FMF patients and healthy subjects using QIAamp DNA Stool Mini Kit (Qiagen, UK), according to the manufacturer's instructions. DNA samples were transferred to the Rowett Research Institute (UK) where 16S rDNA clone libraries were generated, and phylogenetic analysis was performed. Bacterial 16S rDNA was PCR-amplified with universal primers covering most intestinal bacterial species (Table 1). The amplicons were cloned into *Escherichia coli* chemically competent cells using the pCR-4 TOPO TA Cloning Kit (Invitrogen, UK), according to the manufacturer's instructions. Recombinant colonies were randomly picked and sequenced on the automated DNA-sequencer (Beckman, USA) with 926R bacterial primer (Table 1). Alignment of sequences with reference 16S rDNA gene sequences from healthy gut microflora was performed using the multiple sequence alignment programme

CLUSTALX v. 1.83 [9]. Phylogenetic analyses were performed using the neighbor-joining algorithm [10]. Operational taxonomic units (OTUs) were identified by online Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) program at the NCBI website [11], using search results of at least 99% sequence similarity.

Table 1

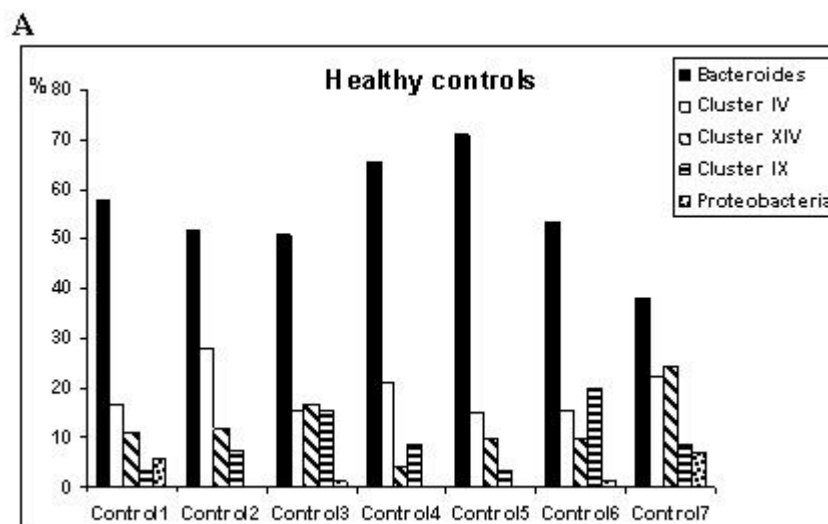
PCR and sequencing primers used in this study

Application	Primer	Position	Sequences (5'-3')
PCR	Fd1	8-27 ¹	AGAGTTTGATCMTGGCTCAG
PCR	Rp2	1492-1510 ¹	ACGGCTACCTTGTTACGACTT
Sequencing	926R	907-926 ¹	CCGTCAATTCCTTTGAGTTT

¹Position in *E. coli* reference sequence

Using a molecular approach, for the first time, the composition of fecal microbiota in FMF patients with both inactive and active stages of the disease, as well as in healthy subjects, was determined. It was demonstrated that fecal microbiota in FMF differed from that of the healthy state both in remission and attack periods of the disease.

Three 16S rDNA libraries from fecal samples of FMF remissions, acute FMF and healthy controls were generated. A total of 1328 clones (572 for healthy controls, 629 for FMF remission and 127 for FMF attack) were analyzed, and phylogenetic relationships of main bacterial phyla in each studied group were established (Fig. 1 A, B, C). Among the 1328 clones analyzed, there were 268 distinct OTUs, which fell into three major phyla: *Cytophaga-flavobacter-bacteroides* (CFB) group, *Firmicutes*, and *Proteobacteria*. The overall distribution of the three dominant bacterial phyla among the three subsets of subjects is shown in Table 2.



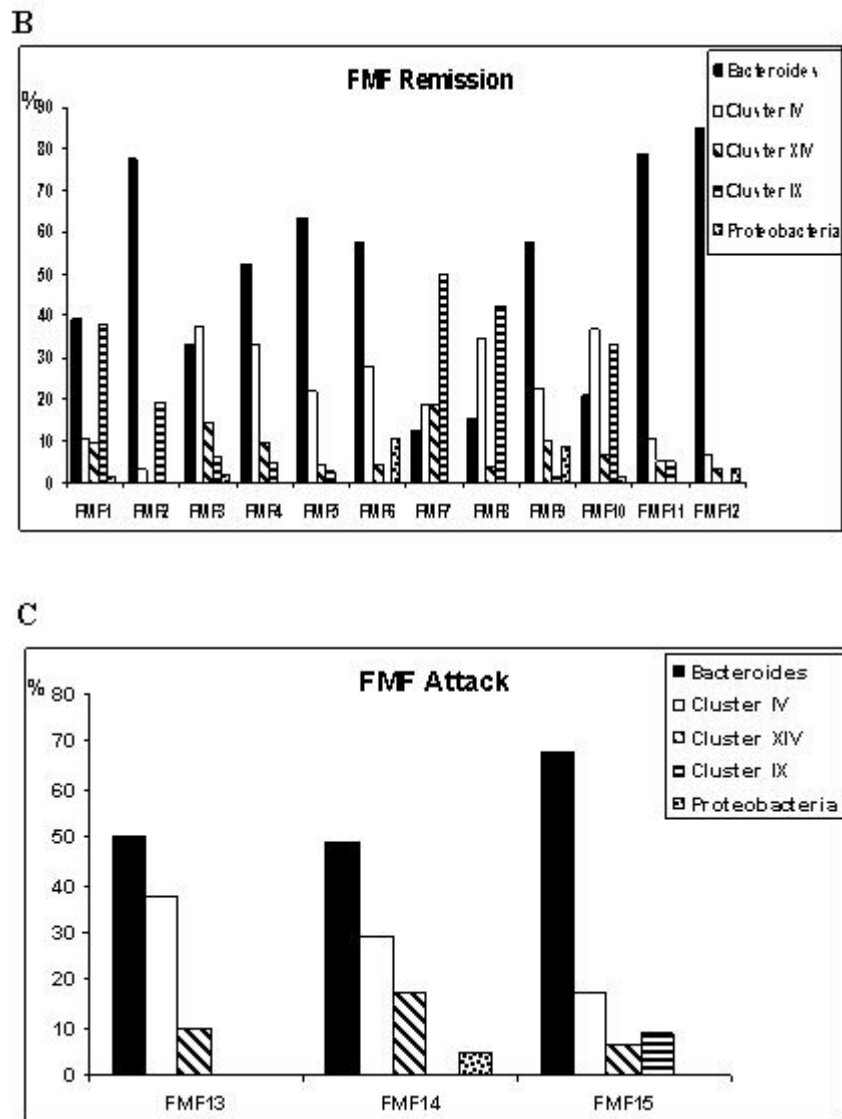


Fig. 1. Phylogenetic relationships among main bacterial phyla in fecal flora of healthy controls (A); FMF patients in remission (B); FMF patients in attack (C).

Table 2

Phylogenetic distribution of 16S rDNA libraries generated from healthy individuals and FMF patients in remission and attack periods

Phylum	Controls		Remission		Acute		Combined	
	OTUs	Clones	OTUs	Clones	OTUs	Clones	OTUs	Clones
CFB	54	324	57	319	21	71	99	714
% CFB	40.91	56.64	35.19	50.72	40.38	55.91	36.94	53.77
Firmicutes	73	237	98	289	29	54	158	580
% Firmicutes	55.30	41.43	60.49	45.95	55.77	42.52	58.96	43.67
Proteobacteria	5	11	7	21	2	2	11	34
% Proteobacteria	3.79	1.92	4.32	3.34	3.85	1.57	3.36	2.26
Total	132	572	162	629	52	127	268	1328

As shown in Table 2, *Bacteroides* was the most abundant group in all three cohorts, followed by the *Firmicutes*. The relative proportions of CFB and *Firmicutes* were not markedly different among the three groups; however, significant differences were detected in bacterial subgroups

within these main phyla (Fig. 1A, B, C). In Fig. 1B groups of FMF patients in remission were determined according to the biodiversity in the main phylogenetic groups, demonstrating high variability, in contrast to stable composition of gut bacteria in healthy state (Fig. 1A). Particularly, there is a group (FMF2, FMF4, FMF5, FMF6, FMF9, FMF11, and FMF12) overrepresented by OTUs belonging to the CFB phylum, which amounted up to 50-55% of gut bacteria in healthy subjects (Fig. 1A) and acute FMF (Fig. 1C). In the second group of FMF remissions (FMF1, FMF7, FMF8, and FMF10) there is a substantially higher proportion of cluster IX of Propionate-producing bacteria, as compared to healthy controls. Interestingly, these bacteria tended to disappear during the attack period (Fig. 1C). The pairwise comparisons of each 16S rDNA library to every other library also revealed significant alterations in gut microbiota composition in FMF compared to the norm (Table 3). In particular, the *Prevotellaceae* subgroup (within CFB) was significantly low in active stage of FMF as compared to FMF remission and healthy state (16.5%, 22% and 27.6%, respectively), in contrast to *Bacteroidaceae* (within CFB) subgroup (30.7%, 17.8% and 21.7%, acute, remission and healthy, respectively). The Butyrate-producing *Faecalibacterium* group was higher in active FMF compared to both FMF remissions and controls (14.2% in attack vs. 6.5%). *Gamma-proteobacteria* were 0.2% and 2.1%, in healthy controls and FMF remission, respectively, and there was a complete loss of these bacteria in the acute phase. The most striking difference was observed in the Propionate-producing *Acidaminococcaceae* subgroup (Clostridial cluster IX within *Firmicutes*). These bacteria were overrepresented in remission period compared to controls (16% vs. 10%), and tended to disappear in attack (3%), found only in FMF15 (Fig. 1C). Although in the latter group the bacterial sequences were the least diverse, which might be the consequence of a general inflammatory process, however representatives of the Butyrate-producing *Faecalibacterium* group in attack were significantly high compared to both FMF remission and healthy state (Table 3). Butyrate, which is produced by bacterial fermentation, has been shown to reduce inflammation in experimental colitis in animal models. It reduces inflammation through an inhibitory effect on proinflammatory cytokine expression, thus demonstrating anti-inflammatory properties [12]. Such increase of butyrate producers among acute patients implies that it could correspond to a compensative response.

Table 3

Comparison of the libraries derived from healthy controls and FMF patients in two stages of the disease

Bacterial subgroups	Healthy	Remission	Attack
Prevotellaceae (CFB)*	27.6%	22%	16.5%
Bacteroidaceae (CFB)**	21.7%	17.8%	30.7%
Faecalibacterium (Cluster IV)*, **, ***	6.5%	6.5%	14.2%
Acidaminococcaceae (Cluster IX)*, **, ***	10%	16%	3%
Gamma-proteobacteria***	0.2%	2.1%	0

*p < 0.01- in healthy/attack comparison

**p < 0.01- in remission/attack comparison

***p < 0.01- in healthy/remission comparison

We observed no specific microbial group pointing to the presence of bacteria, which could be specifically involved in disease activity. The 16S rDNA profile of the fecal microbiota was very stable under healthy conditions but unstable in FMF patients. It seems the alterations in gut microflora composition reflect a metabolic imbalance of the complex microbial ecosystem with severe consequences for the host immune system. How some bacteria may exert an inflammatory effect and others a protective role in FMF is yet uncertain. Is a breakdown in the balance between putative "protective" and "harmful" intestinal bacteria simply a secondary phenomenon in FMF, or is altered composition a primary modification, that is to say genetically determined, leading to an inflammatory process? Further studies may help to explain the complex relationships among bacteria, inflammation and genetics, which could provide new insights into the pathogenesis and treatment of FMF.

Institute of Molecular Biology NAS RA

References

1. Sohar E., Gafni J., Pras M., Heller H. - Am. J. Med. 1967. V. 43. P. 227-253.
2. The International FMF Consortium. - Cell. 1997. V. 90. P. 797-807.
3. The French FMF Consortium. - Nat. Genet. 1997. V. 17. P. 25-31.
4. Dowds T. A., Masumoto J., Chen F. F., Ogura Y., Inohara N., Nunez G. - Biochem. Biophys. Res. Commun. 2003. V. 302. P. 575-580.
5. Shoham N. G., Centola M., Mansfield E., Hull K. M., Wood G., Wise C. A., Kastner D. L. - PNAS. 2003. V. 100. P. 13501-13506.
6. Ogura Y., Inohara N., Benito A., Chen F. F., Yamaoka S., Nunez G. - J. Biol. Chem. 2001. V. 276. P. 4812-4818.
7. Ogura Y., Bonen D. K., Inohara N., Nicolae D. L., Chen F. F., Ramos R., Britton H., Moran T., Duerr R. H., Achkar J. P., Brant S. R., Bayless T. M., Kirschner B. S., Hanauer S. B., Nunez G., Cho J. H. - Nature. 2001. V. 411. P. 603-606.
8. Eckburg P. B., Bik E. M., Bernstein C. N., Purdom E., Dethlefsen L., Sargent M., Gill S. R., Nelson K. E., Relman D. A. - Science. 2005. V. 308. P. 1635-1638.
9. Thompson J. D., Gibson T. J., Plewniak F., Jeanmougin F., Higgins D. G. - Nucleic Acids Research. 1997. V. 24. P. 4876-4882.
10. Saitou N., Nei M. - Mol. Biol. Evol. 1987. V. 4. P. 406-425.
11. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>
12. Segain J. P., Raingeard Bletiere D., Bourreille A., Leray V., Gervois N., Rosales C., Ferrier L., Bonnet C., Blottiere H. M., Galmiche J. P. - Gut. 2000. V. 47. P. 397-403.

Զ. Ա. Խաչատրյան

Աղիքային միկրոբիոտայի կազմի փոփոխությունները պարբերական հիվանդության ժամանակ

Հետազոտված է ՊՀ հիվանդների աղիքային միկրոֆլորայի կազմը հիվանդության ռեմիսիայի և սուր շրջաններում: Հայտնաբերվել են պրոպիոնատ արտադրող միկրոբների նշանակալի բարձր քանակություններ ռեմիսիայի շրջանում, և գրեթե դրանց բացակայությունը սուր շրջանում, ինչպես նաև բուքիրատ արտադրող միկրոբների քանակության բարձրացում սուր շրջանում, համեմատած առողջ դոնորների հետ: Այս տվյալները վկայում են ՊՀ ժամանակ միկրոբային կազմի դիսբիոտիկ փոփոխությունների մասին, ինչպես նաև հնարավորություն են տալիս փնտրելու բուժման այլընտրանքային ուղիներ, որոնք ուղղված կլինեն աղիներում առկա միկրոբային դիսբալանսի կարգավորմանը:

3. А. Хачатрян

Изменения состава кишечной микробиоты при периодической болезни

Исследован состав кишечной микрофлоры у больных ПБ на стадиях ремиссии и атаки. Обнаружено значительное увеличение пропионат-продуцирующих бактерий в ремиссии и почти полное исчезновение этих бактерий у больных ПБ в острой стадии, а также увеличение бутират-продуцирующих бактерий в атаке, по сравнению с контролем. Эти данные свидетельствуют о дисбиотических изменениях в кишечной микробиоте при ПБ и дают возможность изыскания новых путей терапии, направленных на коррегирование дисбаланса в кишечнике.

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ա. Բ. Ներսեսյան, Ռ. Դ. Բարխուդարյան – Խզվող գործակցով մի մոդելային խնդրի՝ սեփական ֆունկցիաներով վերլուծության արագացման մասին.....	5
Ա. Վ. Պողոսյան – Ողորկ ֆունկցիաների ռացիոնալ-եռանկյունաչափական գծային մոտարկման մասին.....	13
Վ. Ս. Զաքարյան, Մ. Ս. Միրզոյան – Էկվիմորֆ ֆունկցիաների սահմանային բազմությունները կամայական շոշափող ուղղություններով.....	21
Դ. Ա. Ասատրյան – Անվերջությունում որոշակի վարք ունեցող պոտենցիալով Շտուրմ – Լիուվիլի օպերատորի կետային սպեկտրի և այդ օպերատորի համար ցրման հակադարձ խնդրի ուսումնասիրությունը.....	27
Վ. Պ. Գաբրիելյան – Որոշակի տիպի բարձր կարգի հավասարումների գծայնացված ծածկույթները վերջավոր դաշտի վրա	101
Գ. Գ. Գևորգյան, Ա. Կամոնտ – Ֆրանկլինի ընդհանուր համալուծ համակարգի որոշ հատկություններ	108
Դ. Ս. Հայրապետյան, Պ. Է. Մելիքսեթյան – Դիրիխլեի տիպի խնդրի մասին երրորդ կարգի ոչ ճշգրիտ էլիպսական հավասարման համար	114
Ա. Ն. Հայրապետյան – Շարքերի գումարման Աբելի մեթոդի դիսկրետ տարբերակը և դրա կիրառությունները	203
Գ. Ա. Սարգսյան – Ըստ ժամանակի ավագ ածանցյալի նկատմամբ չլուծված մի հավասարման ֆունկցիաների մասին	211
Գ. Ա. Սարգսյան – Մի դիֆերենցիալ փնջի համար Նեյմանի համասեռ խնդրով ծնված սեփական ֆունկցիաների մասին	291
Ա. Ի. Պետրոսյան – Բազմաշրջանում ողորկ ֆունկցիաների հանրահաշիվների պիկի և միջարկման բազմությունների մասին	297

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ա. Վ. Բալիկյան, Ռ. Ռ. Քամալյան – $\Delta(G)=4$ պայմանին բավարարող G երկկողմանի գրաֆների լոկալ-հավասարակշռված 2-տրոհման գոյության խնդրի NP-լրիվության մասին՝ գագաթի շրջակայքի ընդլայնված սահմանման դեպքում.....	218
--	-----

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Կ. Կ. Ալեքսանյան – Ֆիզիկական հասցեավորման արդյունավետ իրականացում՝ հիշողության սխեմաների անսարքությունների հայտնաբերման, ախտորոշման և վերանորոգման միջոցով օգտակար ելքի աճի համար.....	31
--	----

ՄԵՆԱՆԻԿԱ

Ա. Դ. Բաբլոյան, Վ. Դ. Թոքմաջյան – Հարթ խառը խնդիր առաձգական ուղղանկյան համար.....	41
Մ. Ս. Գաբրիելյան, Լ. Ա. Մազմանյան – Հակամետ իրավիճակներում կլոր սալի տատանողական շարժման օպտիմալ ղեկավարման մասին	46
Ա. Ն. Մարտիրոսյան, Դ. Ա. Մարտիրոսյան, Բ. Ս. Կոստանոյան – Կիսաանվերջ ճեղքերի եզրերում իմպուլսների վերաբերյալ խնդիրը.....	121
Մ. Վ. Բելուբեկյան, Է. Վ. Մարտիրոսյան – Ճեղքավոր մագնիսաառաձգական սահքի ալիքներ թեք մագնիսական դաշտում.....	129
Ա. Ս. Ավետիսյան, Դ. Ս. Ալեքսանյան – Բաղադրյալ շրջանային օղակածև սալի ջերմաառաձգական կայունության մի խնդրի մասին.....	136
Ա. Գ. Բազդոն, Ա. Վ. Վարդանյան, Ս. Վ. Վարդանյան – Գծային ծռման տատանումների հաճախությունների որոշումը մագնիսաառաձգական գլանային թաղանթում.....	227

Լ. Ա. Աղալովյան – Մարմինների և մասնիկների կենտրոնական ունիվերսալ ուժեղ (թույլ) փոխազդեցության մասին.....	238
Ռ. Մ. Կիրակոսյան – Սալի հաստությամբ շոշափող լարումների բաշխման ազդեցությունը հաշվի առնող ուղղիչ գործակիցների մասին	245
Ռ. Մ. Կիրակոսյան – Սալի հաստությամբ շոշափող լարումների բաշխման ազդեցությունը մակերևութային շոշափող բեռների առկայության դեպքում	304
ԱՌԱՋԳԱՎԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ	
Վ. Ս. Մակարյան – Ճաքի վարքը ճնշող բեռի տակ.....	144
Լ. Ա. Աղալովյան, Ռ. ժ. Հովհաննիսյան – Եռաշերտ օրթոտրոպ սալի ստիպողական տատանումների բնույթը խառը եզրային խնդրում.....	312
ԷԼԵԿՏՐԱՌԱՋԳԱՎԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ	
Ա. Մ. Սարգսյան – Սեպածն տիրույթների համար էլեկտրաառածականության եզրային խնդիրների լուծման մասին.....	153
ՖԻԶԻԿԱ	
Ա. Ռ. Սկրտչյան, Ա. Հ. Սկրտչյան, Ա. Ա. Ասլանյան, Մ. Մ. Սիրզոյան – 855 ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների պարամետրիկ ռեზոնանսային ճառագայթման էներգետիկ և անկյունային բնութագրերի ուսումնասիրությունը միաբյուրեղներում	55
Մ. Հ. Ազարյան, Վ. Մ. Հարությունյան – Էլեկտրոնիկայում նանոհետազոտություններ կատարելու նպատակով մոտակա դաշտի ռեժիմ ստեղծելու հնարավորության մասին.....	319
Ա. Գ. Բազդոն, Ա. Վ. Շեկոյան – Ընդհանրացված ոչ գծային մագնիսահիդրոդինամիկ միջավայրի հավասարումները.....	327
Է. Մ. Ղազարյան, Ա. Ս. Կոստանյան, Հ. Ա. Սարգսյան – Դոնոր-ակցեպտոր անցումներով պայմանավորված օպտիկական կլանումը GaAs-ից քվանտային փոսում.....	332
ՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ	
Վ. Վ. Դովլաթյան, Տ. Զ. Պապոյան, Ֆ. Վ. Ավետիսյան, Ա. Փ. Եմզոյան – Նոր պեստիցիդների որոնումը 1,3,4-թիադիազոլի ածանցյալների շարքում	61
ԱՆՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ	
Մ. Զ. Պետրոսյան, Ն. Բ. Կնյազյան, ակադեմիկոս Վ. Ա. Կոստանյան – V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2 համակարգի ապակիների ապակեզոլացումը, կառուցվածքային առանձնահատկությունները և էլեկտրահաղորդականությունը.....	341
ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ	
Ի. Ա. Վարդանյան, Լ. Ա. Մանուչարովա, Ա. Մ. Առուստամյան, Ս. Վ. Ծառուկյան – Մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդով ագետալոգիիի օքսիդացման դինամիկ ռեժիմների հետերոգեն ռադիկալային փուլերից կախվածության ուսումնասիրումը.....	161
Ռուբ. Տ. Մալխասյան, Շ. Ռ. Էքսուզյան, Ի. Ա. Վարդանյան – Մեթանի օքսիդացման օսցիլյացիոն ռեժիմների վրա հետերոգեն ռադիկալային փուլերի ազդեցության ուսումնասիրումը մաթեմատիկական մոդելավորման եղանակով.....	252
ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ	
Ա. Ս. Սարգսյան, Վ. Գ. Ղարազյոզյան, Լ. Մ. Հովսեփյան, Ա. Ա. Սիմոնյան – Ֆոսֆոլիպիդների նյութափոխանակության բնորոշ խանգարումները սպիտակ առնետների հյուսվածքներում լյարդի ցիռոզի դեպքում	66
Ա. Վ. Ղազարյան, Ս. Ս. Հովակիմյան, Է. Ս. Սեկոյան, Վ. Գ. Ղարազյոզյան – Կումարինային միացությունների շարքին պատկանող նոր սինթեզված նյութերի հակամակարդիչ առանձնահատկությունները ...	72
Ա. Ս. Ալեքսանյան, Գ. Մ. Սիմոնյան, Ս. Ս. Ալեքսանյան, Մ. Ա. Սիմոնյան – Խրոնիկ երիկամային անբավարարությամբ հիվանդների արյան օքսիդատիվ վնասման գործոնները	169
Հ. Ռ. Վարդանյան, Վ. Ս. Հարությունյան, Ա. Ա. Ավետիսյան, Մ. Ա. Սիմոնյան – ՎԱՍ-167 միացության ազդեցությունը առնետների արյան մետաղապրոտեինների էնդոգեն մակարդակի վրա ալոքսանային շաքարախտի ժամանակ	177
Գ. Գ. Սահակյան, Ի. Ռ. Սահակյան – Տրանսամինացման կարգավորիչ դերը միտոքոնդրիումներում Ca^{2+} -ի սուկցինատ կախյալ կլանման գործում.....	257

Ռ. Խ. Սահակյան, Պ. Ա. Ղազարյան, Ա. Ա. Ավետիսյան, Մ. Ա. Սիմոնյան – ՎԱՍ-167 միացության սուպերօքսիդհիսմուտագ-միմետիկական ակտիվությունը և նրա ազդեցությունը արյան մետաղապրոտեինների վրա in vitro	266
Հ. Ռ. Վարդանյան, Գ. Մ. Սիմոնյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Մ. Ա. Սիմոնյան – Բուտանային Helix խիտունջի սպիտակուցային գեղձից ստացված հակաօքսիդանտային ակտիվությամբ ֆրակցիայի ազդեցությունը առնետի արյան մետաղապրոտեինների էնդոգեն մակարդակի վրա ալոքսանային դիաբետի ժամանակ	273
Լ. Պ. Տեր-Թադևոսյան, Լ. Վ. Սարգսյան, Ի. Լ. Ասլանյան, Ա. Ա. Գալոյան – PRP-1-ի ազդեցությունը սպիտակ առնետների ոսկրածուծի որոշ ֆոսֆատազների վրա նորմայում և հիպոթալամուսի նեյրոսեկրետոր կորիզների (NPV և NSO) գրգռման դեպքում	349
Լ. Մ. Հովսեփյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Ա. Վ. Մելքումյան, Գ. Վ. Զաքարյան – Գլխուղեղի միտոքոնդրիալ ֆրակցիայում լիպիդների պերօքսիդացիոն գործընթացի և օքսիդատիվ ֆոսֆորիլացման փոխադարձ կապը հիպօքսիայի ժամանակ	355
Հ. Կ. Բոդյան, Լ. Լ. Ղանիլովա, Գ. Վ. Էլբակյան, Կ. Գ. Ղարազյոզյան – Թաղանթակախյալ ֆոսֆոլիպիդների կառուցվածքամետաբոլիկ խանգարումների բնութագիրը ադրենալինային հիպերգլիկեմիայից առաջացած օքսիդատիվ ստրեսի պայմաններում	360
Գ. Ռ. Աղամյան – Պրոլինով հարուստ պոլիպեպտիդի ազդեցությունը հակա- և պրոօքսիդանտային ակտիվության մետաղապրոտեինների էնդոգեն մակարդակի վրա սպիտակ առնետների հյուսվածքներում	368
ՄՈԼԵԿՈՒԼԱՅԻՆ ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	
Ա. Մ. Սանվելյան, Ա. Զ. Փեփոյան, Ս. Ս. Միրզաբեկյան, Հ. Հոդին – E. coli G35 N 59 և 61 շտամների պրոբիոտիկ պոտենցիալը	80
Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Ա. Վ. Ղազարյան, Լ. Վ. Եդոյան, Ս. Ս. Հովակիմյան – Կումարինային շարքի մատականոդ միացությունների հակամակարդիչ ազդեցության մոլեկուլային մեխանիզմները	183
Զ. Ա. Խաչատրյան – Աղիքային միկրոբիոտայի կազմի փոփոխությունները պարբերական հիվանդության ժամանակ	374
ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ	
Կ. Ա. Պանջուլազյան, Ա. Գ. Առաքելյան – Օրգանիզմի յուրահատուկ հակազդումները ակուստիկ էներգիայի էկվիվալենտ մակարդակներին	84
Լ. Գ. Վահանյան, Ն. Է. Թադևոսյան, Ի. Գ. Թադևոսյան, Վ. Հ. Մալոյան – Ուշադրության պրոցեսի որոշ առանձնահատկությունները մտավոր ծանրաբեռնվածությունից առաջ և հետո	190
Ք. Վ. Ղազարյան, Վ. Ց. Վանցյան, Ա. Ս. Տիրայան, Ռ. Ռ. Հակոբյան – Սիզածորանի պեյսմեկերային դանդաղ ալիքների ազդեցությունը միզապարկի հարակից շրջանների էլեկտրական ակտիվության վրա	280
ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ	
Վ. Վ. Ղազարյան – Ծառային բույսերի՝ բարձրլեռնային պայմաններին ադապտացվելու հասակային փոփոխականությունը	90

МАТЕМАТИКА

<i>А. Б. Нерсисян, Р. Г. Бархударян</i> – Ускорение сходимости разложения по собственным функциям одной модельной краевой задачи с разрывным коэффициентом.....	5
<i>А. В. Погосян</i> – Об одной линейной рационально-тригонометрической интерполяции гладких функций.....	13
<i>В. С. Захарян, М. М. Мирзоян</i> – Предельные множества эквиморфных функций по произвольным касательным направлениям.....	21
<i>А. А. Асатрян</i> – Исследование точечного спектра и обратной задачи рассеяния для оператора Штурма – Лиувилля с потенциалом, имеющим определенное поведение на бесконечности.....	27
<i>В. П. Габриелян</i> – Линеаризованные покрытия одного типа уравнений высших степеней над конечным полем.....	101
<i>Г. Г. Геворкян, А. Камонт</i> – Некоторые свойства сопряженной общей системы Франклина.....	108
<i>Г. М. Айрапетян, П. Э. Меликсетян</i> – О задаче типа Дирихле для неправильно эллиптического уравнения третьего порядка.....	114
<i>А. Н. Айрапетян</i> – Дискретная версия метода Абеля суммируемости рядов и его приложения..	203
<i>Г. А. Саргсян</i> – О собственных функциях смешанной задачи для одного уравнения, не разрешенного относительно старшей производной по времени.....	211
<i>Г. А. Саргсян</i> – О собственных функциях, порожденных однородной задачей Неймана, для одного дифференциального пучка	291
<i>А. И. Петросян</i> – О множествах пика и интерполяции гладких функций в полидиске.....	297

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>С. В. Баликян, Р. Р. Камалян</i> – Об NP-полноте задачи существования локально-сбалансированного 2-разбиения двудольных графов G с $\Delta(G)=4$ при расширенном определении окрестности вершины.....	218
--	-----

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>К. К. Алексанян</i> – Эффективная реализация физической адресации для тестирования, диагностики и восстановления схем памяти для увеличения выхода годных изделий	31
--	----

МЕХАНИКА

<i>А. А. Баблоян, В. О. Токмаджян</i> – Плоская смешанная задача для упругого прямоугольника.....	41
<i>М. С. Габриелян, Л. А. Мазманиян</i> – Об оптимальном управлении колебательных движений круглой пластинки в конфликтных ситуациях.....	46
<i>А. Н. Мартиросян, Г. А. Мартиросян, К. С. Костандян</i> – Задача об импульсах на границах полубесконечных трещин.....	121
<i>М. В. Белубекян, Э. В. Мартиросян</i> – Щелевые магнитоупругие сдвиговые волны в косом магнитном поле.....	129
<i>А. С. Аветисян, Д. Р. Алексанян</i> – Об одной задаче термоупругой устойчивости составной круговой кольцевой пластинки.....	136
<i>А. Г. Багдоев, А. В. Варданян, С. В. Варданян</i> – Определение линейных частот изгибных колебаний магнитоупругой цилиндрической оболочки.....	227

Л. А. Агаловян – Об универсальном центральном сильном (слабом) взаимодействии тел и частиц.....	238
Р. М. Киракосян – О поправочных коэффициентах, учитывающих влияние распределения касательных напряжений по толщине пластины.....	245
Р. М. Киракосян – Влияние распределения касательных напряжений по толщине пластины при наличии касательных поверхностных нагрузок.....	304
ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ	
В. С. Макарян – Поведение трещины под сжимающей нагрузкой.....	144
Л. А. Агаловян, Р. Ж. Оганесян – О характере вынужденных колебаний трехслойной ортотропной пластины при смешанной краевой задаче.....	312
ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ	
А. М. Саргсян – О решении краевых задач электроупругости для клиновидных областей.....	153
ФИЗИКА	
А. Р. Мкртчян, А. Г. Мкртчян, А. А. Асланян, М. М. Мирзоян – Исследование энергетических и угловых характеристик параметрического рентгеновского излучения электронов с энергией 855 МэВ в монокристаллах.....	55
М. Г. Азарян, В. М. Арутюнян – О возможности создания режима ближнего поля для наноисследований в электронике.....	319
А. Г. Багдоев, А. В. Шекоян – Обобщенные нелинейные уравнения магнитогидродинамической среды.....	327
Э. М. Казарян, А. А. Костанян, А. А. Саркисян – Оптическое поглощение в квантовой яме из GaAs, обусловленное донор-акцепторными переходами.....	332
ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ	
В. В. Довлатян, Т. З. Папоян, Ф. В. Аветисян, А. П. Енгоян – Поиск новых пестицидов в ряду производных 1,3,4-триадиазола.....	61
НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ	
М. З. Петросян, Н. Б. Князян, К. А. Костанян – Стеклование, структурные особенности и электропроводность стекол системы $V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2$	341
ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ	
И. А. Варданян, Л. А. Манучарова, А. М. Арустамян, С. В. Царукян – Исследование динамических режимов окисления ацетальдегида в зависимости от гетерогенных радикальных стадий методом математического моделирования.....	161
Руб. Т. Малхасян, Ш. Р. Экузян, И. А. Варданян – Исследование влияния гетерогенных радикальных стадий на осцилляционный режим окисления метана методом математического моделирования.....	252
БИОХИМИЯ	
А. С. Маргарян, К. Г. Карагезян, Л. М. Овсепян, А. А. Симонян – Специфические нарушения метаболизма фосфолипидов в тканях белых крыс при циррозе печени.....	66
А. В. Казарян, С. С. Овакимян, Э. С. Секоян, К. Г. Карагезян – Особенности антикоагулянтных свойств вновь синтезированных препаратов кумаринового ряда.....	72
А. С. Алексанян, Г. М. Симонян, С. С. Алексанян, М. А. Симонян – Факторы оксидативного повреждения крови больных при хронической почечной недостаточности.....	169
А. Р. Варданян, В. С. Арутюнян, А. А. Аветисян, М. А. Симонян – Влияние соединения ВАС-167 на уровень эндогенных металлопротеинов крови крыс при аллоксановом диабете.....	177
Г. Г. Саакян, И. Р. Саакян – Регуляторная роль трансаминирования в сукцинатзависимом поглощении Ca^{2+} в митохондриях.....	257

<i>Р. Х. Саакян, П. А. Казарян, А. А. Аветисян, М. А. Симонян</i> – Супероксиддисмутаза-миметическая активность соединения ВАС-167 и его воздействие на металлопротеины крови <i>in vitro</i>	266
<i>А. Р. Варданян, Г. М. Симонян, К. Г. Карагезян, М. А. Симонян</i> – Воздействие фракции с антиоксидантной активностью, полученной из белкового железа огородной улитки <i>Helix</i> , на эндогенный уровень металлопротеинов крови крыс при аллоксановом диабете.....	273
<i>Л. П. Тер-Татевосян, Л. В. Саркисян, И. Г. Асланян, А. А. Галоян</i> – Влияние PRP-1 на активность некоторых фосфатаз в костном мозге белых крыс в норме и при раздражении нейросекреторных ядер гипоталамуса (NPV и NSO).....	349
<i>Л. М. Овсепян, К. Г. Карагезян, А. В. Мелкумян, Г. В. Захарян</i> – Взаимосвязь окислительного фосфорилирования и процесса перекисного окисления липидов в митохондриальной фракции головного мозга при гипоксии.....	355
<i>О. К. Бдоян, Л. Л. Данилова, Г. В. Элбакян, К. Г. Карагезян</i> – Характеристика структурно-метаболических нарушений мембраносвязанных фосфолипидов при оксидативном стрессе, индуцированном адреналиновой гипергликемией	360
<i>Г. Р. Агамян</i> – Воздействие пролин-богатого полипептида на эндогенный уровень металлопротеинов анти- и прооксидантной активности в тканях белых крыс.....	368
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ	
<i>А. М. Манвелян, А. З. Пепоян, С. С. Мирзабекян, Г. Горие</i> – Пробиотический потенциал штаммов <i>E. coli</i> G35 N 59 и 61	80
<i>К. Г. Карагезян, А. В. Казарян, Л. В. Едоян, С. С. Овакимян</i> – Молекулярные механизмы антикоагулянтного действия соединений кумариновой природы.....	183
<i>З. А. Хачатрян</i> – Изменения состава кишечной микробиоты при периодической болезни.....	374
ФИЗИОЛОГИЯ	
<i>К. А. Панчулазян, А. Г. Аракелян</i> – Специфические реакции организма на эквивалентные уровни акустической энергии	84
<i>Л. Г. Ваганян, Н. Э. Татевосян, И. Г. Татевосян, В. А. Малоян</i> – Некоторые особенности процесса внимания до и после умственной нагрузки.....	190
<i>К. В. Казарян, В. Ц. Ванцян, А. С. Тиранян, Р. Р. Акопян</i> – Влияние пейсмекерных медленных волн мочеоточника на возникновение электрической активности близлежащей зоны мочевого пузыря..	280
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ	
<i>В. В. Казарян</i> – Возрастная изменчивость адаптивности древесных к условиям высокогорья.....	90

CONTENTS of 106th volume

MATHEMATICS

<i>A. B. Nersessian, R. H. Barkhudaryan</i> – Convergence Acceleration of Decomposition by Eigenfunctions of a Model Boundary Value Problem with a Discontinuous Coefficient.....	5
<i>A. V. Poghosyan</i> – On a Rational-Trigonometric Linear Interpolation of Smooth Functions	13
<i>V.S. Zakaryan, M. M. Mirzoyan</i> – Cluster Sets of Equimorphic Functions along Arbitrary Tangential Directions.....	21
<i>H. A. Asatryan</i> – Analysis of Point Spectrum and the Inverse Scattering Problem for the Sturm – Liouville Operator with Certain Behavior of Potential at Infinity	27
<i>V. P. Gabrielyan</i> – Linearized Coverings of One Type Equations of Higher Degree over Finite Fields.....	101
<i>G. G. Gevorkyan, A. Kamont</i> – Some Properties of Conjugate General Franklin System's	108
<i>H. M. Hayrapetyan, P. E. Meliksetyan</i> – Dirichlet Type Problem for Third Order Improperly Elliptic Equation	114
<i>A. N. Hayrapetyan</i> – Discrete Version and Applications of the Abel's Method of Addition of Series	203
<i>G. A. Sargsyan</i> – On Eigenfunctions of a Mixed Problem for an Equation Unsolved with Respect to the Higher Derivative in Time	211
<i>G. A. Sargsyan</i> – On Eigenfunctions Generated by Homogeneous Neyman Problem for a Differential Bundle.....	291
<i>A. I. Petrosyan</i> – On Peak and Interpolation Sets of Algebras of Smooth Functions in the Polydisk ..	297

APPLIED MATHEMATICS

<i>S. V. Balikyan, R. R. Kamalian</i> – On NP-completeness of the Problem of Existence of Locally-balanced 2-partition for Bipartite Graphs G with $\Delta(G)=4$ under the Extended Definition of the Neighbourhood of a Vertex.....	218
--	-----

COMPUTER SCIENCE

<i>K. K. Aleksanyan</i> – Efficient Implementation of Physical Addressing for Testing, Diagnosis and Repair of Embedded SRAMs for Yield Improvement.....	31
--	----

MECHANICS

<i>A. H. Babloyan, V. H. Tokmajyan</i> – Mixed Problem for Elastic Rectangle.....	41
<i>M. S. Gabrielyan, L. A. Mazmanyan</i> – On the Optimal Control of the Circular Plate's Vibrations in the Conflict Situations.....	46
<i>A. N. Martirosyan, H. A. Martirosyan, K. S. Kostandyan</i> – The Problem of Impulses Given on Semiinfinite Crack	121
<i>M. V. Belubekyan, E. V. Martirosyan</i> – Splitting Magnetoelastic Shifting Waves in Slope Magnetic Field	129
<i>A. S. Avetisyan, D. R. Aleksanyan</i> – The Thermo-elastic Stability Problem of the Composite Circular Ring Plate.....	136
<i>A. G. Bagdoev, A. V. Vardanyan, S. V. Vardanyan</i> – Linear Bending Vibrations Frequencies Determination in Magnetoelastic Cylindrical Shells	227

<i>L. A. Aghalovyan</i> – On Universal Central Strong (Weak) Interaction of Bodies and Particles	238
<i>R. M. Kirakosyan</i> – On the Corrective Coefficients which Take into Account the Influence of Tangential Stresses Distribution along the Plate Thickness.....	245
<i>R. M. Kirakosyan</i> – The Influence of Tangential Strains Distribution along Plates Thickness in the Case of Existence Tangential Surface Loading.....	304
THEORY OF ELASTICITY	
<i>V. S. Makaryan</i> – Crack Behavior under Compressing Load.....	144
<i>L. A. Aghalovyan, R. Zh. Hovhannisyan</i> – On the Character of Forced Vibrations of the Three-layered Orthotropic Plates in the Mixed Boundary Problem	312
THEORY OF ELECTROELASTICITY	
<i>A. M. Sargsyan</i> – On Solution of Boundary Problems of Electro-elasticity for Wedge-shaped Areas.	153
PHYSICS	
<i>A. R. Mkrtchyan, A.H. Mkrtchyan, A. A. Aslanyan, M. M. Mirzoyan</i> - Investigation of the 855MeV Electrons Parametric X-Ray Radiation Energy and Angular Characteristics in the Single Crystals	55
<i>M. H. Azaryan, V. M. Haroutyunyan</i> – On Simple Opportunity of Realizing Short-range Field Regime for Nano-investigations onto electronics	319
<i>A. G. Bagdoyev, A. V. Shekoyan</i> – Generalised Non-linear Magnetohydrodynamic Media Equation ...	327
<i>E. M. Kazaryan, A. A. Kostanyan, H. A. Sarkisyan</i> – Optical Absorption in GaAs Quantum Well Caused by Donor-acceptor Pair Transitions.....	332
ORGANIC CHEMISTRY	
<i>V. V. Dovlatyan, T. Z. Papoyan, F. V. Avetisyan, A. P. Yengoyan</i> – Search of New Pesticides among Derivatives of 1,3,4-thiadiazol	61
INORGANIC CHEMISTRY	
<i>M. Z. Petrosyan, N. B. Knyazyan, academician K. A. Kostanyan</i> - Glassformation, Structural Features and Electrical Conductivity of Glasses of System V_2O_5 - B_2O_3 - BaF_2	341
PHYSICAL CHEMISTRY	
<i>I. A. Vardanyan, L. A. Manucharova, A. M. Arustamyan, S. V. Tsarukyan</i> – Study of Dynamic Modes of Acetaldehyde Oxidation Reaction Dependent on Heterogeneous Radical Stages by Method of Mathematical Modeling	161
<i>Rub. T. Malkhasyan, Sh. R. Eksuzyan, I. A. Vardanyan</i> – Study of the Influence of Heterogeneous Radical Stages on Oscillation Modes of Methane Oxidation by the Method of Mathematical Modeling.....	252
BIOCHEMISTRY	
<i>A. S. Margaryan, L. M. Hovsepyan, K.G. Karageuzyan, A. A. Simonyan</i> – Specific Breaches of Phospholipids Metabolism at Liver Cirrhosis of White Rats.....	66
<i>A. V. Ghazaryan, S. S. Hovakimyan, E. S. Sekoyan, K.G. Karageuzyan</i> – Peculiarities of Antioxidant properties of Newly synthesized preparations Coumarin Line.....	72
<i>A. S. Alexanyan, G. M. Simonyan, S. S. Alexanyan, M. A. Simonyan</i> – Factors of Oxidative Damage of Blood of the Patients at Chronic Renal Failure.....	169
<i>A. R. Vardanyan, V. S. Arutunyan, A. A. Avetisyan, M. A. Simonyan</i> – The influence of VAS-167 Compound on the Endogenous Level of Rat Blood Metalloproteins at Alloxan Diabetes	177
<i>H. G. Sahakyan, I. R. Saakyan</i> – The Regulatory Role of Transamination in Succinate-dependent Ca^{2+} Absorption in Mitochondria.....	257

<i>R. Kh. Sahakyan, P. A. Kazaryan, A. A. Avetissyan, M. A. Simonyan</i> – Superoxide Dismutase-mimetic Activity of the Compound VAS-167 and its Influence on the Blood's Metalloproteins <i>in vitro</i>	266
<i>H. R. Vardanyan, G. M. Simonyan, K. G. Karageuzyan, M. A. Simonyan</i> – The Preparation of Antioxidative Activity Fraction from Garden Mollusk <i>Helix</i> Protein-gland and its Influence on the Endogenous Level of Rat Blood Metalloproteins at Alloxan-induced Diabetes.....	273
<i>L. P. Tatevosian, L. V. Sarkissian, I. G. Aslanian, A. A. Galoyan</i> – Effect of PRP-1 on Activity of some Phosphatases in Rat Bone Marrow in Control and in Stimulation of Hypothalamic Nuclei (NPV and NSO).....	349
<i>L. M. Hovsepyan, K. G. Karageuzyan, H. V. Melcumyan, G. W. Zakaryan</i> – Interrelationship between Oxidation Phosphorilation and Lipid Peroxidation in Mitochondria of Brain under Hipoxia.....	355
<i>H. K. Bdoyan, L. L. Danilova, V. E. Elbakyan, K. G. Karageuzyan</i> – Characteristics of Structural and Methabolic Abnormalities of Membrane-bound Phospholipids under the Conditions of Oxidative Stress, Conditioning by Adrenaline Inducted Hyperglycemia.....	360
<i>G. R. Agamyan</i> – The Influence of Intraperitoneal Injected Proline-rich Polypeptide (PRP-1) on the Endogenous Level of Metalloproteins anti- and Prooxidative Activity in White Rats Tissues.....	368
MOLECULAR BIOLOGY	
<i>A. M. Manvelyan, A. Z. Pepoyan, S. S. Mirzabekyan, H. Horie</i> – Probiotic Potential of <i>E. coli</i> G35 N 59 and 61 Strains.....	80
<i>K. G. Karageuzyan, A. V. Ghazaryan, L. V. Edoyan, S. S. Hovakimyan</i> – Molecular Mechanism of Anticoagulant Action of Compounds with Coumarin Nature.....	183
<i>Z. A. Khachatryan</i> – Alterations in Gut Microbiota Composition in Familial Mediterranean Fever...	374
PHYSIOLOGY	
<i>K. A. Panchulazyan, A. G. Arakelyan</i> – Specific Reaction of the Organism to the Equivalent Levels of the Acoustic Energy.....	84
<i>L. G. Vahanyan, N. E. Tadevosyan, I. G. Tadevosyan, V. H. Maloyan</i> – Some Peculiarities of the Process of Attention before and after Intellectual Loading.....	190
<i>K. V. Kazarian, V. Tz. Vantzian, A. S. Tirayan, R. R. Hakobyan</i> – Influence of Pacemaker Slow Waves of Ureter on Initiation of Electric Activity of Urinary Bladder Border Zone.....	280
PLANTS PHYSIOLOGY	
<i>V. V. Kazaryan</i> – Age Changeability of adaptivity of trees to the Conditions of High Mountains.....	90