

ISSN 2308-4804

SCIENCE AND WORLD

International scientific journal

№ 10 (62), 2018, Vol. I

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

The journal is founded in 2013 (September)

Volgograd, 2018

UDC 53:51+54+631+008+551
LBC 72

SCIENCE AND WORLD

International scientific journal, № 10 (62), 2018, Vol. I

The journal is founded in 2013 (September)
ISSN 2308-4804

The journal is issued 12 times a year

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications.

Registration Certificate: III № ФС 77 – 53534, 04 April 2013

Impact factor of the journal «Science and world» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Australia)

EDITORIAL STAFF:

Head editor: Musienko Sergey Aleksandrovich

Executive editor: Manotskova Nadezhda Vasilyevna

Lukienko Leonid Viktorovich, Doctor of Technical Science

Borovik Vitaly Vitalyevich, Candidate of Technical Sciences

Dmitrieva Elizaveta Igorevna, Candidate of Philological Sciences

Valouev Anton Vadimovich, Candidate of Historical Sciences

Kislyakov Valery Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences

Rzaeva Aliye Bayram, Candidate of Chemistry

Matvienko Evgeniy Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences

Kondrashihin Andrey Borisovich, Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences

Authors have responsibility for credibility of information set out in the articles.

Editorial opinion can be out of phase with opinion of the authors.

Address: Russia, Volgograd, Angarskaya St., 17 «G»

E-mail: info@scienceph.ru

Website: www.scienceph.ru

Founder and publisher: Publishing House «Scientific survey»

УДК 53:51+54+631+008+551
ББК 72

НАУКА И МИР

Международный научный журнал, № 10 (62), 2018, Том 1

Журнал основан в 2013 г. (сентябрь)
ISSN 2308-4804

Журнал выходит 12 раз в год

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

**Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС 77 – 53534 от 04 апреля 2013 г.**

Импакт-фактор журнала «Наука и Мир» – 0.325 (Global Impact Factor 2013, Австралия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Мусиенко Сергей Александрович

Ответственный редактор: Маноцкова Надежда Васильевна

Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук

Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук

Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук

Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук

Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук

Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук

Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук

Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: Россия, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г»

E-mail: info@scienceph.ru

www.scienceph.ru

Учредитель и издатель: Издательство «Научное обозрение»

CONTENTS

Physical and mathematical sciences

<i>Abdurakhimov A.U., Ikhromov A.Sh., Erghashev B.M.</i> THE INNOVATIVE APPROACH OF THE RUTHERFORD FORMULA CALCULATION.....	8
<i>Blinov A.P.</i> ON THE OSCILLATIONS OF A CABLE CAR ON THE ROPEWAY	12
<i>Vlasov A.N.</i> TOROIDAL CURRENT LAYER IN A PLASMA VORTEX, AND THE INTERNAL INJECTION OF FAST IONS. PART 3. ON THE POSSIBILITY OF CONTROLLED FUSION.....	18
<i>Daliev Sh.Kh., Paluanova A.D.</i> INFLUENCE OF γ - RADIATION PROPERTIES OF WOLFRAMIUM LEVELS IN SILICON.....	28
<i>Madaminov Kh.M.</i> PHOTOELECTRICAL STUDY OF SOLID SOLUTION $Si_{1-x}Sn_x$	32
<i>Rakhmatullaev I.A., Gorelik V.S., Kurbonov A.K.</i> THE PHOTOLUMINESCENCE SPECTRA OF POWDERS OF PHARMACEUTICAL PREPARATIONS, IN PHOTON TRAPS	36
<i>Utamuradova Sh.B., Olimbekov Z., Zarifbayev Zh.Sh., Sayfullayev Sh.</i> INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON DEVELOPMENT OF DEFECT STRUCTURE OF THE SILICON DOPED WITH CHROME	40

Chemical sciences

<i>Jabarov E.E., Yagubov A.I., Mahmudov F.T., Mamedova S.M., Mamedova S.R.</i> REPLACEMENT THERMODYNAMICS OF Cr^{3+} AND Ni^{2+} IONS IN NATURAL AND SYNTHETIC SORBENTS	43
<i>Ismayilova V.A., Mahmudov F.T., Yagubov A.I., Muradova N.M., Nuriyev A.N.</i> SORPTION DYNAMICS OF Pb^{2+} AND Mn^{2+} IONS FROM SOLUTIONS MODELING THE COMPOSITION OF INDUSTRIAL LIQUID WASTES ON MODIFIED NATURAL SORBENTS	47
<i>Kurbanova L.G., Yagubov A.I., Salimova T.A.</i> SORPTION KINETICS OF Fe^{3+} AND Mn^{2+} IONS FROM MODEL CHANNEL WATERS ON Na-BENTONITE.....	53
<i>Utelbayev B.T., Suleymenov E.N., Utelbayeva A.B.</i> ELEMENTARY PARTICLES: ENERGY AND GRAVITY	57

Agricultural sciences

<i>Isashova U.A.</i> THE ROLE OF ENTOMOPHAGES IN MANAGING THE NUMBER OF MINERS (<i>LIRIOMYZA SATIVA</i> BLANCH)	62
<i>Mamatov K., Mahamedov M.</i> CHARACTERISTICS OF THE BIOECOLOGICAL DEVELOPMENT OF CALIFORNIAN THRIPS IN UZBEKISTAN AND THE METHOD OF COMBATING THEM.....	65

Raxmonova M.K., Hamdamov K.Q.

DETERMINATION OF BIOLOGIC EFFECTIVENESS OF *TRICHOGRAMMA*
EMBRIOPHAGUM-THE LARVA EATERS OF APPLE WORMS (*CAROCOPCA POMONELLA L.*) 67

Culturology

Korzhenko O.M.

TRENDS IN THE USE OF THE MUSEUM SUBJECT: HISTORY AND MODERNITY 69

Earth sciences

Allakhverdiyeva F.F.

TENDENCY OF CHANGE OF WATER QUALITY OF LANKARAN RIVER
UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS 72

СОДЕРЖАНИЕ

Физико-математические науки

<i>Абдурахимов А.У., Икромов А.Ш., Эргашев Б.М.</i> ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ФОРМУЛЫ РЕЗЕРФОРДА	8
<i>Блинов А.П.</i> О КОЛЕБАНИЯХ ВАГОНА НА КАНАТНОЙ ДОРОГЕ	12
<i>Власов А.Н.</i> ТОРОИДАЛЬНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ В ПЛАЗМЕННОМ ВИХРЕ И ВНУТРЕННЯЯ ИНЖЕКЦИЯ БЫСТРЫХ ИОНОВ. ЧАСТЬ 3. О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЯЕМОГО СИНТЕЗА.....	18
<i>Далиев Ш.Х., Палуанова А.Д.</i> ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА УРОВНЕЙ ВОЛЬФРАМА В КРЕМНИИ	28
<i>Мадаминов Х.М.</i> ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $Si_{1-x}Sn_x$	32
<i>Рахматуллаев И.А., Горелик В.С., Курбонов А.К.</i> СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОРОШКОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ФОТОННЫХ ЛОВУШКАХ.....	36
<i>Утамурадова Ш.Б., Олимбеков З., Зарифбаев Ж.Ш., Сайфуллаев Ш.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА РАЗВИТИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ	40

Химические науки

<i>Джабаров Э.Э., Ягубов А.И., Махмудов Ф.Т., Мамедова С.М., Мамедова С.Р.</i> ТЕРМОДИНАМИКА ОБМЕНА ИОНОВ Cr^{3+} И Ni^{2+} НА ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СОРБЕНТАХ.....	43
<i>Исмаилова В.А., Махмудов Ф.Т., Ягубов А.И., Мурадова Н.М., Нуриев А.Н.</i> ДИНАМИКА СОРБЦИИ ИОНОВ Pb^{2+} И Mn^{2+} ИЗ РАСТВОРОВ, МОДЕЛИРУЮЩИХ СОСТАВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТАХ	47
<i>Курбанова Л.Г., Ягубов А.И., Салимова Т.А.</i> КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ Fe^{3+} И Mn^{2+} ИЗ МОДЕЛЬНЫХ КАНАЛЬНЫХ ВОД НА Na- БЕНТОНИТЕ.....	53
<i>Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н., Утелбаева А.Б.</i> ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ: ЭНЕРГИЯ И ГРАВИТАЦИЯ	57

Сельскохозяйственные науки

<i>Исаишова У.А.</i> РОЛЬ ЭНТОМОФАГОВ В УПРАВЛЕНИИ КОЛИЧЕСТВОМ МИНЁРОВ (ТОМАТНЫЙ ЛИСТОВОЙ МИНЁР)	62
<i>Маматов К., Махамедов М.</i> ОСОБЕННОСТИ БИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАЛИФОРНИЙСКИХ ТРИПСОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И МЕТОДИКА БОРЬБЫ С НИМИ	65

Рахмонова М.К., Хамдамов К.К.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ

ЭФФЕКТИВНОСТИ *TRICHOGRAMMA EMBRIOPHAGUM* – ПОЕДАТЕЛЯ

ЛИЧИНОК ЯБЛОННОЙ ПЛОДОЖОРКИ (*CAROSPICA POMONELLA L.*) 67

Культурология

Корженко О.М.

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЗЕЙНОГО

ПРЕДМЕТА: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ 69

Науки о земле

Аллахвердиева Ф.Ф.

ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ЛЕНКОРАНЬ

ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ 72

УДК 539.186.22

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ФОРМУЛЫ РЕЗЕРФОРДА

А.У. Абдурахимов¹, А.Ш. Икромов², Б.М. Эргашев³

¹ кандидат физико-математических наук, доцент,
² магистр по лазерной физике, преподаватель, ³ студент 3-го курса
 Андижанский государственный университет, Узбекистан

Аннотация. В статье приведены аналитические формулы, вычисленные методом физико-математического анализа, а также знаменитая формула Резерфорда.

Ключевые слова: прицельный параметр, рассеивающий центр, формула Резерфорда, планетарная модель.

Введение. Задача о движении заряженной частицы в поле другого заряда аналогична задаче небесной механики, где изучается движение планеты в поле центрального светила. В данном случае изучаемая траектория планеты представляет эллипс или параболу, в зависимости от начальных условий. В этом кулоновские силы, как гравитационные, оказываются притягательным.

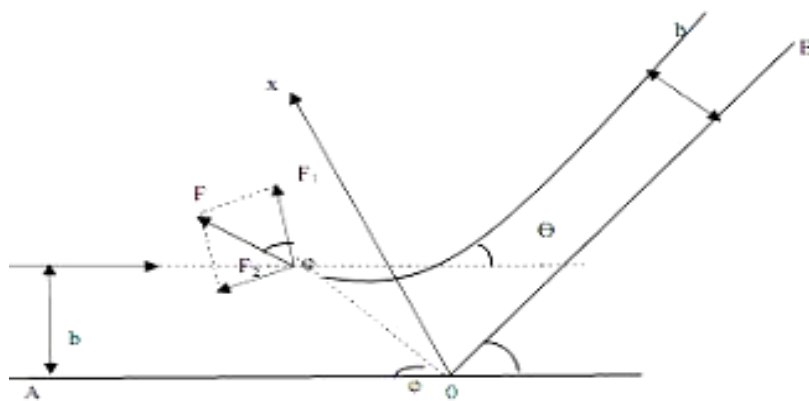
Основная часть. Итак, пусть к покоящемуся точечному заряду q_1 , обладающему массой M , приближается другой точечный заряд q_2 того же знака с массой m . Предположим, что $M \gg m$; пример: покоится ядро тяжелого атома, на него налетает α -частица. Тогда можно считать, что движение частицы происходит в поле неподвижного точечного заряда.

Обозначим через b прицельный параметр (рис. 1). Определим полное изменение импульса частицы в результате процесса рассеяния

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} F dt \quad (1)$$

здесь F – кулоновская сила. В произвольной точке траектории силу F можно разложить на составляющую F_1 , параллельную оси Ox , и F_2 , нормальную к ней. После несложных преобразований получим

$$\Delta P = 2q_1 q_2 \int_0^{\varphi_1} \frac{\cos \varphi d\varphi}{r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)} \quad (2)$$

Рис. 1. Траектория α -частицы в поле ядра

Найдем значение этой константы; пусть частица находится далеко слева от рассеивающего центра, обладая начальной скоростью V (рис. 2).

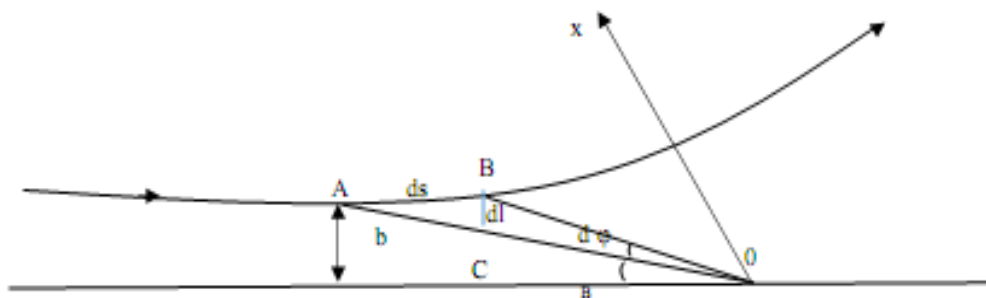


Рис. 2. Геометрические соотношения при определении момента количества движения: ($AB=ds=vd t$; $BC=dl=ds \sin \beta=r d \varphi$; $b=r \sin \beta$)

В этом случае $d\varphi = \frac{dl}{r} = \frac{v \sin \beta dt}{r}$ или $const = r^2 \frac{d\varphi}{dt} = \frac{r^2 v \sin \beta}{r} = vb$. Тогда формула (2) дает

$$\Delta P = 2q_1 q_2 \frac{\sin \varphi_1}{vb} \quad (3)$$

С другой стороны, обозначая угол рассеяния через θ и помня, что абсолютная величина импульса до и после столкновения одна и та же, имеем

$$\Delta P = 2P \sin \frac{\theta}{2} \quad (4)$$

Связь между углами θ и φ_1 , $2\varphi_1 + \theta = \pi$. Сравнивая выражения (3) и (4), получим искомую формулу для угла рассеяния

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{q_1 q_2}{mv^2 b} \quad (5)$$

При лобовом столкновении ($b=0$) частица возвращается по прежнему пути; рассеянию на 90° отвечает прицельный параметр $b_{\perp} = \frac{q_1 q_2}{mv^2}$, поэтому предыдущая формула может быть представлена в виде

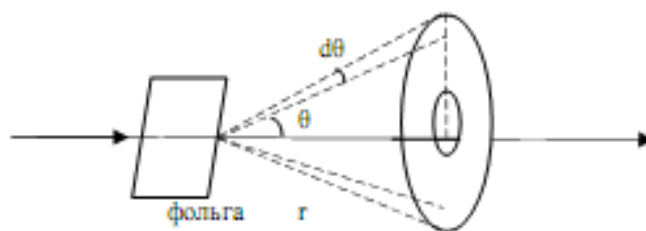
$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{b_{\perp}}{b} \quad (6)$$

Теперь применим полученные результаты к случаю рассеяния α -частиц ядрами тяжелых атомов. Как известно, именно эксперименты по рассеянию α -частиц сыграли в свое время решающую роль в обосновании ядерной модели атома.

Целесообразно преобразовать полученные выражения для угла рассеяния, получив формулы, удобные для сравнения с опытом. Пусть α -частицы с интенсивностью N (штук/см²) падают на тонкую фольгу, изготовленную из вещества с атомным номером Z ; серебро, платина, золото, свинец, медь – подходящие материалы. Обозначим число ядер, приходящихся на 1 см² мишени, через n .

Так как фольга тонкая, то основное число α -частиц будет проходить через фольгу без изменения скорости – потери энергии за счет передачи энергии электронам пренебрежимо малы. Обозначим через dN/N долю α -частиц, испытавших в результате рассеяния на ядрах угловое отклонение в интервале от θ до $\theta+d\theta$ (рис. 3). При заданной скорости α -частицы и заданном заряде ядра внутри полого конуса рассеяния с раствором ($\varphi, \varphi+d\varphi$) попадут те α -частицы, которые испытали рассеяние, отвечающее значению прицельного параметра в

интервале от b до $b+db$. Таким образом, $\frac{dN}{N} = \frac{ds}{I} = n 2\pi b db$.

Рис. 3. Рассеяние α -частицы на фольге.

Перейдем теперь от прицельного параметра b к углам рассеяния; пользуясь формулой (5) и подставляя найденные из нее значения b и db предыдущее равенство, получим

$$\frac{dN}{N} = \pi n \left(\frac{q_1 q_2}{mv^2} \right)^2 \frac{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} d\theta \quad (7)$$

Удобнее отнести число рассеянных α -частиц к единице телесного угла $d\Omega$. Как видно из рис. 3, раствору конуса рассеяния отвечает телесный угол $d\Omega = 2\pi r \sin \theta \frac{rd\theta}{r^2} = 4\pi \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} d\theta$. Тогда формула (7) переписывается в виде

$$\frac{dN}{N} = \frac{n}{4} \left(\frac{q_1 q_2}{mv^2} \right)^2 \csc^4 \frac{\theta}{2} d\Omega \quad (7^*)$$

Для α -частиц получим окончательно:

$$\frac{dN}{N} = \frac{n}{4} \left(\frac{ze^2}{E_k} \right)^2 \csc^4 \frac{\theta}{2} d\Omega \quad (8)$$

Это и есть знаменитая формула Резерфорда.

Итак, число рассеянных частиц должно быстро убывать и с увеличением угла рассеяния, (как $\csc^4 \theta/2$) и с ростом энергии α -частиц (как E_k^2); с другой стороны, оно должно расти пропорционально квадрату заряда ядер, на которых происходит рассеяние.

Все эти утверждения были проверены на опыте и были использованы для прямого экспериментального определения величины Z . Результаты приведены в таблице.

Элемент	Теоретическое значение	Экспериментальное значение
Cu	29	29,3
Ag	47	46,3
Pt	78	77,4
Au	79	78,7
Pb	82	82,2

Заключение. Полученные данные не нуждаются в комментариях. Их следует рассматривать как одно из наиболее ясных доказательств справедливости ядерной (планетарной) модели атома.

Материал поступил в редакцию 25.09.18.

THE INNOVATIVE APPROACH OF THE RUTHERFORD FORMULA CALCULATION

A.U. Abdurakhimov¹, A.Sh. Ikhromov², B.M. Erghashev³

¹ Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,

² Master in Laser Physics, Teacher, ³ 3rd year Student

Andijan State University, Uzbekistan

Abstract. *The analytical formulas, calculated by the method of physical and mathematical analysis, and the famous Rutherford formula are presented.*

Keywords: *impact parameter, scattering center, Rutherford formula, planetary model.*

УДК 531.36

О КОЛЕБАНИЯХ ВАГОНА НА КАНАТНОЙ ДОРОГЕ

А.П. Блинов, кандидат физико-математических наук
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва), Россия

Аннотация. Изучаются колебания вагона, представленного в виде двух тяжелых точек, связанных жестким невесомым стержнем. Одна из этих точек (блок) скользит без трения по нерастяжимому, невесомому канату, концы которого закреплены на одном горизонтальном уровне. Другая тяжелая точка стержня (кабина вагона) может вращаться в вертикальной плоскости каната как маятник. Получено асимптотическое решение задачи, когда провисание каната мало как при свободном, так и при принудительном качении блока по канату с постоянной скоростью.

Ключевые слова: интегралы энергии и количества движения, эллиптические интегралы и функции, малый параметр.

1. Свободное движение вагона. Пусть концы троса закреплены в точках $x = -a$ и $x = a$ на горизонтальной оси x , а ось y направлена по вертикали вверх. Одна из тяжелых точек массой m_0 скользит по тросу длиной $2l$, $l \geq a$, а другая – массой m , может качаться или вращаться на стержне длиной l_1 , в вертикальной плоскости троса. Пусть α обозначает угол отклонения стержня от вертикали, g_0 – ускорение силы тяжести, x, y – координаты точки подвеса маятника (т.е. блока, принятого за материальную точку).

Кинетическая и потенциальная энергия данной системы соответственно имеют вид:

$$T = \frac{1}{2} m_0 (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1}{2} m [(\dot{x} + l_1 \cos \alpha \dot{\alpha})^2 + (\dot{y} + l_1 \sin \alpha \dot{\alpha})^2] \quad (1.1)$$

$$\Pi = g_0 [M(y + \sqrt{l^2 - a^2}) + ml_1(1 - \cos \alpha)], \quad M = m_0 + m \quad (1.2)$$

(точка над переменной обозначает дифференцированное по времени t .)

Далее, приняв M, l, t' соответственно за единицу массы, единицу длины и единицу времени $t' = 2\pi\sqrt{l_1/g_0}$, где последняя представляет период колебаний маятника с массой m при неподвижной точке подвеса m_0 , обозначим $m_1 = m/M, m_2 = m_0/M, l_1/l = \varepsilon, \delta^2 = 1 - a^2/l^2, g = g_0 t'^2/l$. За безразмерные координаты примем $x/l, y/l$ и сохраним прежние обозначения. Кинетическая и потенциальная энергия безразмерной системы примет вид

$$T = \frac{1}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + m_1 \varepsilon (\cos \alpha \dot{x} \dot{\alpha} + \sin \alpha \dot{y} \dot{\alpha}) + \frac{1}{2} m_1 \varepsilon^2 \dot{\alpha}^2 \quad (1.3)$$

$$\Pi = \Pi_0 + g(y - \varepsilon \cos \alpha), \quad \Pi_0 = g(\delta + \varepsilon)$$

Учитывая, что

$$y = -\delta\sqrt{1-x^2}; \dot{y} = \delta x \dot{x} / \sqrt{1-x^2} \text{ и } |x| < 1 \quad (1.4),$$

получим:

$$T = \frac{1}{2} \left((1 + \delta^2 x^2 / (1 - x^2)) \dot{x}^2 + m_1 \varepsilon (\cos \alpha + \delta x \sin \alpha / \sqrt{1 - x^2}) \dot{x} \dot{\alpha} + \frac{\varepsilon^2}{2} m_1 \dot{\alpha}^2 \right) \quad (1.5)$$

$$\Pi = \Pi_0 - g \varepsilon \cos \alpha - g \delta \sqrt{1 - x^2} \quad (1.6)$$

Движение системы описывается интегралом энергии $T + \Pi = h = \text{const}$. Область возможного движения вагона оценивается неравенством $\Pi \leq h$ или $-\delta \leq y \leq \frac{1}{g}(h - \Pi_0) + \varepsilon \cos \alpha$, где h – полная энергия рассматриваемой системы (заметим, что при отсутствии схода со связи точка m_2 движется по эллипсу).

Полагая величину максимального провисания каната малой, т.е. $\delta \ll 1$, примем ее за малый параметр и для асимптотического описания динамики системы воспользуемся методом Пуанкаре [2]. При $\delta = 0$ порождающей системой эллиптический маятник с функцией Лагранжа

$$L_0 = \frac{1}{2} \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_1 \varepsilon^2 \dot{\alpha}^2 + m_1 \varepsilon \cos \alpha \dot{x} \dot{\alpha} + \frac{1}{2} m_1 \varepsilon^2 \dot{\alpha}^2 + g m_1 \varepsilon \cos \alpha - \Pi_0 \quad (1.7)$$

Соответствующая система уравнений имеет интеграл количества движения

$$\partial L_0 / \partial \dot{x} = \dot{x} + m_1 \varepsilon \cos \alpha \dot{\alpha} = K, K = const. \quad (1.8)$$

Без ограничения общности здесь примем $K \geq 0$. Следовательно

$$\dot{x} = K - m_1 \varepsilon \cos \alpha \dot{\alpha} \quad \text{и} \quad x = Kt - m_1 \varepsilon (\sin \alpha - \sin \alpha_0) + x_0 \quad (1.9)$$

Интеграл энергии в этом случае имеет вид

$$\frac{1}{2} \varepsilon^2 m_1 (1 - m_1 \cos^2 \alpha) \dot{\alpha}^2 - \varepsilon g \cos \alpha + \Pi_0 + \frac{1}{2} K^2 = h_0, \quad (1.10)$$

Отсюда

$$\dot{\alpha}^2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 \cos \alpha}{1 - m_1 \cos^2 \alpha} \quad (1.11)$$

где $\lambda_1 = (1 - m_1 \cos^2 \alpha_0) \dot{\alpha}_0^2 - \lambda_2 \cos \alpha_0$; $\lambda_2 = 2g / (\varepsilon m_1)$; $\alpha_0 = \alpha(0)$, $\dot{\alpha}_0 = \dot{\alpha}(0)$.

Отметим, что если $\lambda_1 > \lambda_2$, то имеет место вращательный тип движения маятника, а если $\lambda_1 \leq \lambda_2$ и $\lambda_1 + \lambda_2 > 0$, то – колебательный тип. Во втором случае амплитуду колебаний α_* представляет наименьший по модулю корень уравнения $\cos \alpha = -\lambda_1 / \lambda_2$.

Далее остановимся на типичном случае, когда $\alpha_* < \pi/2$, $\lambda_1 < 0$. Если $K = 0$, то колебания будут периодическими, как колебания математического маятника относительно центра масс системы вагон-блок, находящегося на неподвижной вертикали. Если $K = const \neq 0$, то движение системы можно трактовать как движение относительно её центра масс, находящегося на вертикали, которая движется поступательно вдоль оси x с постоянной скоростью. Поэтому в системе координат, связанной с этой вертикалью, периодические движения маятника сохраняются.

Модуль ускорения $|\ddot{\alpha}|$ достигает минимального значения (нуль) в момент пересечения указанной вертикали.

С другой стороны, в случае схода блока со связи система будет вращаться с постоянной скоростью $\dot{\alpha}$ относительно центра масс, т.е. $\ddot{\alpha} \equiv 0$. Поэтому можно заключить, что сход со связи возможен когда $\ddot{\alpha} = 0$, при $\alpha \neq 0$.

Остановимся на приближенном решении уравнения (1.11) в наиболее простом виде.

Так как в величину интеграла

$$\pm t = \int_{\alpha_0}^{\alpha} \sqrt{\frac{1 - m_1 \cos^2 \alpha}{\lambda_1 + \lambda_2 \cos \alpha}} d\alpha \quad (1.12)$$

наибольший вклад вносят интегралы на окрестностях точек $\pm \alpha_*$, то на отрезке $|\alpha| \leq \alpha_*$ имеем $\frac{1 - m_1 \cos^2 \alpha}{\lambda_1 + \lambda_2 \cos \alpha} \approx \frac{(1 - m_1) \alpha^2}{(\lambda_1 + \lambda_2)(\alpha_*^2 - \alpha^2)}$. При этом $\pm t \cot \approx \arcsin \frac{\alpha}{\alpha_*} - \arcsin \frac{\alpha_0}{\alpha_*}$, где

$$\omega = \frac{1}{\alpha_*} \sqrt{\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{1 - m_1}} \quad \text{и} \quad \alpha = \alpha_* \sin(\pm \omega t + \beta), \quad \beta = \arcsin \frac{\alpha_0}{\alpha_*} \quad (1.13)$$

и координата x в соответствии с (1.9) определяется выражением

$$x \approx x_0 + Kt - m_1 \varepsilon \sin[\alpha_* \sin(\pm \omega t + \beta)] + m_1 \varepsilon \sin \alpha_0 \quad (1.14)$$

Пример. Пусть $m_1 = 0,9$, ($m_2 = 0,1$), $\varepsilon = 0,1$, $g = 10$,

$$\alpha_0 = x_0 = \dot{x}_0 = 0, \quad \dot{\alpha}_0 = 10.$$

Тогда (приблизительно) $\lambda_1 = 212$, $\lambda_2 = 222$, $\cos \alpha_* = 0,96$, $\alpha_* = 0,3$, $\omega = 33,3$, $\beta = 0$, $\alpha = 0,3 \sin 33,3t$

Для оценки погрешности вычисления возьмём, например, $\alpha = 0,2$. По формуле (1.13) вычислим время достижения α величины 0,2. Это время $t=0,022$. Вычислим $\dot{\alpha}(0,022) = 7$.

С другой стороны, непосредственно по формуле (1.11) при $\alpha = 0,2$ получим $\dot{\alpha} = 65$.

При $\delta \neq 0$, учитывая наличие общего решения порождающей системы, решение возмущенной системы можно найти в виде разложения в ряды по степеням малого параметра δ [2], однако, из-за громоздкости эти вычисления здесь не производятся.

Рассмотрим колебания системы вблизи от середины троса в линейном приближении. Для этого выпишем квадратичную, относительно координат и скоростей, часть разложения функции Лагранжа (в этом случае величина δ считается не обязательно малой).

$$L = \frac{1}{2}\dot{x}^2 + m_1 \varepsilon \dot{x} \dot{\alpha} + \frac{1}{2} \varepsilon^2 m_1 \dot{\alpha}^2 - \frac{1}{2} g \varepsilon \alpha^2 - \frac{1}{2} g \delta x^2 + g(\varepsilon + \delta) - \Pi_0$$

К решению уравнений движения в скалярной форме

$$\begin{cases} m_1(1 - m_1 \varepsilon) \ddot{\alpha} - m_1 g \delta x + g \alpha = 0 \\ (1 - m_1 \varepsilon) \ddot{x} - g \varepsilon \alpha + g \delta x = 0 \end{cases}$$

удобно применить алгоритм, изложенный в книге [1].

Здесь полиномиальная матрица и характеристический многочлен имеют соответственно вид:

$$\begin{aligned} f(\lambda) &= \begin{pmatrix} a_{11}\lambda^2 + g & a_{12} \\ a_{21} & a_{22}\lambda^2 + \delta g \end{pmatrix}, & a_{11} &= m_1 a_{22} & a_{12} &= -m_1 \delta g \\ & & a_{21} &= -\delta g & a_{22} &= 1 - m_1 \varepsilon \\ \Delta(\lambda) &= m_1(1 - m_1 \varepsilon)^2 \lambda^4 + g(1 - m_1 \varepsilon)(1 + m_1 \delta) \lambda^2 + \delta g^2(1 - \varepsilon m_1) \end{aligned}$$

Корни этого многочлена таковы:

$$\begin{aligned} \lambda_{1,2} &= \pm i \omega_1, \lambda_{3,4} = \pm i \omega_2, \omega_1 = \sqrt{g_1 + d}, \omega_2 = \sqrt{g_1 - d}, g_1 = \frac{g(1+m_1\delta)}{2m_1(1-m_1\varepsilon)} \\ d &= \frac{g}{2\sqrt{m_1(1-m_1\varepsilon)}} \sqrt{\frac{(1+m_1\delta)^2}{m_1(1-m_1\varepsilon)} - 4\delta}, i = \sqrt{-1} \end{aligned}$$

В соответствии с присоединенной матрицей [1]

$$\begin{aligned} F(\lambda) &= \begin{pmatrix} a_{22}\lambda^2 + \delta g & -a_{21} \\ -a_{12} & a_{11}\lambda^2 + g \end{pmatrix} & \text{В качестве модальных столбцов можно взять следующие столбцы} \\ V_1 &= \begin{pmatrix} a_{22}\lambda^2 + \delta g \\ -a_{12} \end{pmatrix}, V_2 = \begin{pmatrix} -a_{21} \\ a_{11}\lambda^2 + g \end{pmatrix}, V_3 = \begin{pmatrix} a_{22}\lambda_3^2 + g\delta \\ -a_{12} \end{pmatrix}, V_4 = \begin{pmatrix} -a_{21} \\ a_{11}\lambda_3^2 + g \end{pmatrix} \end{aligned}$$

и общее решение системы уравнений принимает вид

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ x \end{pmatrix} = C_1 V_1 \cos \omega_1 t + C_2 V_2 \sin \omega_1 t + C_3 V_3 \cos \omega_2 t + C_4 V_4 \sin \omega_2 t$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 - произвольные постоянные

Пример. Пусть $m_1 = 0,9, m_2 = 0,1, \varepsilon = 0,1, g = 10, \delta = 1$

Тогда $a_{11} = 0,82, a_{12} = -9, a_{21} = -1, a_{22} = 0,9, d = 3,75, \omega_1 = 2,8, \omega_2 = 3,5$

2. Принудительное движение вагона. Рассмотрим случай, когда блок, к которому подвешен маятник (грузовая кабина), катится по тросу с постоянной скоростью v , которую без ограничения общности можно считать положительной.

Тогда

$$v^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 = (1 + \delta^2 x^2 / (1 - x^2)) \dot{x}^2 \text{ и } \dot{x}^2 = \frac{v^2(1-x^2)}{1-(1-\delta^2)x^2}; \dot{y}^2 = \frac{v^2 \delta^2 x^2}{1-(1-\delta^2)x^2} \quad (2.1)$$

и выражение кинетической энергии (1.3) принимает вид

$$T = \frac{1}{2} m_2 v^2 + m_1 v \varepsilon \frac{\sqrt{1-x^2} \cos \alpha + \delta x \sin \alpha}{\sqrt{1-(1-\delta^2)x^2}} \dot{\alpha} + \frac{1}{2} m_1 \varepsilon^2 \dot{\alpha}^2 \quad (2.2)$$

а уравнение Лагранжа с учетом силы диссипации $\delta b \dot{\alpha} b = const \geq 0$ - вид:

$$\ddot{\alpha} + \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{g}{m_1} + \frac{v \delta x}{[1-(1-\delta^2)x^2]^{3/2}} \right] \sin \alpha - \frac{v \delta^2 x \cos \alpha}{[1-(1-\delta^2)x^2]^{3/2}} + \delta b \dot{\alpha} = 0 \quad (2.3)$$

где x является решением уравнения (2.1) т.е. уравнения
Так как

$$\int_{x_0}^x \frac{\sqrt{1-(1-\delta^2)x^2}}{1-x^2} dx = x - x_0 + O(\delta^2), \text{ то } x = x_0 + vt + O(\delta^2) \quad (2.4)$$

Ограничиваясь в разложении решения уравнения (2.3) слагаемыми не выше первого порядка относительно δ , перепишем уравнение (2.4) также с удержанием слагаемых до первого порядка относительно δ :

$$\ddot{\alpha} + g_1^2 \sin \alpha + \delta \left[b \dot{\alpha} + \frac{v^2 \sin \alpha}{G(t)} \right] = 0, g_1^2 = \frac{g}{\varepsilon m}, G(t) = (1 - x_0^2 - 2x_0 vt - v^2 t^2)^{-3/2} \quad (2.5)$$

Порождающее уравнение $\ddot{\alpha} + g_1^2 \sin \alpha = 0$ имеем общее решение колебательного типа

$$\alpha = 2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{2h_1}}{g_1} \operatorname{sn} g_1 t \right) + \alpha_0 \quad (2.6)$$

когда $0 \leq h_1 \leq g_1^2/2$. Здесь $h_1 = \frac{1}{8} [\dot{\alpha}_0^2 + 2g_1^2(1 - \cos \alpha_0)]$ и период колебаний

$$K_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\beta}{\sqrt{1 - k_1^2 \sin^2 \beta}} = \frac{\pi}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 k_1^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 k_1^4 + \dots \right] k_1 = \frac{g_1}{2h_1}$$

Возвращаясь к уравнению (2.3) с точностью $O(\delta^2)$ представим его в виде системы уравнений: $\dot{x}_1 = f_1$, $\dot{x}_2 = f_2$, где $f_1 = x_2$, $f_2 = -g_1^2 \sin x_1 - \delta \left[b x_2 + \frac{v^2}{\varepsilon} G(t) \sin x_1 \right]$, где $x_1 = \alpha$, $x_2 = \dot{\alpha}$

Следуя схеме метода Пуанкаре [2], запишем соответствующую систему уравнений возмущенного движения в векторной форме, ограничиваясь только первым приближением относительно δ , т.е. полагая $x_1 = z_1 + \delta y_1$, $x_2 = z_2 + \delta y_2$, где z_1, z_2 - общее решение порождающей системы, а возмущенное движение описывают уравнения

$$\dot{y} = Ay + D, y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} \partial f_1 / \partial x_1 & \partial f_1 / \partial x_2 \\ \partial f_2 / \partial x_1 & \partial f_2 / \partial x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -g_1^2 \cos z_1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} \partial f_1 / \partial \delta \\ \partial f_2 / \partial \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -bz_2 - \frac{v^2}{\varepsilon} G(t) \sin z_1 \end{pmatrix}$$

Соответствующая система в вариациях (с учетом (2.6)), где $\alpha = z$

$$\dot{y}_1 = y_2, \dot{y}_2 = -g_1^2 \cos \left[2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{2h_1}}{g_1} \operatorname{sn} g_1 t \right) + \alpha_0 \right] y_1$$

В качестве произвольных постоянных здесь удобно взять α_0 и h_1 . Решение такой системы представляется матрицей:

$$Y(t) = \begin{pmatrix} \partial \alpha / \partial \alpha_0 & \partial \alpha / \partial h \\ \partial \dot{\alpha} / \partial \alpha_0 & \partial \dot{\alpha} / \partial h \end{pmatrix} \text{ где } \partial \alpha / \partial \alpha_0 = 1, \partial \dot{\alpha} / \partial \alpha_0 = 0, \partial \alpha / \partial h = \sqrt{\frac{2}{h_1}} \sin g_1 t,$$

$$\partial \dot{\alpha} / \partial h = \sqrt{\frac{2}{h_1}} g_1 \operatorname{cn} g_1 t \operatorname{dn} g_1 t [1 - 4h_1 \operatorname{sn}^2 g_1 t / (g_1^2 - 2h_1 \operatorname{sn}^2 g_1 t)] / \sqrt{g_1^2 - 2h_1 \operatorname{sn}^2 g_1 t}$$

Решение уравнений первой поправки можно представить в виде матрицы Грина [2]

$$y = Y(t) \int_0^t Y^{-1}(\tau) \cdot D(\tau) d\tau$$

Здесь $Y^{-1}(\tau) = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} \partial \dot{\alpha} / \partial h & \partial \alpha / \partial \alpha_0 & -\partial \alpha / \partial h \\ \partial \dot{\alpha} / \partial \alpha_0 & \partial \alpha / \partial \alpha_0 & \end{pmatrix}$, $\Delta = \partial \dot{\alpha} / \partial h$, то есть

$$Y^{-1}(\tau) = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{g_1} sn g_1 \tau / \{cn g_1 \tau \cdot dn g_1 \tau [1 - 4h_1 sn^2 g_1 \tau / (g_1^2 - 2h_1 sn^2 g_1 \tau)]\} \\ 0 & -\frac{1}{g_1} \sqrt{h_1/2} \sqrt{g_1^2 - 2h_1 sn^2 g_1 \tau} / (cn g_1 \tau \cdot dn g_1 \tau [-4h_1 sn^2 g_1 \tau / (g_1^2 - 2h_1 sn^2 g_1 \tau)]) \end{pmatrix}$$

$$D(\tau) = \begin{pmatrix} 0 \\ G(\tau) \end{pmatrix}$$

Интегрирование полученного выражения, как правило, осуществляется численными методами. Для более наглядного описания системы воспользуемся её линеаризацией как по координате α , так и по параметру δ . Причем теперь силу диссипации не будем считать обязательно малой величиной.

Из выражений (2.1) и (2.3) соответственно имеем

$$\dot{x}^2 = v^2 + O(\delta^2), x = x_0 + vt + O(\delta^2), \ddot{\alpha} + 2b_1 \dot{\alpha} + g_1^2 \alpha + \delta \frac{v^2}{\varepsilon} G(t) \alpha = 0$$

Порождающая система в этом случае ($\delta = 0$) имеет общее решение

$$\alpha = e^{-b_1 t} (C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t), \omega = \sqrt{g_1^2 - b_1^2},$$

$$\dot{\alpha} = e^{-b_1 t} [(-b_1 C_1 + \omega C_2) \cos \omega t - (\omega C_1 - b_1 C_2) \sin \omega t]$$

Теперь

$$A = \begin{pmatrix} \partial f_1 / \partial x_1 & \partial f_1 / \partial x_2 \\ \partial f_2 / \partial x_1 & \partial f_2 / \partial x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -g_1^2 & -2b_1 \end{pmatrix},$$

$$Y(t) = \begin{pmatrix} \partial z_1 / \partial C_1 & \partial z_1 / \partial C_2 \\ \partial z_2 / \partial C_1 & \partial z_2 / \partial C_2 \end{pmatrix} = e^{-b_1 t} \begin{pmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t \\ -b_1 \cos \omega t - \omega \sin \omega t & \omega \cos \omega t - b_1 \sin \omega t \end{pmatrix}$$

$$\Delta_1 = e^{-2b_1 t} [\cos \omega t (\omega \cos \omega t - b_1 \sin \omega t) + \sin \omega t (b_1 \cos \omega t + \omega \sin \omega t)] = \omega e^{-2b_1 t}$$

$$Y^{-1}(\tau) = \frac{e^{b_1 \tau}}{\omega} \begin{pmatrix} \omega \cos \omega \tau - b_1 \sin \omega \tau & -\sin \omega \tau \\ b_1 \cos \omega \tau + \omega \tau \sin \omega \tau & \cos \omega \tau \end{pmatrix}$$

$$D(\tau) = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{v^2}{\varepsilon} e^{-b_1 \tau} G(t) (C_1 \cos \omega \tau + C_2 \sin \omega \tau) \end{pmatrix}$$

$$Y^{-1}(\tau) \cdot D(\tau) = \begin{pmatrix} \frac{v^2}{\varepsilon} \sin \omega \tau (C_1 \cos \omega \tau + C_2 \sin \omega \tau) \\ -\frac{v^2}{\varepsilon} \cos \omega \tau (C_1 \cos \omega \tau + C_2 \sin \omega \tau) \end{pmatrix} G(t)$$

Учтем, что множитель $G(t)$, входящий в последнее выражение за все время движения t_3 , остается положительным, монотонно возрастающим от значения $(1 - x_0^2)^{-3/2}$ до значения $(1 - x_0^2 - 2x_0 vt - v^2 t^2)^{-3/2}$, если допускать движение блока на отрезке $[-1 + \delta_0, 1 - \delta_0]$, где $0 < \delta_0 < 1$. На отрезке времени $0 \leq t \leq t_3$ с любой заданной точностью функцию $G(t)$, можно заменить полиномом $P(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t + \dots + \alpha_n t^n$, $\alpha_0 = (1 - x_0^2)^{-3/2}$. Тогда элементы матрицы-столба $Y^{-1}(\tau)D(\tau)$ будут представлять произведения тригонометрических многочленов на полином $P_n(t)$. Такие произведения интегрируются в конечном виде. Следовательно, и решение $y(t)$ представляется в конечном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев В.Ф. Прикладные методы в теории колебаний / В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
2. Моисеев, Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. 400с

Материал поступил в редакцию 25.09.18.

ON THE OSCILLATIONS OF A CABLE CAR ON THE ROPEWAY

A.P. Blinov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russia

***Abstract.** This is study of free oscillations of a cable car, which is presented as two heavy points linked by a weightless rigid rod. One of these points (block) slides friction-free along an inextensible weightless cable whose ends are fixed on the same horizontal level. Another heave point of the bar (cable car cockpit) may rotate vertically as a pendulum. We obtained solution of the problem for case when the sag is negligibly small. Assessment of the movement range of the cable car is given for general case..*

***Keywords:** energy integral, momentum integral, elliptical integral, elliptic function, small parameter.*

УДК 533.9

ТОРОИДАЛЬНЫЙ ТОКОВЫЙ СЛОЙ В ПЛАЗМЕННОМ ВИХРЕ И ВНУТРЕННЯЯ ИНЖЕКЦИЯ БЫСТРЫХ ИОНОВ. ЧАСТЬ 3. О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЯЕМОГО СИНТЕЗА

А.Н. Власов, доктор технических наук, профессор
Рязанский государственный радиотехнический университет, Россия

Аннотация. Данная работа является продолжением исследований тороидального токового слоя в плазменном вихре и внутренней инжекции быстрых ионов, начатых в работах (Science and world. 2018. № 8 (60), Science and world. 2018. № 9 (61). Vol. 1). Предложена гипотеза о *e*-катализе – катализе ядерных реакций синтеза с помощью коллективизированных релятивистских электронов. Проведен расчёт параметров одного из вариантов реактора с использованием *e*-катализа. Показано, что в тороидальном токовом слое с большим и малым радиусами 1,5 м и 0,35 м, соответственно, при ядерном синтезе в чистом дейтерии может выделяться мощность около 8 МВт.

Ключевые слова: тороидальный токовый слой, коллективизированные релятивистские электроны, управляемый синтез, *e*-катализ.

Введение

На первый взгляд, тороидальный токовый слой (ТТ-слой) в плазменном вихре не может быть использован в технологии ядерного синтеза из-за низкой ионной температуры, связанной с контактом плазменного вихря с внешней средой (магнитная термоизоляция отсутствует). Однако имеются экспериментальные данные, которые могут интерпретироваться как косвенное подтверждение возможности ядерного синтеза в токовом слое с относительно низкой ионной температурой (с учётом теоретической модели данной работы). В этом плане заслуживает внимание получение нейтронов в ранних экспериментах на установках, в которых осуществляли разряд «тета-пинч» [2]; эти экспериментальные факты в рамках существующей научной парадигмы не получили убедительного объяснения.

Цель данной части работы – обосновать гипотезу о возможном механизме ядерных реакций синтеза в ТТ-слое и представить ориентировочные расчётные данные к проекту реактора для управляемого ядерного синтеза, рассмотренному в [3].

3.1. Об известных опытах с тета-пинчами

Речь пойдёт о ранних исследованиях тета-пинчей, которые проводились на установках, устройство и схемы питания которых заключались в следующем. Батарея конденсаторов с начальным напряжением до нескольких десятков киловольт и первоначальным запасом энергии до нескольких мегаджоулей разряжается на одновитковую катушку [10, с. 106], создающую сильное и быстро нарастающее магнитное поле, которое должно сжимать дейтериевую плазму. Первичный ток представлял собой быстро затухающую синусоиду, состоящую из нескольких периодов. В опытах большое внимание обращалось на исследование нейтронного излучения, сопровождающего процессы ввода энергии в плазму.

В указанных опытах, результаты которых изложены в [2, с. 191], общее число нейтронов в одной вспышке достигало величины порядка $10^7 - 10^8$ при пиковом значении индукции магнитного поля на уровне 7 – 8 Тл. Время появления нейтронов зависело от условий эксперимента. Это и другие особенности результатов опытов кратко изложены ниже:

1. При подаче напряжения от основной конденсаторной батареи (без использования других источников тока) нейтронный импульс появлялся только на второй полуволне первичного тока. Устойчивое нейтронное излучение наблюдалось только тогда, когда использовался предварительный импульс перед главным импульсом сжатия, причём главный импульс накладывался на предварительный импульс в *противофазе*. В этих условиях нейтронный импульс появлялся на первой полуволне продольного поля до *того момента времени, когда индукция поля проходит через максимум*;

2. Наблюдаемые во время ввода энергии в плазму *вспышки нейтронного излучения были кратковременными*;

3. Кроме того, *во всех опытах наблюдались также жесткие рентгеновские лучи с энергией до нескольких сотен кэВ*.

Здесь курсивом выделены наиболее важные данные с точки зрения новой интерпретации результатов опытов.

Известная интерпретация [2, с. 191] сводилась к тому, что конфигурация поля в сжимающейся плазме на втором полупериоде импульса сжатия (или на первом полупериоде при использовании предварительного импульса противоположной полярности) должна иметь вид, показанный на рис. 1.

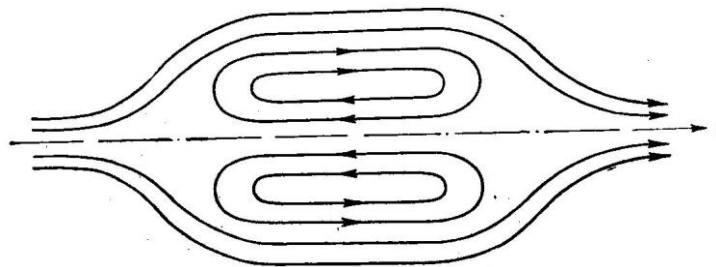


Рис. 1. Конфигурация магнитного поля – стрелками показан ход силовых линий, окружающих плазму

Такая форма магнитных линий является неизбежным следствием захвата поля в фазе, предшествующей основному импульсу сжатия (при предварительном нагреве или в предшествующем полупериоде изменения основного поля). Плазма, находящаяся в области, охваченной замкнутыми силовыми линиями, представляет собой кольцевой проводник с большим азимутальным током (при помощи которого и удерживаются кольцевые линии поля). Вследствие неустойчивости возникают деформации, приводящие к разрыву кольца и мгновенному исчезновению внутреннего поля. При этом должно возникать очень большое электрическое перенапряжение, и следует ожидать жесткого рентгеновского излучения и нейтронного импульса.

Однако в рамках ранее изложенной модели [4] приведенные результаты могут быть объяснены по-другому.

Обратим внимание на снимки, приведенные в [2, с. 199], рис. 2.

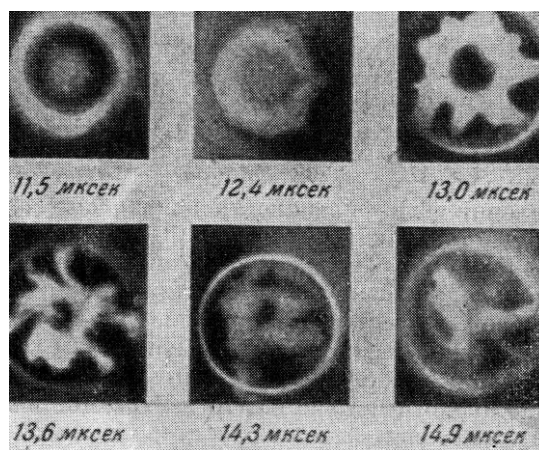


Рис. 2. Снимки плазменного сгустка, образующегося при индукционном разряде в дейтерии под действием знакопеременного магнитного поля

Здесь, особенно на кадре 14,3 мкс, чётко просматривается ярко светящаяся область вблизи стенок разрядной камеры, которая может быть идентифицирована как токовый слой с релятивистскими электронами. Такое возможно при формировании инверсного тета-пинча на короткий период спада внешнего магнитного поля. При последующем нарастании этого поля токовый слой разрушается.

О кратковременном существовании токового слоя с релятивистскими электронами свидетельствует также наличие жесткого рентгеновского излучения, сопровождающего процесс ввода энергии в плазму.

Кратковременность импульсов нейтронного излучения объясняется малым временем жизни токового слоя с релятивистскими электронами в используемой установке – он формируется только в конце периода спада магнитного поля до нуля, при дальнейшем нарастании поля этот токовый слой распадается. Факт наличия нейтронного излучения объясняется реакциями dd-синтеза согласно механизму, гипотеза о котором рассматривается далее.

Кстати, в [2] были высказаны обоснованные сомнения относительно того, имеют ли полученные нейтроны термоядерное происхождение.

Прежде чем рассмотреть гипотезу, объясняющую нейтронные вспышки в описанных выше опытах с тета-пинчами, рассмотрим принципиальную возможность ядерного синтеза при низких температурах на примере мюонного катализа ядерных реакций синтеза.

3.2. Мюонный катализ (μ -катализ)

Мюонный катализ [6, 11] заключается в том, что отрицательно заряженный мюон μ^- , попадая в смесь изотопов водорода, образует там мезоатомы $p\mu$, $d\mu$ и $t\mu$, которые, сталкиваясь затем с молекулами обычного

водорода – H₂, дейтерия – D₂ и трития – T₂ (а также HD, HT и DT), образуют мезомолекулярные ионы (ppμ)⁺, (pdμ)⁺, (ddμ)⁺ и т.д. Поскольку мюон примерно в 200 раз тяжелее электрона, то размеры мезомолекулярных ионов во столько же раз меньше размеров молекулярных ионов (H₂)⁺, (HD)⁺, (DD)⁺ и т.д. (далее ограничимся рассмотрением катализа реакций синтеза только в дейтерии).

В молекулярных ионах ядра удалены в среднем на расстояние в две атомных единицы

$$\sim 2a_0 = \frac{8\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ м.} \quad (3.1)$$

В мезомолекулярных ионах ядра удалены в среднем на расстояние две мезоатомных единицы:

$$\sim 2a_\mu = \frac{8\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_\mu e^2} \approx 5 \cdot 10^{-13} \text{ м.} \quad (3.2)$$

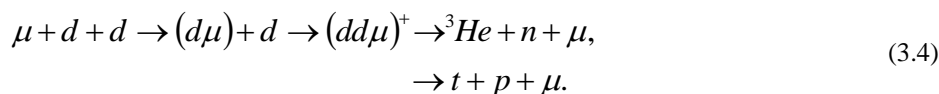
На такое расстояние сближаются ядра изотопов водорода при кинетической энергии

$$W_0 \approx 3 \text{ keV} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ К,} \quad (3.3)$$

как в термоядерных установках.

После образования мезомолекулярного иона (ddμ)⁺ чрезвычайно быстро, за времена, меньшие, чем 10⁻⁹ с, происходят подбарьерные ядерные реакции синтеза, в результате чего мюон может высвободиться и, следовательно, вновь инициировать следующую цепочку мюонного катализа.

Схема мюонного катализа в дейтерии (два канала) имеет вид:



Таким образом, μ-катализ (3.4) возможен потому, что радиус экранирования заряда одного из ядер мюоном (3.2) намного меньше радиуса экранирования заряда ядра электроном (3.1).

Проблема состоит в том, что один мюон (нестабильная частица со временем жизни примерно 2 микросекунды) до своего распада успевает катализировать порядка 100 реакций синтеза, а для коммерчески выгодного способа производства энергии это число должно быть более 10000.

Поэтому μ-катализ оказался непригодным для использования в области энергетики, необходим другой катализатор. В качестве такового предлагается далее рассмотреть е-катализ – катализ ядерных реакций синтеза с помощью коллективизированных релятивистских электронов (электронный катализ).

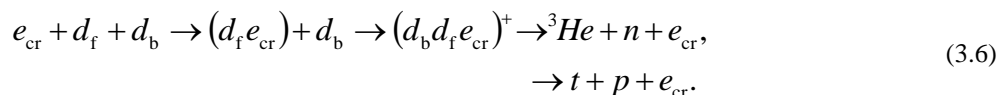
3.3. Электронный катализ (е-катализ)

Идея е-катализа в значительной степени подобна идее μ-катализа. Ограничиваясь далее рассмотрением только дейтериевой плазмы, заметим, что в ТТ-слое инжектированные быстрые дейтроны d_f облучаются коллективизированными релятивистскими электронами e_{cr} . При этом, согласно предлагаемой гипотезе, на короткое время могут образовываться и распадаться квазиатомы ($d_f e_{cr}$) по схеме:



В случае если поблизости этого квазиатома находится фоновый дейтрон d_b , то на короткое время может образоваться эксимерный ион ($d_b d_f e_{cr}$)⁺, в котором происходит слияние ядер за счёт сильного взаимодействия. После этого коллективизированный релятивистский электрон освобождается, и может вновь участвовать в катализе реакций ядерного синтеза.

Схема е-катализа в дейтериевой плазме ТТ-слоя согласно рассматриваемой гипотезе имеет вид:



В рамках гипотезы предполагается, что благодаря действию сильного отрицательного потенциала электронного слоя, инжектируемые быстрые ионы канализуются в оболочке, толщина которой равна эффективной толщине слоя коллективизированных релятивистских электронов. Далее полагается, что инжектированные быстрые ионы при превышении их энергии порогового значения с большой вероятностью вступают в ядерные реакции синтеза.

Таким образом, е-катализ (3.6) может иметь место благодаря тому, что при облучении коллективизированными релятивистскими электронами инжектируемые быстрые ионы эффективно экранируются, что эквивалентно созданию квазиатомов (3.5) с размерами, сопоставимыми с таковыми у мезоатомов. Квазиатомы, сталкиваясь с фоновыми ионами, на короткое время образуют эксимерные ионы (3.6), в которых быстро проходит слияние дейтронов, после чего коллективизированные релятивистские электроны могут далее участвовать в процессах катализа.

3.4. Интенсивность ядерных реакций синтеза при е-катализе

Интенсивность потока быстрых ионов $M(\gamma)$ согласно ранее полученной формуле [5, (2.86)] оценивается соотношением:

$$M(\gamma) = \frac{8\pi^3 \tilde{\lambda}^2 \sqrt{k}}{e\sqrt{\mu_0}} \cdot \frac{Ra\sqrt{T_i n_0^3}}{\gamma^6}, \quad (3.7)$$

где $\tilde{\lambda}$ – комптоновская длина волны электрона, k – постоянная Больцмана, e – элементарный заряд, μ_0 – магнитная постоянная, R и r – большой и малый радиусы ТТ-слоя, соответственно, T_i и n_0 – температура и концентрация фоновых ионов, соответственно, γ – релятивистский фактор коллективизированных релятивистских электронов.

Интенсивность ядерных реакций синтеза будем оценивать по формуле, учитывающей мощность потока быстрых ионов $M(\gamma)$ и коэффициент их использования $\eta(\gamma)$:

$$N_F = W_{dd} M(\gamma) \eta(\gamma), \quad (3.8)$$

где $W_{dd} \approx 6 \cdot 10^{-13}$, Дж, – средняя энергия одной ядерной реакции синтеза.

Конкретный вид для $\eta(\gamma)$ найдём исходя из следующих соображений. Эффективное сечение $\sigma(W_d)$ для реакции dd-синтеза в зависимости от энергии дейтрона W_d имеет следующий вид [2, с. 12]:

$$\sigma(W_d) = \frac{C_1}{W_d} \exp(-\sqrt{C_2/W_d}), \quad (3.9)$$

где C_1 и C_2 – константы.

Далее будем исходить из предположения о том, что зависимость коэффициента использования быстрых ионов от их энергии W_i имеет такой же, как и (3.9) вид:

$$\eta(W_i) = \frac{C_3}{W_i} \exp(-\sqrt{C_4/W_i}), \quad (3.10)$$

где C_3 и C_4 – другие константы.

Выражение для энергии инжектируемых быстрых ионов [5, (2.82)] запишем в виде

$$W_i = C_5 \cdot \gamma^4, \quad (3.11)$$

где C_5 – константа.

Используя (3.11), можно (3.10) переписать в виде:

$$\eta(\gamma) = \frac{\exp(-A_0/\gamma^2)}{B_0\gamma^4}, \quad (3.12)$$

где A_0 и B_0 – безразмерные константы.

Тогда, подставляя (3.12) и (3.7) в (3.8) и используя связь между концентрацией и давлением прилегающей плазмы ($p = 2n_0kT_i$), получаем:

$$N_F = \frac{4\pi^3\lambda^2}{ek\sqrt{2\mu_0}} \cdot \frac{W_{dd}}{\gamma_0^6} \cdot \left[\frac{\gamma_0^6 \exp(-A_0/\gamma^2)}{B_0\gamma^{10}} \right] \cdot \frac{Rap^{3/2}}{T_i}, \quad (3.13)$$

где γ_0 – критическое значение релятивистского фактора, при котором численное значение выражения в квадратной скобке (13) равно $\exp(-2)$ и стремительно уменьшается при $\gamma \leq \gamma_0$.

Исходя из определения γ_0 константы A_0 и B_0 находятся посредством решения системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\gamma_0^6 \exp(-A_0/\gamma_0^2)}{B_0\gamma_0^{10}} = \exp(-2); \\ \gamma_0^6 \frac{d}{d\gamma} [\exp(-A_0/\gamma^2)] \Big|_{\gamma=\gamma_0} = B_0 \frac{d}{d\gamma} \gamma^{10} \Big|_{\gamma=\gamma_0}. \end{cases} \quad (3.14)$$

Система (3.14) имеет решение:

$$\begin{cases} A_0 = 10\gamma_0^2; \\ B_0 = \exp(-8)/\gamma_0^4. \end{cases} \quad (3.15)$$

Подставляя (3.15) в (3.13), имеем

$$N_F = C_F \cdot W_{dd} \cdot \left[\frac{\gamma_0^4 \exp(8-10\gamma_0^2/\gamma^2)}{\gamma^{10}} \right] \cdot \frac{Rap^{3/2}}{T_i}, \quad (3.16)$$

где C_F – фундаментальная константа:

$$C_F = \frac{4\pi^3\lambda^2}{ek\sqrt{2\mu_0}} \approx 5 \cdot 10^{21}, \text{ м}^{-1/2} \cdot \text{кг}^{-3/2} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{К}. \quad (3.17)$$

Критическое значение релятивистского фактора γ_0 найдем, используя ранее полученную формулу [5, (2.84)]:

$$\gamma = 16\sqrt[4]{W_{\text{keV}}}. \quad (3.18)$$

Подставим в (3.18) значение энергии из формулы (3.3), и получим

$$\gamma_0 = 16\sqrt[4]{3} \approx 21. \quad (3.19)$$

Формула (3.16) позволит в дальнейшем с учётом (3.17) и (3.19) оценить ожидаемую мощность, выделяемую реакциями ядерного синтеза в ТТ-слое.

3.5. Проект реактора для управляемого синтеза

Одним из вариантов технической реализации идеи e -катализа, и соответственно, индукционного разряда «инверсный тета-пинч» с ТТ-слоем, является реактор для управляемого синтеза, рассмотренный в [3], рис. 3.

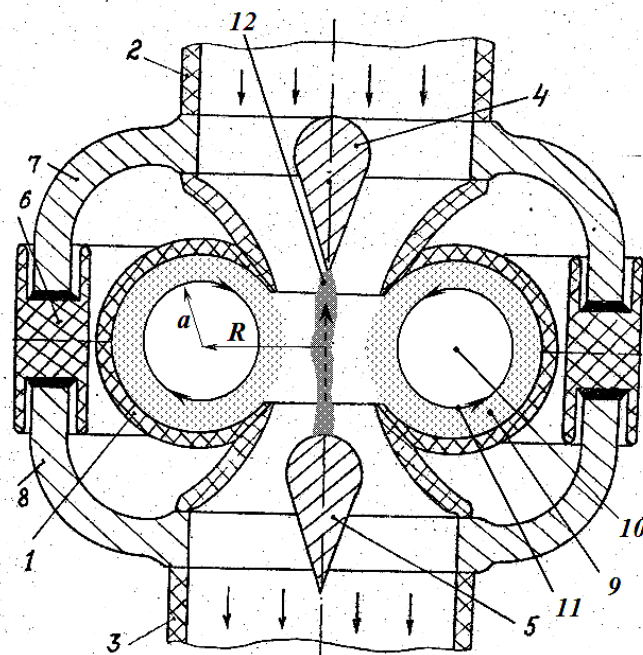


Рис. 3. Схематичный вид реактора с использованием e -катализа

Реактор (рис. 3) имеет следующие детали конструкции и элементы плазменной конфигурации при работе:

- 1 – тороидальная разрядная камера из диэлектрического или слабо проводящего материала. Камера имеет широкую щель, обращённую к центру;
- 2 – входной патрубок для подачи плазмообразующего газа;
- 3 – выходной патрубок для отвода отработавших газов;
- 4 – катод. Соединён с токопроводящей шиной 7 через диск с отверстиями, через которые проходит сечение на чертеже);
- 5 – анод. Соединён с токопроводящей шиной 8 через диск с отверстиями как в аноде;
- 6 – ёмкостный накопитель (на чертеже показан условно, на самом деле он имеет большие размеры, в несколько раз превышающие размер камеры);
- 7 – токопроводящая шина, соединяющая катод 4 с отрицательным электродом ёмкостного накопителя 6;
- 8 – токопроводящая шина, соединяющая анод 5 с положительным электродом ёмкостного накопителя 6;
- 9 – плазменный вихрь (существует только во время работы реактора);
- 10 – тороидальное магнитное поле (существует только во время работы реактора);
- 11 – тороидальный токовый слой – ТТ-слой (существует только во время работы реактора), (R и a – большой и малый радиусы ТТ-слоя, соответственно);
- 12 – канал искрового разряда (существует короткое время только во время работы реактора).

Прототипом этого реактора послужило «устройство для получения высокотемпературной плазмы», которое предложил П.Л. Капица [8]. В прототипе использовалась ВЧ накачка с фокусировкой в центре разрядной камеры, в которой создавалось вращательное движение плазмы благодаря тангенциальным каналам подачи рабочей среды, т.е. фактически формировался плазменный вихрь.

Формирование плазменного вихря обеспечивает устойчивость плазменной конфигурации. Именно эта физическая идея использована в предлагаемом к рассмотрению реакторе.

Реактор может работать следующим образом.

Через входной 2 и выходной 3 патрубки продувают поток плазмообразующего газа (дейтерия), который за счёт взаимодействия со стенками камеры 1 в области широкой кольцевой щели создаёт и поддерживает в камере 1 вращательную циркуляцию плазмообразующего газа и плазмы (как в [8]), а также отводит выделяемую тепловую энергию из зоны реакции. При этом производится заряд ёмкостного накопителя 6. После достижения напряжения пробоя между катодом 4 и анодом 5 возникает искровой разряд, образующий канал 12, по которому протекает импульс первичного тока. Этот канал в совокупности с ёмкостным накопителем 6 с токоподводящими шинами 7 и 8, а также катодом 4 и анодом 5 образует первичный виток тороидального трансформатора, вторичным витком которого является плазменный вихрь 9 в тороидальной камере 1 (плазма образуется в начале развития искрового разряда).

Ввод энергию в плазму происходит по алгоритму обратногоходавой схемы. Вначале по мере нарастания первичного тока в области первичного контура, образованного искровым разрядом в канале 12, ёмкостным накопителем 6 и токоподводящими шинами 7 и 8, происходит накопление магнитной энергии (фаза 1) [4]. При этом к моменту окончания этой фазы происходит ионизация плазмообразующего газа в тороидальной камере 1 за счет ультрафиолетового излучения, проникающего через широкую кольцевую щель камеры. Фаза 2 [4] наступает в период, когда в разрядном канале 12 искровой разряд распадается. В этом случае магнитное поле в камере 1, создаваемое первичным током – искровым разрядом в канале 12, быстро спадает, и за счёт сильных вихревых электрических полей образуется тороидальный токовый слой 11, поддерживающий внутреннее тороидальное магнитное поле 10. В ТТ-слое происходит внутренняя инжекция быстрых ионов, благодаря чему происходят ядерные реакции синтеза на основе е-катализа, рассмотренного выше.

Тепловая энергия, получаемая при ядерных реакциях синтеза, отводится потоком газа через патрубок 3 для дальнейшего использования в тепловой машине.

Реактор работает в режиме повторяющихся циклов, длительность каждого из которых определяется временем жизни ТТ-слоя в плазменном вихре без подпитки извне.

3.6. О параметрах конструкции и режимах работы реактора

При проектировании нового устройства часто используют прототип – работающую конструкцию, применяемую для тех же целей. В качестве прототипа при задании геометрических размеров и величины индукции внешнего магнитного поля в нашем случае удобно выбрать установку «Токамак Т-10» [7], поскольку на ней были получены реальные экспериментальные результаты. Кроме того, установка подобного типа вполне может быть перенастроена для реализации в ней газового разряда типа «инверсный тета-пинч». При этом конструкция может существенно отличаться от той, что показана на рис. 3.

Зададим следующие параметры:

1. Большой радиус ТТ-слоя: $R = 150$ см.
2. Малый радиус ТТ-слоя: $a = 35$ см.
3. Максимальная индукция магнитного поля: $B_{\max} = 3,5$ Тл.
4. Температура в области ТТ-слоя: $T = 11600$ К (ориентируясь на индукционные разряды [12]).
5. Релятивистский фактор коллективизированных релятивистских электронов: $\gamma = 30$ (ориентируясь на энергию ускоренных электронов при срыве тока разряда в токамаках [15]).
6. Плазмообразующий газ – чистый дейтерий ($m_i \approx 33 \cdot 10^{-28}$ кг).
7. Средняя энергия одного ядерного слияния: $W_{dd} \approx 6 \cdot 10^{-13}$ Дж (справочные данные).

Расчёт ожидаемых параметров реактора.

- 1) Амплитуда первичного тока I_{\max} на основе закона полного тока равна

$$I_{\max} = 2\pi R B_{\max} / \mu_0 \approx 26,2 \cdot 10^6, \text{ А.} \quad (3.20)$$

- 2) Аспектное отношение (ранее приведенная формула [4, (1.1)]):

$$A = \frac{150}{35} \approx 4,3. \quad (3.21)$$

- 3) Приведём здесь ранее полученные формулы [5, (2.33), (2.34)]:

$$\gamma = \frac{W_e}{m_e c^2} = \frac{(I_{\max} - J_0)}{I_0 A}, \quad (3.22)$$

где W_e – энергия коллективизированного релятивистского электрона, m_e – его масса покоя, c – скорость света, J_0 – равновесный ток, I_0 – фундаментальная постоянная размерности тока [1]:

$$I_0 = 4\pi c m_e / (\mu_0 e) \approx 17 \cdot 10^3 \text{ А.} \quad (3.23)$$

Для удобства расчётов введём понятие «лимитный ток» (I_{\lim}) – это ток, являющейся частью амплитуды первичного тока

$$I_{\text{lim}} = I_{\text{max}} - J_0. \quad (3.24)$$

Лимитный ток обеспечивает необходимую величину приобретаемой энергии релятивистскими электронами. Из (3.21), (3.22), (3.23), (3.24) и исходных данных следует значение лимитного тока:

$$I_{\text{lim}} = I_0 A \gamma \approx 2.2 \cdot 10^6, \text{ А}. \quad (3.25)$$

4) Равновесный ток с учётом (3.24) и (3.25) составляет величину

$$J_0 = I_{\text{max}} - I_{\text{lim}} = 24 \cdot 10^6, \text{ А}. \quad (3.26)$$

5) Рабочее давление плазмообразующего газа p можно определить, исходя из формулы [5, (2.4)]:

$$J_0 = 2\pi R \cdot \sqrt{2p/\mu_0}. \quad (3.27)$$

С учётом (3.27) и (3.26) рабочее давление составляет величину

$$p = \mu_0 J_0^2 / (8\pi^2 R^2) \approx 4 \cdot 10^6, \text{ Па} \quad (3.28)$$

6) Длительность рабочего цикла можно рассчитать по ранее полученным формулам [5, (2.79), (2.80), (2.81)]. При $\ln \Lambda = 20$ прогнозируемая длительность цикла составляет:

$$\tau_E = G_0 (H_0 R \sqrt{p} + A \gamma) \cdot \frac{m_i T_i \gamma^2}{A p \ln \Lambda} \approx 130, \text{ с}. \quad (3.29)$$

7) С учётом полученных расчётных и имеющихся исходных данных на основе формулы (3.16) с учётом (3.17) и (3.19) найдём ожидаемую мощность, выделяемую ядерными реакциями синтеза при е-катализе в рассматриваемом реакторе:

$$N_F = C_F \cdot W_{\text{dd}} \cdot \left[\frac{\gamma_0^4 \exp(8 - 10\gamma_0^2/\gamma^2)}{\gamma^{10}} \right] \cdot \frac{R a p^{3/2}}{T_i} \approx 8 \cdot 10^6, \text{ Вт}. \quad (3.30)$$

Полученные расчётные данные носят предварительный характер и могут быть использованы при эскизном проектировании экспериментального образца реактора с последующим уточнением в процессе экспериментов.

Для справки:

А) Кинетическая энергия коллективизированного релятивистского электрона, находящаяся на основе (3.22), составляет для рассматриваемого случая:

$$W_e = m_e c^2 \gamma = 2457 \cdot 10^{-15} \text{ Дж (15 МэВ)}. \quad (3.31)$$

Б) Энергия инжектируемых быстрых ионов, находящаяся из (3.18), равна:

$$W_{\text{keV}} = (\gamma/16)^4 \approx 12 \text{ кэВ}. \quad (3.32)$$

Заключение

Прежде чем подвести конкретные итоги представленной работы, отметим следующее.

Известная физическая идея о магнитной термоизоляции плазмы для осуществления управляемых ядерных реакций синтеза подразумевает, что целью ввода энергии в плазму является достижение такой ионной температуры, при которой кинетическая энергия сталкивающихся ядер превышает кулоновский барьер их сближения до расстояний протекания реакций ядерного синтеза. Таким образом, энергия вкладывается именно в те частицы, от которых ожидается проявление нужного физического эффекта.

Между тем, имеются и другие возможности. Например, в области лазерной физики [9] широко используется следующая физическая идея: «Часто оказывается гораздо более выгодным непосредственно вкладывать

энергию возбуждения не в те частицы, излучение которых желательно, а в те, которые легко поглощают эту энергию, сами её не излучают и охотно отдают своё возбуждение нужным частицам».

В приложении к области управляемого ядерного синтеза эту физическую «лазерную» идею можно сформулировать следующим образом: «В плазме для получения управляемых ядерных реакций синтеза может оказаться гораздо более выгодным вкладывать энергию вихревых полей не в ядра, а в убегающие электроны, которые легко поглощают эту энергию, сами в реакции не вступают, а, разогнавшись до околосветовых скоростей, коллективизируются, и обеспечивают сближение ядер до необходимых расстояний».

Именно эта «лазерная» идея была наполнена конкретным содержанием в представленной работе – управляемый синтез можно осуществлять с использованием катализа ядерных реакций синтеза посредством коллективизированных релятивистских электронов.

Интересно отметить, что при конкретной реализации известной идеи магнитной термоизоляции плазмы отмечалось, что в «устройствах, предназначенных для нагревания плазмы замкнутыми разрядными токами, ускорение электронов в вихревых полях является паразитным эффектом...» [2, с. 91]. Заметим, что в рамках научного направления, представленного в данной работе, – это полезный эффект.

Теперь можно объяснить нейтронные вспышки в известных опытах с тета-пинчами, описанных выше, – там в момент переполсовки магнитных полей на короткое время формировался токовый слой с коллективизированными релятивистскими электронами и в это короткое время осуществлялся е-катализ ядерных реакций синтеза.

Таким образом, проведенный анализ и расчеты показали, что предложенная гипотеза о е-катализе – катализе ядерных реакций синтеза с помощью коллективизированных релятивистских электронов – выглядит вполне обоснованной, а проект ядерного реактора, презентованный в [3], технически осуществим на современном уровне развития техники.

Следует отметить, что плазма тороидального токового слоя хотя и не является высокотемпературной с точки зрения ионной температуры, но она уникальна с точки зрения экстремально высокого отрыва энергии электронов от энергии ионов. Также чрезвычайно велика плотность внутренней энергии в ТТ-слое. При энергии электронов 15 МэВ (3.31) и энергии фоновых ионов 1 эВ эта плазма имеет усреднённую на одну частицу, участвующую в процессе ядерного синтеза, энергию около 7,5 МэВ. Это более чем на три порядка превышает данный показатель для плазмы токамаков.

Полученная оценка мощности реактора около 8 МВт (3.30) в относительно компактном устройстве позволяет рассматривать представленное в данной работе научное направление как перспективное для создания конкурентоспособных источников энергии.

Заметим, что критерий Лоусена для реакций dd-синтеза при температуре плазмы порядка 10^8 К составляет $n\tau \geq 10^{22} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}$ [13]. Этот критерий с большим запасом выполняется в рассмотренном реакторе: энергии быстрых ионов на уровне 12 кэВ (3.32) соответствует температура в 1,3 раза более 10^8 К, а произведение $n\tau \geq 10^{27} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}$ ($n \sim 10^{25} \text{ м}^{-3}$, $\tau \sim 10^2 \text{ с}$).

Важной особенностью рассмотренного реактора, является то, что он может работать на чистом дейтерии (без трития). Хорошо известно [14], что для реакторов, работающих на чистом дейтерии, сырьё (тяжёлый водород) имеет практически неисчерпаемый объём запасов, оцениваемый с точки зрения имеющейся энергии как объём нефти, который в 300 раз превышает общий объём мировых океанов воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, А.Ф. Радиофизика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники : учебное пособие / А.Ф. Александров, М.В. Кузев. – М.: КДУ, 2007. – 300 с.
2. Арцимович, Л.А. Управляемые термоядерные реакции / Л.А. Арцимович. – М.: Физматгиз, 1963. – 496 с.
3. Власов, А.Н. Тороидальный токовый слой, поддерживаемый в равновесии давлением наружного газа, и внутренняя инжекция быстрых ионов / А.Н. Власов // Тезисы докладов XXXIX Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и УТС. – М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2012. – С. 43.
4. Власов, А.Н. Тороидальный токовый слой в плазменном вихре и внутренняя инжекция быстрых ионов. Часть 1. Получение токового слоя / А.Н. Власов // Science and world. – 2018. – № 8 (60). – С. 8 – 16.
5. Власов, А.Н. Тороидальный токовый слой в плазменном вихре и внутренняя инжекция быстрых ионов. Часть 2. Теоретическая модель / А.Н. Власов // Science and world. – 2018. – № 9 (61). – V. 1. – С. 12 – 29.
6. Герштейн, С.С. Мюонный катализ и ядерный бридинг / С.С. Герштейн, Ю.В. Петров, Л.И. Пономарёв // Успехи физических наук. – 1990. – Том 160. – Вып. 8. – С. 3-46.
7. Днестровский, Ю.Н. Математическое моделирование плазмы / Ю.Н. Днестровский, Д.П. Костомаров. – М., Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320 с.
8. Капица, П.Л. Устройство для получения высокотемпературной плазмы / П.Л. Капица // А.С. СССР № 333890 от 22.08.1969, кл. Н 05 h 1/18. – Оpubл. 08.01.1973. – Бюлл. № 6.
9. Карлов, Н.В. Лекции по квантовой электронике / Н.В. Карлов. – М.: Наука, 1988. – 336 с.
10. Кролл, Н. Основы физики плазмы / Н. Кролл, А. Трайвелпис. – М.: Мир, 1975. – 525 с.
11. Меньшиков, Л.И. Современное состояние ядерных реакций синтеза / Л.И. Меньшиков, Л.Н. Сомов // Успехи физических наук. – 1990. – Том 160. – Вып. 8. – С. 47-103.
12. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – М.: Наука, 1987. – 592 с.

13. Сивухин, Д.И. Общий курс физики. Т. V. Атомная и ядерная физика / Д.И. Сивухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 784 с.
14. Синельников, К.Д. Лекции по физике плазмы / К.Д. Синельников, Б.Н. Руткевич. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1964. – 242 с.
15. Стефановский, А.М. Условия генерации тока ускоренных электронов при срыве разряда в токамаке / А.М. Стефановский, К.Б. Игонькина // Физика плазмы. – 1995. – Том 21. – № 6. – С. 467-475.

Материал поступил в редакцию 28.09.18.

TOROIDAL CURRENT LAYER IN A PLASMA VORTEX, AND THE INTERNAL INJECTION OF FAST IONS. PART 3. ON THE POSSIBILITY OF CONTROLLED FUSION

A.N. Vlasov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ryazan State Radio Engineering University, Russia

Abstract. *This article is a continuation of studies of the toroidal current layer in the plasma vortex and the internal injection of high-speed ions, started in the articles (Science and World. 2018. No. 8 (60), Science and World. 2018. No. 9 (61). Vol I). The hypothesis of e-catalysis as catalysis of nuclear fusion reactions by collectivized relativistic electrons is proposed. The parameters of one of the reactor variants were calculated using e-catalysis. It is shown that in the toroidal current layer with large and small radii of 1.5 m and 0.35 m, respectively, in nuclear fusion in pure deuterium, a power of about 8 MW can be released.*

Keywords: *toroidal current layer, collectivized relativistic electrons, controlled fusion, e-catalysis.*

УДК 53:51

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА УРОВНЕЙ ВОЛЬФРАМА В КРЕМНИИШ.Х. Далиев¹, А.Д. Палуанова²

¹ доктор философии (PhD), старший научный сотрудник, ² младший научный сотрудник
 Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном
 университете Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан

Аннотация. С помощью методов емкостной спектроскопии исследованы процессы радиационного дефектообразования в Si с примесью вольфрама. Установлено, что облучение γ -квантами ^{60}Co заметного влияния на параметры глубоких уровней (энергию ионизации E_i и сечение захвата электронов σ_n) в n-Si<W> не оказывает, но с ростом дозы облучения $\Phi > 1 \cdot 10^{18} \text{кв/см}^2 \cdot \text{с}$ происходит трансформация спектров DLTS. Показано, что присутствие атомов вольфрама в кремнии при γ -облучении приводит к снижению скорости введения А-центра в 3-4 раза по сравнению с контрольными образцами и препятствует образованию Е-центров. Установлено, что эффективность образования РД зависит также от содержания оптически активного междоузельного кислорода N_o^{om} .

Ключевые слова: кремний, примесь, вольфрам, глубокий уровень, облучение, γ -кванты, доза облучения, радиационный дефект.

Известно, что формирование дефектной структуры кремния определяется наличием специально введенных примесей или дефектных центров, введенных путем воздействия облучения, температуры или давления. Эти дефекты создают в запрещенной зоне кремния ряд глубоких уровней (ГУ) и оказывают заметное влияние на электрофизические параметры Si.

Для контролируемого управления параметрами кремния в последние годы все шире используется легирование нетрадиционными примесями [2, 5, 6], примерами таких примесей являются тугоплавкие элементы – атомы гафния, вольфрама, тантала и др.

Поведение материалов при облучении в значительной степени определяется природой и концентрацией примесей, взаимодействующих с первичными радиационными дефектами [3, 7, 8]. Представляют значительный интерес исследования действия облучения на кристаллы, в которые кроме основной примеси, введены другие активные примеси с глубокими уровнями в запрещенной зоне, эффективно взаимодействующие с радиационными дефектами [9].

Поэтому целью данной работы является исследование процессов дефектообразования в кремнии, диффузионно легированном вольфрамом и подвергнутом воздействию радиации с помощью методов емкостной спектроскопии. В данной работе методами нестационарной емкостной спектроскопии (DLTS) изучено влияние облучения γ -квантами на свойства уровней вольфрама в кремнии. Облучение исследуемых образцов производилось γ -источником ^{60}Co с интенсивностью потока $3.4 \cdot 10^{12} \text{кв/см}^2 \cdot \text{с}$.

Легирование кремния примесью вольфрама производилось диффузионным методом в вакууме из напыленного слоя W особой чистоты в интервале температур 1000-1250⁰С в течение 1-50 часов. Охлаждение образцов после диффузии вольфрама производилось различными путями. В качестве контрольных использовались образцы n- и p-Si, термообработанные при той же температуре и времени, что и введение вольфрама в Si.

Для легирования был использован Si n- и p-типа проводимости с исходным удельным сопротивлением 5-100 Ом·см. Скорость охлаждения образцов после диффузии изменялась от 0.1⁰С/с до 40-80⁰С/с.

Из измерений спектров DLTS образцов Si, диффузионно-легированных вольфрамом, а также контрольных образцов, подвергнутых термообработке (без примеси W), определялся энергетический спектр образуемых ГУ. Для проведения измерений спектров DLTS исследуемых образцов изготавливались диодные структуры по известной методике [1]. Измерения и обработка спектров также детально описаны в работах [1, 2]. Из ВФХ определены зависимости $1/C^2=f(V_{обр})$, которые во всех исследованных диодах были линейными.

На рис.1 приведены спектры DLTS образцов n-Si и p-Si, легированных вольфрамом при 1250⁰С с последующим быстрым охлаждением. Из анализа измеренных спектров DLTS образцов n-Si<W> и p-Si<W> следует, что диффузионное введение W в Si приводит к образованию трех глубоких уровней в верхней половине запрещенной зоны с фиксированными энергиями ионизации $E_c-0.22$ эВ (пик А), $E_c-0.30$ эВ (пик В) и $E_c-0.39$ эВ (пик С), причем превалирует второй ГУ. В нижней половине запрещенной зоны этих образцов обнаружены два глубоких уровня с энергиями ионизации $E_v+0.31$ эВ (пик D) и $E_v+0.35$ эВ (пик E).

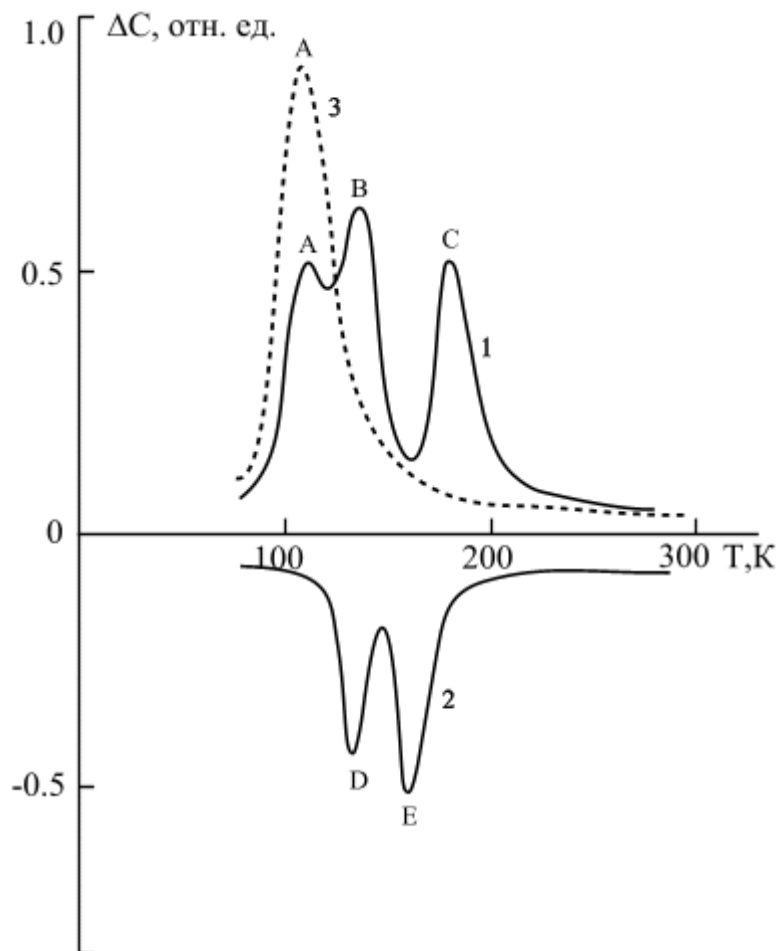


Рис. 1. Спектры DLTS образцов $n\text{-Si}\langle W\rangle$ (кривая 1) и $p\text{-Si}\langle W\rangle$ (кривая 2), легированных вольфрамом при 1250°C и контрольного $n\text{-Si}$ (кривая 3)

Анализ спектров DLTS контрольных термообработанных образцов $n\text{-Si}$ показал, что в них наблюдается лишь уровень с энергией ионизации $E_c - 0.22$ эВ (пик А), причем его концентрация значительно выше, чем в образцах, легированных вольфрамом. Отсюда можно сделать вывод, что с атомами вольфрама в Si связаны лишь уровни с энергиями ионизации $E_c - 0.30$ эВ, $E_c - 0.39$ эВ, $E_v + 0.31$ эВ и $E_v + 0.35$ эВ, а уровень $E_c - 0.22$ эВ является, вероятно, дефектом термообработки.

Далее проводилось облучение образцов $\text{Si}\langle W\rangle$ γ -источником ^{60}Co , одновременно облучались и контрольные образцы (исходные и прошедшие ту же термообработку, что и легированные образцы, но без примеси вольфрама). После каждого этапа облучения измерялись концентрация и параметры ГУ в $n\text{-Si}\langle W\rangle$ и контрольных образцах с помощью DLTS. Анализ спектров DLTS $n\text{-Si}\langle W\rangle$ до и после облучения (рис.1 и рис. 2) показывает, что γ -облучение заметного влияния на параметры ГУ (энергию ионизации E_i и сечение захвата электронов σ_n) в $n\text{-Si}\langle W\rangle$ не оказывает, но с ростом дозы облучения $\Phi > 1.10^{18}$ кв/см²·с происходит трансформация спектров DLTS, то есть рядом с пиком А, связанным с уровнем $E_c - 0.22$ эВ, появляется дополнительный пик А', обусловленный облучением.

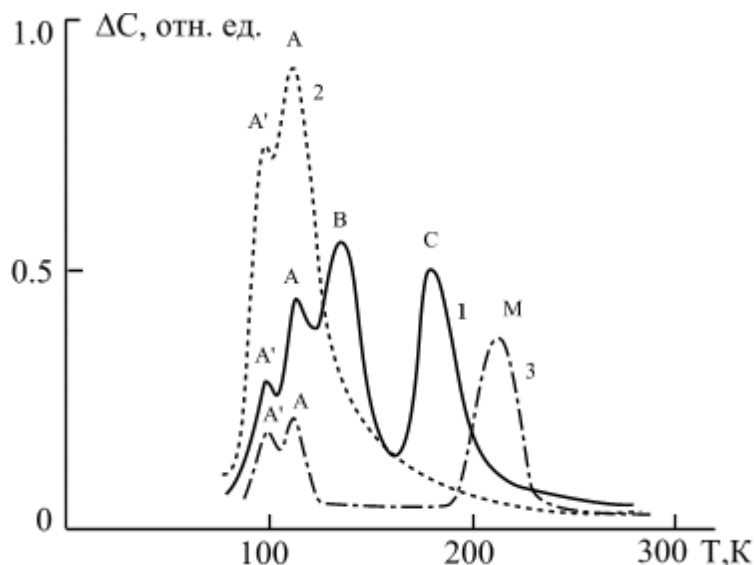


Рис. 2. Типичные спектры DLTS $n\text{-Si}\langle W \rangle$ (кривая 1) и контрольного термообработанного $n\text{-Si}$ (кривая 2 – с $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, кривая 3 – с $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) после облучения дозой $\Phi > 1 \cdot 10^{18} \text{ кв/см}^2 \cdot \text{с}$

Обработка спектров DLTS образцов $n\text{-Si}\langle W \rangle$ и контрольных образцов $n\text{-Si}$ (рис.2, кривые 1-3) показала, что в результате γ -облучения вводится новый уровень с энергией ионизации $E_t = E_c - 0.17 \text{ эВ}$ (пик А') и сечением захвата электронов $\sigma_n \sim 10^{14} \text{ см}^2$. Значение энергии ионизации E_t и сечения захвата электронов σ_n этого уровня совпадают с параметрами известного радиационного дефекта (РД) – комплекса кислород-вакансия (А-центр) [7, 8]. Анализ полученных результатов показал, что концентрация этого дефекта зависит от дозы облучения и концентрации оптически активного междуузельного кислорода $N_{\text{о}}^{\text{опт}}$. Кроме того, скорость введения А-центра в контрольных образцах при $\Phi \leq 10^{17} \text{ кв/см}^2$ в 3-4 раза больше, чем в $n\text{-Si}\langle W \rangle$ (причем, в исходных и термообработанных контрольных образцах она различается незначительно).

Сравнивались особенности радиационного дефектообразования в кремнии с разным содержанием оптически активного междуузельного кислорода $N_{\text{о}}^{\text{опт}}$: $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Измерения спектров DLTS контрольных образцов кремния с $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ("безкислородного" Si) показали, что γ -облучение вводит в них, кроме А-центров, еще один характерный радиационный дефект (Е-центр) с энергией ионизации $E_c - 0.43 \text{ эВ}$ (пик М) и сечением захвата электронов $\sigma_n = 1.8 \cdot 10^{15} \text{ см}^2$. Концентрация Е-центра в этих образцах при дозе облучения $\Phi = 8 \cdot 10^{17} \text{ кв/см}^2$ составляет $5.3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, а концентрация А-центра $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, т.е. примерно в 5-6 раз меньше концентрации А-центров в кремнии с $N_{\text{о}}^{\text{опт}} \sim 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ("кислородном" Si). При облучении образцов, легированных вольфрамом, Е-центры не наблюдаются.

Таким образом, обнаружено, что диффузионное введение W в Si приводит к образованию трех глубоких уровней в верхней половине запрещенной зоны с фиксированными энергиями ионизации $E_c - 0.22 \text{ эВ}$, $E_c - 0.30 \text{ эВ}$ и $E_c - 0.39 \text{ эВ}$, причем превалирует второй ГУ. В нижней половине запрещенной зоны этих образцов обнаружены два глубоких уровня с энергиями ионизации $E_v + 0.31 \text{ эВ}$ и $E_v + 0.35 \text{ эВ}$.

Из анализа спектров DLTS $n\text{-Si}\langle W \rangle$ до и после облучения установлено, что γ -облучение заметного влияния на параметры ГУ (энергию ионизации E_t и сечение захвата электронов σ_n) в $n\text{-Si}\langle W \rangle$ не оказывает, но с ростом дозы облучения $\Phi > 1 \cdot 10^{18} \text{ кв/см}^2 \cdot \text{с}$ происходит трансформация спектров DLTS.

Показано, что присутствие атомов вольфрама в кремнии при γ -облучении приводит к снижению скорости введения А-центра в 3-4 раза по сравнению с контрольными образцами и препятствует образованию Е-центров. Установлено, что эффективность образования РД зависит также от содержания оптически активного междуузельного кислорода $N_{\text{о}}^{\text{опт}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берман, Л.С. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках / Л.С. Берман, А.А. Лебедев. – Л., Наука, 1981. – 170 с.
2. Бургуэн, Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. Теория / Ж. Бургуэн, М. Ланно. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Вавилов, В.С. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах / В.С. Вавилов, Н.А. Ухин. – М., Атомиздат, 1968. – 312 с.
4. Далиев, Ш.Х. Автореф. докт. дисс. / Ш.Х. Далиев. – Ташкент, 2017. – 47 с.
5. Золотухин, И.В. Новые направления физического материаловедения. / И.В. Золотухин, Ю.Е. Калинин, О.В. Стонгей. – Воронеж: Изд. Воронежского госуниверситета, 2000. – 360 с.
6. Милнс, А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / А. Милнс. – М., Мир, 1977. – 547 с.
7. Физические процессы в облученных полупроводниках / Под ред. Л.С. Смирнова. – Новосибирск: Наука, 1977. – 256 с.

8. Шаховцов, В.И. Радиационные эффекты в твердых телах / В.И. Шаховцов, В.Л. Шиндич. – Киев: Наукова думка, 1977. – С. 88-102.

9. Daliev, Kh.S. The characteristic parameters of silicon, doped with vanadium / Kh.S. Daliev // World Journal of Engineering Research and Technology. – 2017. – Vol. 3. – Issue 4. – p. 289-296.

Материал поступил в редакцию 01.10.18.

INFLUENCE OF γ -RADIATION PROPERTIES OF WOLFRAMIUM LEVELS IN SILICON

Sh.Kh. Daliev¹, A.D. Paluanova²

¹ PhD, Senior Researcher, ²Junior Researcher

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics
under the National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan

Abstract. *By means of methods of capacity spectroscopy, the processes of radiation defect formation in Si with wolframium impurity are investigated. It is established that radiation of ^{60}Co by γ -quanta does not exert noticeable influence on parameters of deep levels (energy of ionization E_t and electron-capture cross section σ_n) in $n\text{-Si}\langle\text{W}\rangle$, but there is a transformation of ranges DLTS with growth of radiation dose $\Phi > 1 \cdot 10^{18}$ quantum/cm²·s. It is shown that presence of wolframium atoms at silicon at γ -radiation leads to reduction in the rate of introduction of the A-center by 3-4 times in comparison with control samples and interferes with formation of the E-centers. It is established that the efficiency of formation of radiation defect depends also on content of optically active interstitial oxygen N_o^{om} .*

Keywords: *silicon, impurity, wolframium, deep level, radiation, γ -quanta, radiation dose, radiation defect.*

УДК 621.315.592

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ *

Х.М. Мадаминов, кандидат физико-математических наук, докторант
Андижанский государственный университет, Узбекистан

Аннотация. В данной работе определены значения ширины запрещенной зоны, а также положение уровня Ферми и значения энергетического уровня Sn в запрещенной зоне твердого раствора $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$), с помощью фотоэлектрических исследований.

Ключевые слова: ширина запрещенной зоны, уровень Ферми, примесный энергетический уровень, эффективная масса, твердый раствор.

Введение. Как известно, фотоэлектрические исследования дают ценную информацию о механизмах генерационно-рекомбинационных процессов носителей в полупроводниках, которые зависят не только от положения энергетических уровней примесей, но и их концентрации, которая в свою очередь сильно зависит от значения ширины запрещенной зоны твердого раствора $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$).

С учетом вышесказанного целью настоящей работы является определение ширины запрещенной зоны и положение уровня Ферми, а также определение значения энергетического уровня Sn в запрещенной зоне твердого раствора $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$), построение энергетической зонной диаграммы $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) – структуры, используя результаты фотоэлектрических исследований.

Основная часть. Ширина запрещенной зоны является главным фундаментальным параметром полупроводника и позволяет прогнозировать основные эксплуатационные характеристики полупроводниковых приборов [5].

В этом плане для оценки ширины запрещенной зоны были исследованы спектральные зависимости фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$)-структур, полученной методом жидкофазной эпитаксии в широком спектральном диапазоне энергий фотонов (E_{ph}). С этой целью также были исследованы контрольные образцы – стандартные $p\text{Si}-n\text{Si}$ - структуры, без примеси Sn .

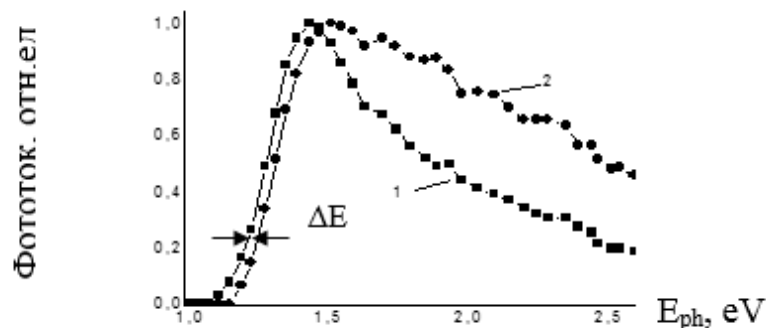


Рис. 1. Спектральные зависимости фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) структур
1 – $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$); 2 – $p\text{Si}-n\text{Si}$

Из экспериментальной зависимости спектра фототока, приведенной на рис. 1, видно, что край изменения фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$)- структуры (кривая 1, рис. 1) сдвинут в длинноволновую сторону по сравнению с контрольной структурой (кривая 2, рис. 1). Сдвиг фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ - структуры в длинноволновую сторону обусловлен шириной запрещенной зоны твердого раствора, значения которого меньше чем значения ширины запрещенной зоны кремниевой структуры, которая составляет 1.16 эВ при комнатной температуре.

На основе сдвига фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$)- структуры в длинноволновую сторону спектра излучения по сравнению с кремниевой структурой мы оценили ширину запрещенной зоны твердого раствора, которая составляла $E_{g,\text{SiSn}} = E_{g,\text{Si}} - \Delta E = 1.16 - 0.1 = 1.06$ эВ. Определенные нами значения $E_{g,\text{SiSn}}$ хорошо согласуются с результатами, определенными с помощью первопринципных методов [4] и закона Вегарда [3].

Известно, что в невырожденных полупроводниках ширина запрещенной зоны тесно связана с уровнем Ферми. Для оценки уровня Ферми исследованных образцов воспользуемся следующими [5].

Если электроны, находящиеся в зоне проводимости, подчиняются статистике Максвелла-Больцмана, то уровень Ферми оценивается через концентрации электронов как:

$$n = \int_{E_c}^{\infty} N(E) f(E, T) dE = \int_{E_c}^{\infty} N(E) e^{-\frac{E-F}{kT}} dE = N_c e^{-\frac{E_c-F}{kT}} \quad (1)$$

где N_c – эффективная плотность состояний в зоне проводимости:

$$N_c = 2 \cdot \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 2,5 \cdot 10^{19} \cdot \left(\frac{m_n^*}{m} \right)^{3/2} \cdot \left(\frac{T}{300} \right)^{3/2} = 2,8 \cdot 10^{19} \left(\frac{T}{300} \right)^{3/2}. \quad (2)$$

Здесь m_n^* – эффективная масса электрона в зоне проводимости – $m_n^* = 0,33m$.

Используя значение концентрации основных носителей n равную 10^{17} см^{-3} , определенную с помощью холловских измерений, мы можем определить положение уровня Ферми в твердом растворе $n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$) из соотношения:

$$F = E_c - kT \ln \left(\frac{N_c}{n} \right) \approx E_c - 0,145 \text{ эВ}. \quad (3)$$

Спад фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$)-структуры в коротковолновой области спектра излучения обусловлен глубиной залегания разделяющего р-п- перехода, в нашем случае она составляет 20 мкм. Когда длина диффузии неосновных носителей меньше, чем глубины залегания р-п- перехода, то электронно-дырочные пары, генерированные высокоэнергичными фотонами, в приповерхностной области структуры не доходят до разделяющего барьера и не участвуют в создании фототока, что приводит к спаду фоточувствительности структуры [2]. Спад фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$)- структуры в коротковолновой области спектра с энергией фотонов $E_{ph} > 1,6$ эВ сильнее, чем контрольных $p\text{Si}-n\text{Si}$ - структур. Это обусловлено тем, что длина диффузии неосновных носителей в твердом растворе $n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$) меньше, чем в $n\text{Si}$ материале.

Известно, что генерационно-рекомбинационные процессы носителей в полупроводниках связаны не с только положением энергетических уровней примесей, но и с их концентрацией, которая в свою очередь сильно зависит от температуры.

Для проверки вышесказанного были исследованы температурные зависимости фототока $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$)- структур в широком спектральном диапазоне энергии фотонов. На рис. 3 показаны зависимости относительного прироста фототока, определяемые как отношение значений фототока при различных температурах ($J_{ph}(T)$) к его значению при комнатной температуре ($J_{ph}(300 \text{ К})$) от энергии фотонов, падающих на образец.

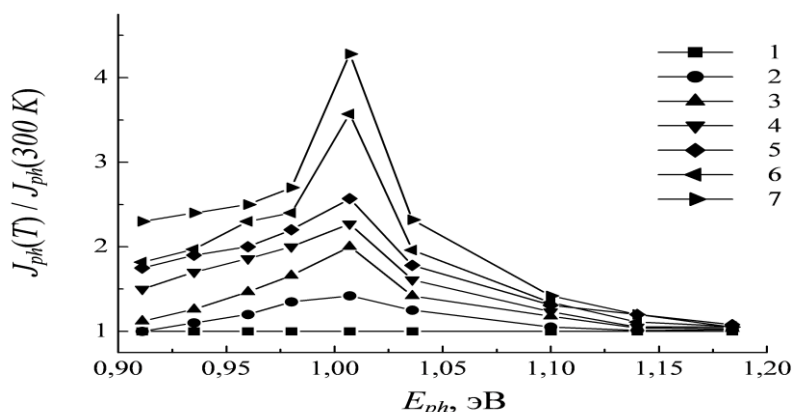


Рис. 2. Спектральные зависимости относительного прироста фототока $J_{ph}(T)/J_{ph}(300 \text{ К})$ $p\text{Si}-n\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0,04$)- структур при различных значениях температур 1 – 300 К; 2 – 313 К; 3 – 323 К; 4 – 333 К; 5 – 343 К; 6 – 353 К; 7 – 363 К

Из рис. 2 видно, что когда энергия фотонов $E_{ph} > E_{g,\text{SiSn}}$, в собственной области поглощения, фототок практически не зависит от температуры. Когда $E_{ph} < E_{g,\text{SiSn}}$, в примесной области поглощения фототок сильно зависит от температуры. С ростом температуры наблюдается монотонный рост фототока в примесной области поглощения, причем максимальный прирост фототока наблюдается при $E_{ph} \approx 1,01$ эВ. При достижении температуры $T = 363 \text{ К}$ максимальный относительный прирост фототока составляет $J_{ph}(T)/J_{ph}(300 \text{ К}) = 4,3$, что является

существенным и свидетельствует о возникновении примесного теплофотовольтаического эффекта в исследуемых образцах с участием уровня Sn.

Для объяснения механизмов физических процессов, протекающих в исследованных структурах, при одновременном воздействии фото- и теплогенерации нами была построена энергетическая зонная диаграмма (рис. 3).

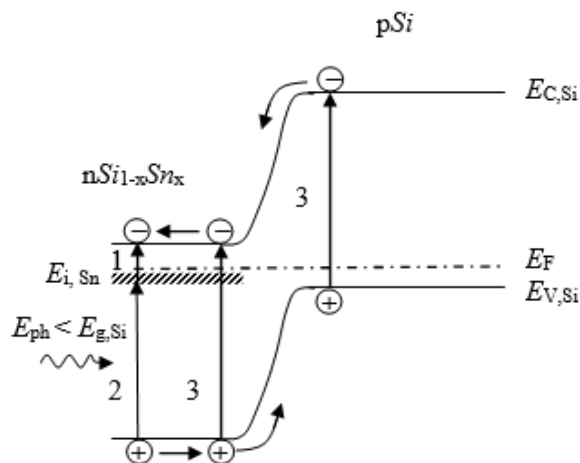


Рис. 3. Энергетическая зонная диаграмма $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$)- структуры с изovalентными примесями Sn.

Согласно этому, повышение прироста фототока с ростом температуры в примесной области поглощения, можно считать, обусловлено увеличением скорости тепловой генерации неравновесных электронов Δn_i за счет перехода электронов с примесных уровней в зону проводимости, как это показано на рис. 3 (переход 1). Тепловая генерация электронов с примесных уровней, ионизируя комплексы Si-Sn, способствует электронным переходам из валентной зоны на примесный уровень, которые происходят под воздействием фотонов с энергией $E_{ph} < E_{g,Si}$ (переход 2 на рис. 3). В результате таких электронных переходов в валентной зоне генерируются неравновесные дырки. Поскольку максимальный прирост фототока наблюдается при $E_{ph} \approx 1.01$ eV, следовательно, Sn-Si связь в твердом растворе $Si_{1-x}Sn_x$, по-видимому, образует энергетический уровень, расположенный на $E_i \approx 1.01$ eV выше потолка валентной зоны кремния. Однако при температурах до 363 К скорость тепловой генерации электронов (G_n) с примесных уровней будет меньше, чем скорость фотогенерации дырок (G_p); $G_n < G_p$, так как на кривых 1–7 рис. 2 отсутствует насыщение по температуре и, следовательно, теплофотовольтаический ток в примесной области поглощения в интервале температур до 363 К будет определяться, в основном, скоростью тепловой генерации электронов – G_n .

Решающим условием для полноты проявления примесного теплофотовольтаического эффекта является равенство скоростей тепло- и фотогенерации электронов и дырок: $G_n = G_p$, которое может происходить при повышении температуры структуры.

Заключение. Исследования спектральных зависимостей фототока $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$)- структур в широком спектральном диапазоне энергий фотонов (E_{ph}) и температурной зависимости спектров фототока образцов позволили определить, что энергетический уровень Sn находится в запрещенной зоне твердого раствора $Si_{1-x}Sn_x$, ниже 0.15 эВ от дна зоны проводимости, которая полностью совпадает с литературными данными [1]. Согласно [1], примеси олова в Si создают энергетический уровень в запрещенной зоне с энергией ионизации $E \leq 0,25$ эВ.

Определенные нами значения ширины запрещенной зоны твердого раствора составляли $E_{g,SiSn} = 1.06$ эВ, что хорошо согласуется с результатами других авторов. На основе этих результатов фотоэлектрических исследований построена энергетическая зонная диаграмма $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) структуры.

В кремниевых структурах с изovalентными примесями Sn совместное влияние температуры и освещения способствует тепло- и фотогенерации неравновесных электронно-дырочных пар в примесной области поглощения и расширяет спектральную область чувствительности в длинноволновую сторону.

Таким образом, изученная структура имеет высокую инфракрасную чувствительность, вследствие которой может быть использована как активный элемент для индикаторов ИК-излучения в ночном наблюдении, для ИК-термометров и для биосенсорных приборов.

* Работа выполнена в рамках проекта ОТ-Ф2-68 Республики Узбекистан

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахадирханов, М.К. Малый энциклопедический справочник по полупроводниковым материалам / М.К. Бахадирханов, И.Б. Ортиков. – Ташкент. 2006. – С. 199.
2. Зайнабидинов, С.З. Влияние рекомбинационных процессов на механизм токопрохождения в $pSi-nSi_{1-x}Sn_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) структурах / С.З. Зайнабидинов, Х.М. Мадаминов // Петербургский журнал электроники. – Санкт-Петербург, 2017. – №4. – С. 8-13.
3. Denton, A.R. Vegard's law / A.R. Denton, N.W. Ashcroft. // Phys. Rev. A 43 (6), 3161 (1991). doi.org/10.1103/PhysRevA.43.3161.
4. Tran, F. Accurate Band Gaps of Semiconductors and Insulators with a Semilocal Exchange-Correlation Potential / F. Tran, P. Blaha // Phys. Rev. Lett. 102 (22), 226401 (2009).doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.226401.
5. Yu, P.Y. Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties / P.Y. Yu, M. Cardona. – Springer, 2005. – p. 206.

Материал поступил в редакцию 06.09.18.

PHOTOELECTRICAL STUDY OF SOLID SOLUTION $Si_{1-x}Sn_x$

Kh.M. Madaminov, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Doctoral Candidate
Andijan State University, Uzbekistan

Abstract. *In this paper we determined the values of the band gap, as well as the position of the Fermi level and the energy level S_n in the band gap of the solid solution $Si_{1-x}Sn_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$), using photoelectric studies.*

Keywords: *band gap, Fermi level, doping energetically level, effective mass, solid solution.*

УДК 535.361

СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОРОШКОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ФОТОННЫХ ЛОВУШКАХ ***И.А. Рахматуллаев¹, В.С. Горелик², А.К. Курбонов³**¹ доктор физико-математических наук, начальник отдела,² доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, ³ PhD докторант¹ Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан,² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (Москва), Россия,³ Национальный университет Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан

Аннотация. Разработана методика для исследования спектров фотолюминесценции фармацевтических препаратов (парацетамол, анальгин) при одно- и двухфотонном возбуждении с импульсно-периодическим лазером. Методика основана на волоконно-оптической регистрации спектров фотолюминесценции с использованием малогабаритного спектрометра, кварцевых световодов и мини резонаторных кювет, позволяющих провести сравнение анализируемого спектра со спектром эталонного вещества.

Ключевые слова: лазер, спектр, фотолюминесценция, фармацевтические препараты, ультрафиолетовое излучение, кювета, фотонная ловушка, ароматические соединения.

Фармацевтические препараты включают в себя большой класс веществ, оказывающих сильное воздействие на молекулярном уровне на биологические структуры и живые организмы. К ним относятся, в частности, различные коммерческие фармацевтические препараты, в структурах которых присутствуют ароматические кольца [1, 6], приводящие к фундаментальному электронному поглощению в среднем ультрафиолетовом диапазоне [2, 4]. Для выяснения соответствия реальных образцов, используемых в различных областях жизнедеятельности человека, с номинальными биоактивными препаратами могут быть использованы спектроскопические методы, включая флуоресцентную спектроскопию [1, 6], метод комбинационного рассеяния света, нелинейно-оптическую спектроскопию [3, 5] и т.д.

Обычно в экспериментах по исследованию спектров вторичного излучения в порошках лазерное излучение фокусируется на поверхность образца, что может привести к его разрушению. Кроме того, в обычных условиях в порошках происходит тушение люминесценции, и связи с этим возникают определенные трудности при регистрации слабых сигналов вторичного излучения.

В данной работе предложена оригинальная методика исследования состава порошков, основанная на регистрации спектров фотолюминесценции. Методика заключается в использовании мини резонаторных кювет, кварцевых световодов и малогабаритного светосильного спектрографа [5, 6].

Данная статья посвящена изучению механизмов возникновения спектров фотолюминесценции в микропорошках анальгина и парацетамола при их импульсно-периодическом лазерном возбуждении. Возбуждение спектров флуоресценции осуществлялось двумя зелеными (510,6 нм) квантами и второй оптической гармоникой (255,3 нм) лазера на парах меди. Измерения проводились при комнатной температуре. В таблице 1 приведены химические и структурные формулы этих образцов.

Для возбуждения и регистрации спектров фотолюминесценции использовалась волоконно-оптическая методика [5, 6]. Установка включает в себя лазер на парах меди (1), генерирующий излучение в видимой области спектра с длинами волн $\lambda_0=510,6$ и 578,2 нм. Лазерная генерация осуществлялась в виде коротких импульсов (15 нс), следующих с частотой повторения 15 кГц. Возбуждающее излучение лазера с помощью световода направлялось внутрь кюветы с образцом.

Структурные формулы фармацевтических препаратов

Фармацевтический препарат	Химическая формула	Структурная формула
Анальгин	$C_{13}H_{16}N_3NaO_4S$	
Парацетамол	$C_8H_9N_3NO_2$	

Вторичное излучение на выходе из кюветы входило в другой световод, направляющий его к входной щели монохроматора МСД-2. Спектральный диапазон монохроматора составлял 200-800 нм, обратная линейная дисперсия – 4.6 нм/мм. У выходной щели монохроматора находился фотоумножитель ФЭУ-106. Для исследования однофотонно-возбуждаемой люминесценции был использован нелинейный оптический кристалл ВаВ₂О₄. Этот кристалл был вырезан таким образом, чтобы условие синхронизма выполнялось для удвоения частоты исходного лазерного излучения с длиной волны 510,6 нм. Таким образом, на выходе кристалла возникало ультрафиолетовое излучение с длиной волны 255,3 нм. Ультрафиолетовое излучение системой линз фокусировалось на входную щель световода и далее этим световодом направлялось на минирезонаторную кювету. Вторичное излучение из кюветы с помощью другого световода подавалось на входную щель монохроматора МСД-2. Анализируемый порошок микронного размера (d~50 мкм) массой около 10 мг помещался в минирезонаторную кювету.

На рис. 1 представлены спектры однофотонно-возбуждаемой люминесценции (ОФВЛ) микропорошков анальгина при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_0=255,3$ нм) и спектр двухфотонно-возбуждаемой люминесценции (ДФВЛ) микропорошков анальгина при возбуждении излучением лазера на парах меди ($\lambda_0=510,6$ нм). Как видно из рисунка, спектр ОФВЛ микропорошков анальгина представляет полосу в диапазоне 430-800 нм с двумя максимумами 461 и 660 нм. В отличие от спектра резонансной люминесценции, второй максимум спектра ДФВЛ ($\lambda_{\text{макс}}=648$ нм) существенно сдвинут в коротковолновую область на 12 нм. Эти спектры отличаются друг от друга интенсивностью. Спектральная интенсивность спектра ДФВЛ ($\lambda_{\text{макс}}=648$ нм) меньше соответствующей интенсивности спектра ОФВЛ ($\lambda_{\text{макс}}=660$ нм) примерно в 12 раз. Полученные спектры отличаются от спектра фотолуминесценции водного раствора анальгина, полученной в работе [6]: в спектре обнаруживается интенсивное люминесцентное излучение с двумя максимумами 650 и 457 нм.

На рис. 2 приведены спектры ОФВЛ микропорошков парацетамола при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_0=255,3$ нм) и спектр ДФВЛ микропорошков парацетамола при возбуждении излучением лазера на парах меди ($\lambda_0=510,6$ нм). Спектры ОФВЛ и ДФВЛ отличаются друг от друга интенсивностью, формой и положением. Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что в спектре ДФВЛ отсутствует пик в коротковолновой области и максимум в длинноволновой области сдвинут на 5 нм ($\lambda_{\text{макс}}=650$ нм). Необходимо отметить, что двухфотонные и однофотонные спектры несут разную информацию. Так, например, в дипольном приближении двухфотонные переходы разрешены между состояниями одинаковой четности, тогда как однофотонные – между состояниями разной четности.

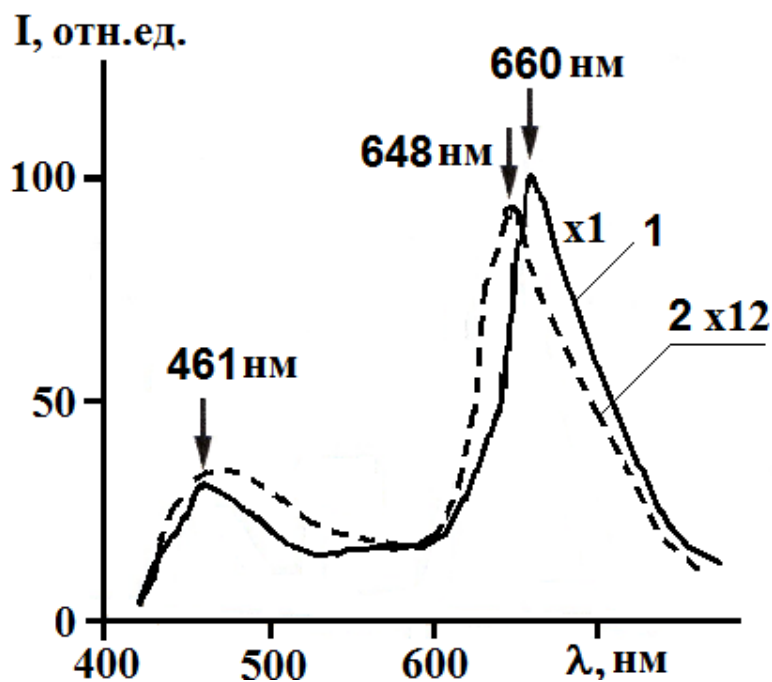


Рис. 1. Спектр ОФВЛ микропорошков анальгина при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_0=255,3$ нм) - кривая 1; спектр ДФВЛ микропорошков анальгина, при возбуждении двумя зелеными квантами ($E=2\hbar\omega=4,8$ эВ) - кривая 2.

Наблюдаемые спектры ДВЛ в фармацевтических кристаллических структурах можно объяснить как результат переходов с первого возбужденного электронного состояния ароматической молекулы на колебательные подуровни основного состояния. При этом коротковолновый край наблюдаемых спектров соответствует $\pi^* - \pi$ электронному переходу бензольного кольца молекулы этих структур. Длинноволновой континуум можно объяснить проявлением переходов, связанных с колебательной структурой рассматриваемых молекул и энергетической зоной экситонных состояний.

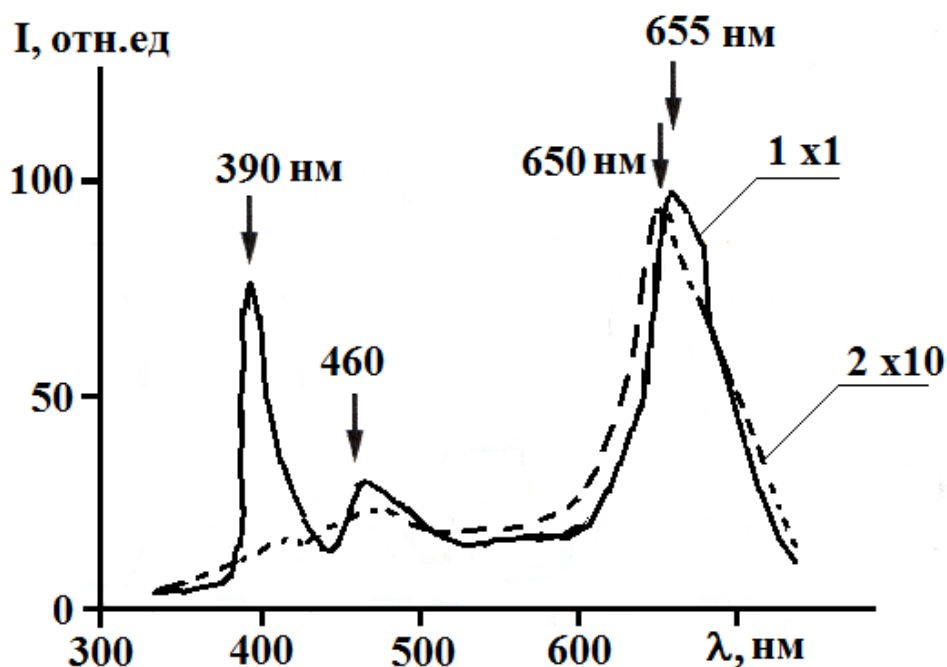


Рис. 2. Спектр ОФВЛ микропорошков парацетамола при возбуждении ультрафиолетовым излучением ($\lambda_0=255,3$ нм) - кривая 1; спектр ДФВЛ микропорошков парацетамола, при возбуждении двумя зелеными квантами ($E=2\hbar\omega=4,8$ эВ) - кривая 2

Наблюдаемые эффекты перераспределения интенсивности в спектрах вторичного излучения исследуемых ароматических соединений можно объяснить переходом от режима спонтанной фотолюминесценции к режиму суперлюминесценции. Это обусловлено эффективным заселением возбужденного синглетного терма

ароматической молекулы под действием интенсивного импульсного ультрафиолетового лазерного излучения. Природа усиления в этом случае аналогична известному механизму в лазерах на красителях [6]. Коэффициент усиления при этом имеет вид:

$$K = \sigma \cdot (N_1 - N_0) \approx \sigma \cdot N_1 \quad (1)$$

При условии, что величина эффективного сечения $\sigma \approx 10^{-16}$ см², а концентрация молекул в водном растворе $N_1 \approx 10^{17}-10^{18}$ см⁻³, получаем, что коэффициент усиления равен $K \approx 10-100$ см⁻¹. В соответствии с законом Бугера для активной среды ($L=0,1 \div 1$ мм) имеем:

$$I(L) = I_0 \cdot e^{KL} \approx (10^2 - 10^3) \cdot I_0 \quad (2)$$

Выполненные оценки объясняют вид спектра фотолюминесценции в порошках анализируемых соединений. Особенностью наблюдаемого эффекта является проявление суперлюминесценции в ультрафиолетовой области спектра (рис. 2), соответствующей положению первого возбуждённого электронного синглетного терма в исследуемых ароматических веществах.

Таким образом, в данной работе на примере близких по структуре фармацевтических препаратов (анальгина и парацетамола) показано, что для количественного неразрушающего контроля молекулярного состава и структуры биоактивных препаратов, содержащих ароматические кольца, может быть эффективно использован метод фотолюминесцентного анализа.

** Работа выполнена при поддержке Государственных научно-технических программ Республики Узбекистан (проект ОТ-Ф2-39).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войнов, Ю.П. Разностная флуоресцентная спектроскопия структуры и состава биоактивных препаратов / Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, М.Ф. Умаров и др // Краткие сообщения по физике. – ФИАН, 2011. – № 11. – С. 13–19.
2. Голубицкий, Г.Б. Количественный анализ некоторых лекарственных препаратов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Г.Б. Голубицкий, В.М. Иванов // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2009. – Т. 50, № 4. – С. 261-266.
3. Козлова, Г.В. Лазерная спектроскопия модифицированных молекулярных объектов. Дисс. канд. физ.-мат. наук / Г.В. Козлова. – Ульяновск: УлГУ, 2005. – 151 с.
4. Мкртчян, М.А. Фотометрическое исследование водных растворов анальгина / М.А. Мкртчян // Ученые записки Ереванского гос. университета. – 2010. м № 2. – С. 24-27.
5. Рахматуллаев, И.А. Эффект комбинационной опалесценции в дисперсных средах при импульсно-периодическом лазерном возбуждении / И.А. Рахматуллаев // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2005. – № 6. – С. 23-26.
6. Умаров, М.Ф. Оптическая спектроскопия биоактивных препаратов / М.Ф. Умаров, В.С. Горелик. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 147 с.

Материал поступил в редакцию 04.10.18.

THE PHOTOLUMINESCENCE SPECTRA OF POWDERS OF PHARMACEUTICAL PREPARATIONS, IN PHOTON TRAPS

I.A. Rakhmatullaev¹, V.S. Gorelik², A.K. Kurbonov³

¹ Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department,

² Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Laboratory, ³ PhD Student

¹ Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics of the National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan,

² Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow), Russia

³ National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan

Abstract. A technique for studying the photoluminescence spectra of pharmaceuticals (paracetamol, analgin) was developed for single- and two-photon excitation with a pulse-periodic laser. The technique is based on the fiber-optic recording of photoluminescence spectra using a small-size spectrometer, quartz light guides, and mini cavity cuvettes, which makes it possible to compare the analyzed spectrum with the spectrum of the reference substance.

Keywords: laser, spectrum, photoluminescence, pharmaceutical preparations, ultraviolet radiation, cuvette, photon trap, aromatic compounds.

УДК 53:51

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА РАЗВИТИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ

Ш.Б. Утамурадова¹, З. Олимбеков², Ж.Ш. Зарифбаев³, Ш. Сайфуллаев⁴

¹ доктор физико-математических наук, директор института,

² старший научный сотрудник, ^{3,4} младший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана (Ташкент), Республика Узбекистан

Аннотация. Исследовано влияние термических обработок на развитие дефектной структуры Si, легированного Cr при выращивании из расплава. Установлено, что атомы Cr, введенные в Si при его выращивании, электрически нейтральны. Показано, что высокотемпературная обработка (ВТО) в интервале 1000-1200 °C образцов n-Si<Cr> приводит к активации атомов Cr с образованием глубоких уровней $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.51$ эВ. Обнаружено, что недостаточная очистка поверхности образцов n-Si<Cr> перед ВТО приводит к появлению нового уровня $E_c-0.30$ эВ, сопровождающемуся синхронными изменениями концентрации уровня $E_c-0.41$ эВ.

Ключевые слова: кремний, примесь, хром, легирование при выращивании, высокотемпературная обработка.

Известно, что технологический маршрут изготовления практически любого полупроводникового прибора сопровождается различными циклами низко- и высокотемпературных обработок, что неизбежно приводит к образованию разного рода дефектов и оказывает существенное влияние на развитие дефектной структуры кремния и формирование глубоких центров, образуемых примесями, введенными с целью модификации свойств полупроводниковых материалов [1, 3, 4, 9].

Кроме того, что в развитии дефектной структуры Si немаловажную роль играет наличие технологических примесей. Неконтролируемые примесные атомы (железо, медь и др.), попадающие в объем кремния в процессе выращивания и при технологических обработках, создают в решетке электрически активные и неактивные дефектные состояния. Технологические примеси в Si всегда находятся во взаимодействии с легирующими примесными атомами. Поэтому изменение состояния этих примесей в решетке кристалла при термообработке приводит к развитию дефектной структуры кремния, а также определяет эффективность образования различных дефектов.

Целью данной работы является изучение влияния термических обработок на развитие дефектной структуры кремния, легированного хромом при выращивании из расплава, а также установление возможности активации атомов Cr путем высокотемпературных обработок (ВТО).

Для выяснения этого вопроса нами проводились различные ВТО в интервале 900-1200 °C образцов n-Si, легированного хромом при выращивании. Пластины n-Si<Cr> перед термообработкой подвергались тщательной кислотно-перекисной отмывке. Отжиг проводился в кварцевых лодочках в трубе на воздухе.

Методика изготовления диодных структур, измерения и обработки спектров DLTS детально описана в работах [2, 7, 8]. Для экспериментов использовался n-Si, легированный Cr в процессе выращивания из расплава, с удельным сопротивлением $\rho = 10-100$ Ом·см. Измерения спектров DLTS таких образцов показали, что на спектрах каких-либо пиков, обусловленных глубокими уровнями (ГУ), не наблюдается. Отсюда следует, что атомы Cr, введенные в кремний при его выращивании, электрически нейтральны.

На рис. 1 приведен спектр DLTS образца, подвергнутого высокотемпературной обработке (ВТО) при 1100 °C (кривая 1) и 1200 °C (кривая 2) в течение 1 часа с последующей резкой закалкой. Спектры измерены в режиме постоянного напряжения путем однократного сканирования [7, 8]. Анализ измеренных спектров DLTS показывает, что ВТО образцов n-Si<Cr> приводит к образованию трех ГУ с энергиями ионизации $E_c-0.21$ эВ, $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.51$ эВ. Уровень $E_c-0.21$ эВ наблюдается и в контрольных термообработанных образцах (без примеси Cr), его параметры совпадают с параметрами известных дефектов термообработки с уровнем $E_c-0.21$ эВ (пикА) [6].

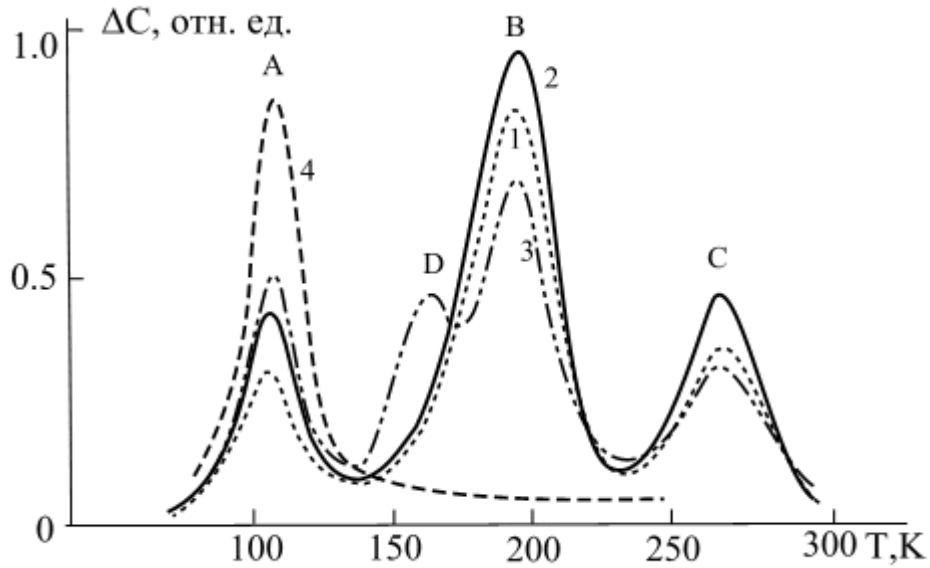


Рис. 1. Типичные спектры DLTS образцов $n\text{-Si}\langle\text{Cr}\rangle$ после ВТО 1100°C (1), 1200°C (2), 1200°C с недостаточной очисткой (3) и контрольного $n\text{-Si}$ (4)

Глубокие уровни $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.51$ эВ, вероятно, обусловлены активацией атомов Cr, аналогичные уровни мы наблюдали ранее в работе [5] при диффузионном легировании Si примесью Cr. Отметим, что концентрации наблюдаемых ГУ увеличиваются с ростом температуры термообработки.

Анализ измеренных спектров DLTS показывает, что в некоторых образцах недостаточная очистка поверхности образцов $n\text{-Si}\langle\text{Cr}\rangle$ перед ВТО приводит к появлению нового ГУ $E_c-0.30$ эВ (пик D) в заметной концентрации. Сопоставление спектров DLTS таких образцов, прошедших термообработку в интервале $900\text{-}1200^\circ\text{C}$ (рис. 1, кривая 3, пики D и B) показало, что эффективность образования уровня $E_c-0.30$ эВ зависит от температуры обработки и степени очистки поверхности перед ВТО. Установлено, что появление этого ГУ происходит синхронно с отжигом уровня $E_c-0.41$ эВ (рис. 1, кривые 2 и 3, пик B).

Измерения спектров DLTS показали, что дополнительная низкотемпературная обработка (НТО) при $T=100\text{-}400^\circ\text{C}$ образцов $n\text{-Si}\langle\text{Cr}\rangle$, прошедших предварительно ВТО при 1200°C , приводит к трансформации энергетического спектра глубоких уровней: как видно из рис. 2 (кривая 3, пик B), концентрация уровня $E_c-0.30$ эВ, стимулированного ВТО, в результате НТО при 250°C в течение 1ч. заметно уменьшается и с дальнейшим ростом длительности обработки он полностью отжигается. Анализ спектров DLTS показал, что отжиг ГУ $E_c-0.30$ эВ сопровождается увеличением концентрации уровней $E_c-0.41$ эВ ($\Delta N_{E_c-0.30} \approx \Delta N_{E_c-0.41}$).

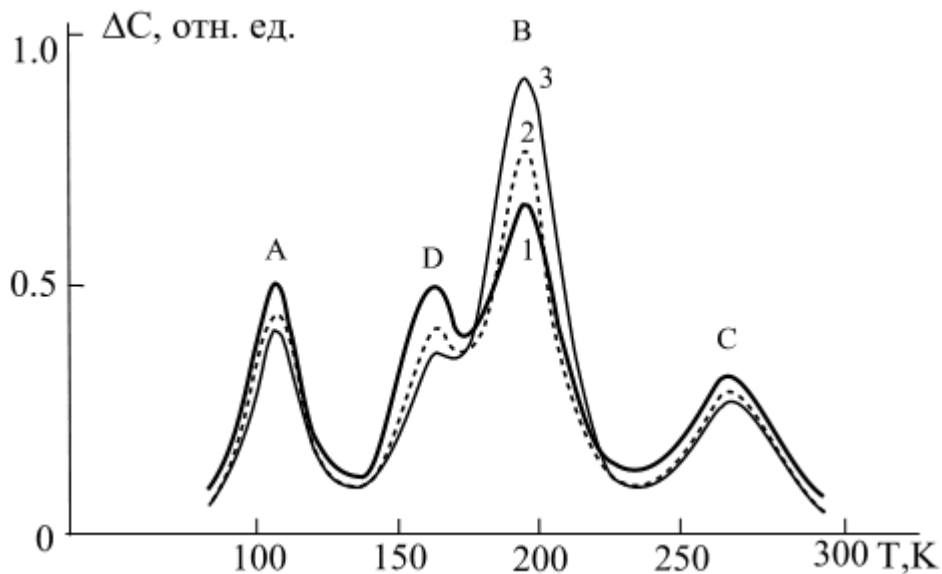


Рис. 2. Типичные спектры DLTS образцов $n\text{-Si}\langle\text{Cr}\rangle$ после ВТО при 1200°C (1), ВТО+НТО при 250°C , 1 ч.(2), ВТО+НТО при 250°C , 2 ч.(3)

Параметры ГУ $E_c-0.30$ эВ и изменение его концентрации по мере НТО подобны поведению комплекса Fe-Au, о котором сообщалось в [9]. Дополнительным аргументом в пользу идентификации центра с уровнем $E_c-0.30$ эВ как комплекса Fe-Cr, может явиться также и тот факт, что эффективность его образования зависит от температуры ВТО и степени очистки образцов перед ТО. Весьма вероятно, что источником Fe является недостаточно очищенная перед ВТО поверхность образцов n-Si<Cr>. Возможно также, что атомы Fe попали в кремний в процессе выращивания и при последующем медленном охлаждении перешли в неактивное состояние, а ВТО при 1200 °С активировала эти атомы, чем и может быть обусловлено образование ГУ $E_c-0.30$ эВ. Предположение о связи этого ГУ с примесной парой Fe-Cr подкрепляется также и синхронными изменениями концентрации уровней $E_c-0.41$ эВ: эти изменения почти равны и противоположны изменениям концентрации ГУ $E_c-0.30$ эВ.

Таким образом, формирование предполагаемого комплекса Fe-Cr приводит к уменьшению атомов Cr в электроактивном состоянии и наоборот, распад комплекса Fe-Cr при температурах $T > 200$ °С приводит к соответствующему увеличению концентрации уровней Cr. Для проверки сделанных выше предположений проводились эксперименты со специальным легированием Fe образцов n-Si<Cr>. Диффузия проводилась при 900-1200 °С в течение 0.5-20 часов в открытой трубе на воздухе из нанесенного слоя Fe с последующей закалкой. Результаты емкостных измерений показали, что в этих образцах также наблюдается ГУ $E_c-0.30$ эВ и эффективность его образования увеличивается с ростом температуры диффузии Fe в Si и значительно выше, чем в образцах n-Si<Cr>+ВТО при одинаковой температуре ТО. Кинетика отжига уровня $E_c-0.30$ эВ, введенного в n-Si<Cr> как при диффузии Fe, так и при ВТО, одинакова. Эти результаты подтверждают предположение о связи ГУ $E_c-0,30$ эВ с примесной парой Cr с Fe в Si.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что ВТО в интервале 900-1200 °С с последующей резкой закалкой образцов Si, легированного хромом при выращивании, приводит к активации атомов Cr с образованием ГУ $E_c-0.41$ эВ и $E_c-0.51$ эВ. В образцах n-Si<Cr> наблюдается также новый ГУ $E_c-0.30$ эВ, который отличается термической нестабильностью и образование или отжиг его сопровождаются синхронными изменениями концентрации уровня хрома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманов К.П. Исследование взаимодействия железа с другими элементами в кремнии / К.П. Абдурахманов, Х.С. Далиев, Г.С. Куликов и др. // ФТП. – 1986. – т. 20. – вып. 1. – С. 185-186.
2. Берман, Л.С. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках / Л.С. Берман, А.А. Лебедев. – Л.: Наука, 1981. – 170 с.
3. Омеляновский, Э.М. Примеси переходных металлов в полупроводниках / Э.М. Омеляновский, В.И. Фистуль. – М., 1983. – 192 с.
4. Рейви, К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. Пер. с англ. / К. Рейви. – М.: Мир, 1984. – 471 с.
5. Утамурадова, Ш.Б. Исследование эффективности образования глубоких центров, создаваемых примесями хрома в кремнии / Ш.Б. Утамурадова // Science and World, International scientific journal. – 2018. – № 2 (54), Vol. I. – p. 32-34.
6. Физика и материаловедение полупроводников с глубокими уровнями / под ред. Фистуля В.И. – М., 1987. – 232 с.
7. Lang, D.V. Deep level transient spectroscopy A new method to characterize traps in semiconductors / D.V. Lang // J.Appl. Phys. – 1974. – Vol. 45. – №7. – p. 3023-3032.
8. Miller, G.L. Capacitance transient spectroscopy / G.L. Miller, D.V. Lang, L.C. Kimerling // Ann.Rev.Mater.Sci. – 1977. – v. 7. – p. 377-448.
9. Rohatgi A., Davis I.R., Hopkins R.H. and Mullin P.G. Mc. Sol.St.El., 1983, V.26, P.1039-1048.

Материал поступил в редакцию 01.10.18.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON DEVELOPMENT OF DEFECT STRUCTURE OF THE SILICON DOPED WITH CHROME

Sh.B. Utamuradova¹, Z. Olimbekov², Zh.Sh. Zarifbayev³, Sh. Sayfullayev⁴

¹ Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Institute,

² Senior Researcher, ^{3,4} Junior Researcher

Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics under the National University of Uzbekistan (Tashkent), Republic of Uzbekistan

Abstract. Influence of heat treatment on development of defect structure of Si doped with Cr at growth from the melt is investigated. It is established that the Cr atoms, entered into Si at its growth, are electrically neutral. It is shown that high-temperature treatment (HTT) in the range of 1000-1200 °C of n-Si <Cr> samples leads to activation of Cr atoms with formation of deep levels of $E_c-0.41$ eV and $E_c-0.51$ eV. It is revealed that insufficient cleaning of surface of n-Si <Cr> samples before the HTT leads to emergence of new level of $E_c-0.30$ eV, which is followed by synchronous changes of concentration of level $E_c-0.41$ eV.

Keywords: silicon, impurity, chrome, doping at growth, high-temperature treatment.

Chemical sciences
Химические науки

УДК 661.183.123+628.3

**ТЕРМОДИНАМИКА ОБМЕНА ИОНОВ Cr³⁺ И Ni²⁺
НА ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СОРБЕНТАХ**

Э.Э. Джабаров¹, А.И. Ягубов², Ф.Т. Махмудов³, С.М. Мамедова⁴, С.Р. Мамедова⁵

¹ младший научный сотрудник, ² доктор химических наук, заведующий лабораторией,

³ доктор химических наук, ведущий научный сотрудник,

⁴ кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник,

⁵ кандидат химических наук, старший научный сотрудник

Институт Катализа и Неорганической Химии имени академика М. Нагиева

НАН Азербайджана (Баку), Азербайджан

***Аннотация.** В статье рассчитаны термодинамические константы ионообменных равновесий для ионов Cr³⁺ и Ni²⁺ на сорбентах, полученных на основе Na-форм синтетических и природных сорбентов при помощи уравнений Толмачева и Горикова. На основе этих данных вычислены значения свободной энергии и другие термодинамические параметры.*

***Ключевые слова:** ионы, Cr (III), Ni (II), сорбент, бентонит, катионит, клиноптилолит, термодинамические параметры.*

Введение

При выражении концентрации ионов в растворе и сорбенте через полные молярные доли, как это делается Джейнсом и Томасом, а также Баррером [7, 10] термодинамическая константа равновесия становится переменной величиной, зависящей от общей концентрации ионов в растворе и сорбенте.

Авторы [1-3, 5, 6, 8, 9, 11, 12], выразив количество ионов в растворе и сорбенте через молярные концентрации или через эквивалентные доли, получили ряд выражений для расчёта значений термодинамической константы равновесия и коэффициентов активностей в фазе сорбента, где отсутствует зависимость термодинамической константы равновесия от концентрации раствора для разновалентных ионов. Приводятся ниже значения термодинамической константы ионообменного равновесия:

$$\ln K_{\text{термод.}} = - \int_0^1 \ln K_C^1 dN_{\text{АЦ}} - \int_{C_0(N_{\text{АЦ}}=1)}^{C_0(N_{\text{ВЦ}}=1)} \frac{dC_0}{n} \quad (1)$$

где, $n=C_A \cdot Z_A + C_B \cdot Z_B$; $C_0 = C_A + C_B$; $dC_0 = dC_A + dC_B$

$$K'_C = \frac{K_C \cdot C \cdot \gamma_{\text{ВЦ}}^{1/Z_B}}{\gamma_{\text{АЦ}}^{1/Z_A}},$$

Z_A и Z_B – заряд ионов, C_0 и n – суммарные концентрация раствора и сорбента. $K'_C = K_C$ – концентрационные константы ионообменного равновесия.

Экспериментальная часть

Термодинамическая константа ионообменного равновесия для разновалентных ионов, рассчитанная по формуле (1), не зависит от концентрации раствора и для расчёта этой величины не требуется определения коэффициента активности.

В таблице сведены значения термодинамической константы ионообменного равновесия для исследованных систем, рассчитанные по формулам, приведённым в [8]. Как видно из таблицы, значения термодинамической константы равновесия для Ni²⁺ и Cr³⁺ ионов на исследуемых сорбентах, эквивалентная концентрация которых изменялась от 0,01 до 0,3N, т.е. почти в 30 раз, совпадают в пределах ошибки эксперимента.

Это результат того, что изменение концентрации раствора не приводит к сколько-нибудь заметному изменению отношения коэффициентов активности обмениваемых ионов, т.е.

$$\frac{\gamma_{\text{Na}^+}}{\gamma_{\text{Cr}^{3+}}} = \text{const}, \quad \frac{\gamma_{\text{Na}^+}}{\gamma_{\text{Ni}^{2+}}} = \text{const}.$$

Графики зависимости коэффициента селективности (K) от эквивалентной доли сорбируемых ионов в фазе сорбента (\bar{N}), т.е. $K^* \lg k = f(\bar{N})$, приведены на рис. 1 и 2, являются хорошим подтверждением того, что при проведении обмена из растворов с различной эквивалентной концентрацией свойства ионов в сорбенте не зависят от концентраций раствора.

Таблица 1

Значения термодинамической константы ионообменного равновесия для ионов Cr^{3+} и Ni^{2+} на исследуемых сорбентах

Система ионного обмена	С, г-экв./л		$K_{\text{ср}}$	Система ионного обмена	С, г-экв./л		K	$K_{\text{ср}}$
Природный бентонит+ Cr^{3+}	0,01	0,731	0,762	Природный бентонит+ Ni^{2+}	0,01	0,592	0,627	
	0,10	0,764			0,10	0,613		
	0,30	0,792			0,30	0,676		
Na-бентонит+ Cr^{3+}	0,01	0,808	0,823	Na-бентонит+ Ni^{2+}	0,01	0,596	0,644	
	0,10	0,826			0,10	0,661		
	0,30	0,834			0,30	0,674		
Na-клиноптиллолит+ Cr^{3+}	0,01	0,860	0,882	Na- клиноптиллолит + Ni^{2+}	0,01	0,707	0,740	
	0,10	0,880			0,10	0,748		
	0,30	0,908			0,30	0,757		
Катионит Dowex M-4195+ Cr^{3+}	0,01	0,832	0,866	Катионит Dowex M-4195+ Ni^{2+}	0,01	0,691	0,703	
	0,10	0,873			0,10	0,706		
	0,30	0,894			0,30	0,714		

Изменение свободной энергии или изобар-изотермического потенциала ΔG^0 в реакции ионного обмена определяется следующим выражением в условии расчёта K_T по уравнению (1)

$$\Delta G^0 = - \frac{2,3RT}{Z_A \cdot Z_B} \lg K_T \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная, 8,3143 дж.град.⁻¹моль⁻¹, K_T – термодинамическая константа ионообменного равновесия, T – температура среды, °K, Z_A , Z_B – заряды обменивающихся ионов. Стандартная энтропия реакции ΔS^0 изменение энтальпии ΔH^0 рассчитываются по формуле [4] на основании изменения энергии Гиббса:

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \quad (3)$$

$$\Delta H^0 = E_A - RT \quad (4)$$

В таблице 2 даны значения ряда термодинамических параметров энергии активации обмена (E_a), изменения свободной энергии (ΔG^0), изменения энтальпии (ΔH^0) и энтропии (ΔS^0) для обмена выше исследованных ионов вышеуказанных сорбентов.

Литературные данные свидетельствуют о том, что для ионообменных процессов, идущих с высокой скоростью, значения энергии активации и свободной энергии должны быть минимальными [2]. Это хорошо подтверждается на примере обмена ионов натрия на Ni^{2+} , идущего с высокой скоростью, по отношению к ионам Cr^{3+} на Na-клиноптиллолите и Na-бентоните. При обмене между одновалентными ионами замещение любого катиона на катион с большим атомным номером сопровождается уменьшением содержания воды в цеолите, и бентоните и соответственно возрастанием энтропии.

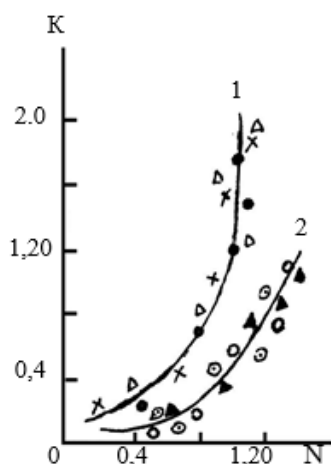


Рис. 1. Зависимость коэффициента селективности (K) от эквивалентной доли (N) сорбируемых ионов в фазе сорбента

1. Ni^{2+} : Δ -0,30 N ; X -0,10 N ; \bullet -0,01 N
2. Cr^{3+} : \circ -0,30 N ; \ominus -0,01 N ; $\omin�$ -0,01 N

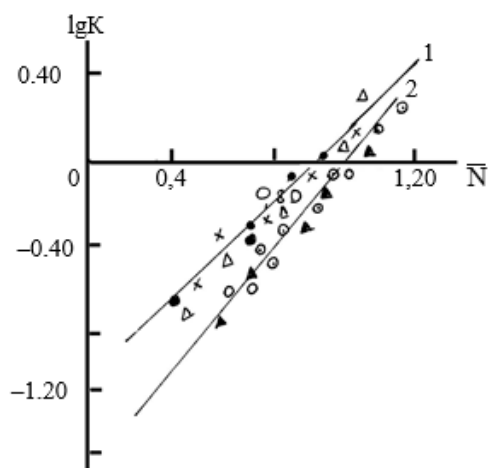


Рис. 2. Зависимость логарифма коэффициента селективности (K) от эквивалентной доли (\bar{N}) сорбируемых ионов 1. Ni^{2+} , 2. Cr^{3+} (обозначения те же, что и на рис. 1)

Таблица 2

Значения ряда термодинамических параметров (E_a , ΔG^0 , ΔH^0 , ΔS^0) для обмена ионов Ni^{2+} и Cr^{3+} на природных и синтетических сорбентах

Система	E_a , кдж/г-ион	ΔG^0 , кдж/г-ион	ΔH^0 , кдж/г-ион	ΔS^0 , дж/К·г-ион	Система	E_a , кдж/г-ион	ΔG^0 , кдж/г-ион	ΔH^0 , кдж/г-ион	ΔS^0 , дж/К·г-ион
Природный бентонит+ Cr^{3+}	24,461 6	1,9166	12,743 1	46,6311	Природный бентонит+ Ni^{2+}	22,6643	2,9369	14,7721	51,4439
Na-бентонит+ Cr^{3+}	30,411 8	4,8819	21,692 4	59,1911	Na-бентонит+ Ni^{2+}	24,8312	3,6119	19,7318	66,7341
Na-клинооптиллолит+ Cr^{3+}	23,442 8	3,8811	18,612 3	49,1931	Na-клинооптиллолит+ Ni^{2+}	20,2298	2,7743	16,7635	45,7617
Катионит Dowex M-4195+ Cr^{3+}	12,491 8	2,0218	10,694 3	31,8891	Катионит Dowex M-4195+ Ni^{2+}	14,4418	1,6946	12,8688	36,6243

Выводы

1. Из рассчитанных термодинамических констант ионообменных равновесий для ионов Ni^{2+} и Cr^{3+} установлено, что эти значения для 1,2-1,3-валентного обмена не зависят от концентрации раствора при изменении последнего в широком интервале (0,01-0,3 N).

2. Рассчитаны значения ряда термодинамических параметров; энергии активации обмена - E_a , изменения свободной энергии (ΔG^0), энтальпии (ΔH^0), энтропии (ΔS^0) для Cr^{3+} и Ni^{2+} ионов на исследуемых сорбентах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аннагиев, М.Х. Исследование адсорбции фенола на модифицированных формах бентонита / М.Х. Аннагиев, Р.С. Сафаров, Х.М. Адыгезалов, А.И. Ягубов // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – Вып. 1. – С. 172–174.
2. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек. – Изд. «Мир», 1976. – 781 с.
3. Гейдарзаде, Г.М. Применение Даш-Салахлинского бентонита в сорбционных процессах / Г.М. Гейдарзаде, С.А. Мамедова, У.Г. Османова и др. // Наука и Мир. – Москва, 2016. – № 11 (39). – Т. 1. – С. 46–50.
4. Даниельс, Ф. Физическая химия / Ф. Даниельс, Р. Альберти. – М.: Высшая школа, 1967. – 784 с.
5. Исмаилова, В.Э. Закономерности равновесия сорбции ионов свинца (Pb^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) из растворов на природных и синтетических сорбентах / В.Э. Исмаилова, А.И. Ягубов, Ф.Т. Махмудов и др. // Прикладная химия. – Санкт-Петербург, 2016. – Т. 89. – Вып. 1. – С. 56–60.
6. Мамедова, С.А. Адсорбционная и коллоидно-химическая характеристика природного бентонита и его некоторых монокатионзамещенных форм при термической обработке / С.А. Мамедова, Л.А. Биннатова, Н.М. Мурадова и др. // Хим. Промышленность. – Москва, 2016. – Т. 93. – № 1. – С. 45–49.

7. Махмудов, Ф.Т. Термодинамика обмена ионов серебра, никеля на модифицированных природных цеолитах / Ф.Т. Махмудов, С.М. Рустамов. – Докл. АН Азерб. ССР, 1985. – № 5. – С. 49–53.
8. Толмачев, А.М. Некоторые вопросы термодинамики ионного обмена / А.М. Толмачев, В.И. Горшков // Журнал Физ. Химии. – 1966. – Т.40. – № 8. – С. 1924–1929.
9. Arvand, M. Comparative study for the removal of oxadiazon from aqueous solutions by adsorption of chitozan and activated carbon / M. Arvand, H. Tajmehri, A.I. Yaqubov, et al. // Analytical letters. – 2009. – V. 42. – #6. – P. 856–869.
10. Barrer, R.M. Ion-exchange in feldspaths as a solid-state / R.M. Barrer, Y.D. Falkonez // Proc. Royal. Soc. Ser. A. Math and phys. Sci. – 1956. – V. 236. – No. 1205. – P. 227–249.
11. Mamedova, S.A. Adsorption and colloidal chemical characteristics of Dash-Salahly natural bentonite and its some monocation substituted forms at thermal treatment / S.A. Mamedova, E.M. Teymurova, N.M. Muradova, et al. // European journal of Analytical and applied chemistry. – Austria. – 2016. – No. 1. – P. 22–23.
12. Nasser, S. Adsorption of transition metal ions simulated wastewater onto thermally activated Na-bentonite / S. Nasser, G.R. Kiani., A.I. Yaqubov, et al. // Parlar Scientific Publications. – Vol. 23. – No. 7. – P. 1–5.

Материал поступил в редакцию 10.10.18.

REPLACEMENT THERMODYNAMICS OF Cr³⁺ AND Ni²⁺ IONS IN NATURAL AND SYNTHETIC SORBENTS

E.E. Jabarov¹, A.I. Yagubov², F.T. Mahmudov³, S.M. Mamedova⁴, S.R. Mamedova⁵

¹ Junior Research Worker, ² Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory,

³ Doctor of Chemical Sciences, Leading Research Worker,

⁴ Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Worker,

⁵ Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer

Academician M. Naghiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
of Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku), Azerbaijan

Abstract. Thermodynamic constants of ion-exchange equilibria for Cr³⁺ and Ni²⁺ ions on sorbents obtained on the basis of Na-forms of synthetic and natural sorbents using the Tolmachev and Gorshkov equations are calculated in the article. The values of free energy and other thermodynamic parameters are calculated on the basis of these data.

Keywords: ions, Cr (III), Ni (II), sorbent, bentonite, cation exchanger, clinoptilolite, thermodynamic parameters.

УДК 66.081; 531.3; 549.67; 546.711

ДИНАМИКА СОРБЦИИ ИОНОВ Pb^{2+} И Mn^{2+} ИЗ РАСТВОРОВ, МОДЕЛИРУЮЩИХ СОСТАВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТАХ

В.А. Исмаилова, Ф.Т. Махмудов, А.И. Ягубов, Н.М. Мурадова, А.Н. Нуриев

Институт Катализа и Неорганической Химии имени академика М. Нагиева

НАН Азербайджана (Баку), Азербайджан

Аннотация. Совпадение выходных кривых с теоретически вычисленными свидетельствуют о возможности использования теоретического метода, предложенного Сенявиным и его сотрудниками для расчёта многих аналогичных процессов при различных условиях. Расчёты динамических процессов на цеолите и бентоните имеют практическое значение, так как полученные расчётные данные являются оптимальными.

Ключевые слова: клиноптилолит, бентонит, динамика, сорбции.

Введение

Адсорбция растворенных веществ при фильтровании жидкостей через плотный слой зёрен адсорбента, загруженных в колонку, представляет собой один из наиболее распространённых методов извлечения веществ из раствора. Адсорбционное динамическое фильтрование широко используется в технологии глубокой очистки промышленных сточных вод от неорганических и органических загрязнений. Результаты кинетических и равновесных характеристик Na- формы клиноптилолита и термообработанного при 400 °С бентонита при извлечении ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} , приведённые в ранних работах [2, 3], позволяет оценить эффективность работы указанных сорбентов в динамических опытах вместо дорогого синтетического ионообменного материала КУ-2-8 в H и Na-формах [1]. Закономерности динамики сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} были исследованы на Na-формах клиноптилолита и бентонита при концентрациях этих ионов в растворах, соответствующих их концентрациям в производственных сточных водах.

Экспериментальная часть

Навески указанной формы цеолита и бентонита (в опытах навеска составляла 10 г) были загружены в стеклянные колонки с разными диаметрами. Затем путем лёгкого и частого постукивания стеклянной палочкой получали достаточно равномерно уплотнённый слой цеолита и бентонита в колонках без пузырьков воздуха. Колонку, приготовленную таким образом, подсоединяли к заранее собранной установке для исследования динамики сорбции ионов переходных металлов при низких концентрациях в растворах. Установка имела приспособление для регулирования скорости фильтрации раствора и поддержания ее постоянной в течении опыта. Для этой цели был использован один из вариантов сосуда Мариотта. Сосуд состоял из обычной делительной воронки (объем около одного литра) с опущенной в неё тонкой трубкой. Воронка, наполненная растворами ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} выполняла роль питающего сосуда системы. Она в начале опыта при помощи резиновой трубки подсоединялась к входу колонки. При открывании крана в нижней части воронки раствор из неё наполнял колонку и резиновую трубку одновременно вытеснял находящийся в ней воздух вверх в питающий сосуд. В опытах нужную нам скорость фильтрации раствора получали путем изменения напора жидкости над слоем сорбента.

Были получены выходные кривые ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} при различных зернениях сорбента, различных скоростях фильтрации и концентрациях растворов. Для снятия выходных кривых растворы соответствующих ионов фильтровались через колонки с навесками цеолита и бентонита до появления на выходе колонок раствора с исходной концентрацией указанных ионов, т.е. до полного насыщения слоя сорбента растворами соответствующих ионов.

С начала фильтрации производили сбор вытекающих порций фильтрата в мерные приёмники (по 25 или 50 мл) и в аликвотных частях собранных порций определяли содержание исследуемых ионов.

По результатам опытов строили выходные кривые сорбции указанных ионов в координатах $C/C_0 - V$ или $C/C_0 - t$, где C – концентрация ионов в вытекающих порциях, мг-экв/мл; C_0 – исходная концентрация растворов ионов; мг-экв/мл; V – объёмы вытекающих порций, мл; t – время, соответствующее к объёмам V , мин.

По окончании опытов растворы ионов, находящиеся в порах насыщенных колонн, удаляли бензолом и определяли их объем (V_0) от объёмной скорости к линейной скорости, переход был осуществлён по формуле $V = VL/V_0$, где V – объёмная скорость фильтрации раствора ионов, мл/мин; L – высота слоя сорбента в колонке, см; V – линейная скорость фильтрации, см/сек.

Результаты и обсуждение

На рисунках 1-3 приведены выходные кривые сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при различных концентрациях, скоростях фильтрации растворов, а также зернениях сорбента. Решение систем уравнений для динамики сорбции различных ионов из растворов на ионообменных материалах,

полученные в работах М.М. Сенявина и сотрудников, представляет собой семейство безразмерных выходных кривых в координатах C/C_0 – t . Авторами эти решения были использованы для расчёта конкретных задач динамики обмена на синтетических ионитах и цеолитах [4, 5].

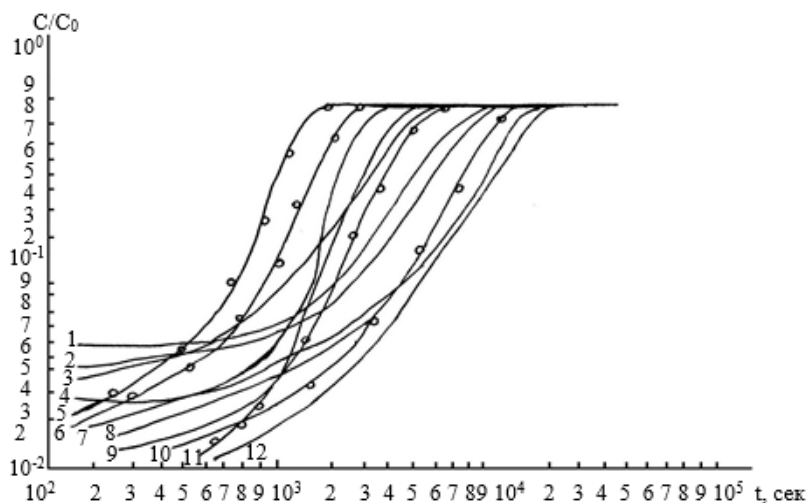


Рис. 1. Экспериментальные (сплошные линии) и расчётные (точки) выходные кривые ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при различных скоростях фильтрации:
 Na-клиноптилолит + Pb^{2+} : 1- 20 мл/мин; 4- 10 мл/мин 7- 5 мл/мин.
 Na-клиноптилолит + Mn^{2+} : 2- 20 мл/мин; 6- 10 мл/мин 8- 5 мл/мин
 Na-бентонит + Pb^{2+} : 3- 20 мл/мин; 5- 10 мл/мин 10- 5 мл/мин.
 Na-бентонит + Mn^{2+} : 9- 20 мл/мин; 11- 10 мл/мин 12- 5 мл/мин.

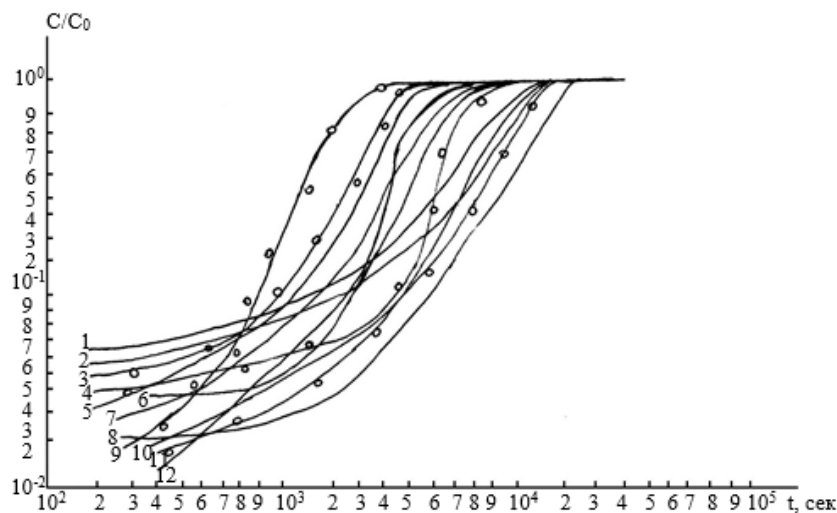


Рис. 2. Экспериментальные (сплошные линии) и расчётные (точки) выходные кривые ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при различных зернениях фильтрации:
 Na-клиноптилолит + Pb^{2+} : 1- 0,066 см; 3- 0,041 см; 6- 0,021 см.
 Na-клиноптилолит + Mn^{2+} : 2- 0,066 см; 3- 0,041 см; 7- 0,021 см.
 Na-бентонит + Pb^{2+} : 5- 0,066 см; 9- 0,041 см; 11- 0,021 см.
 Na-бентонит + Mn^{2+} : 8- 0,066 см; 10- 0,041 см; 12- 0,021 см.

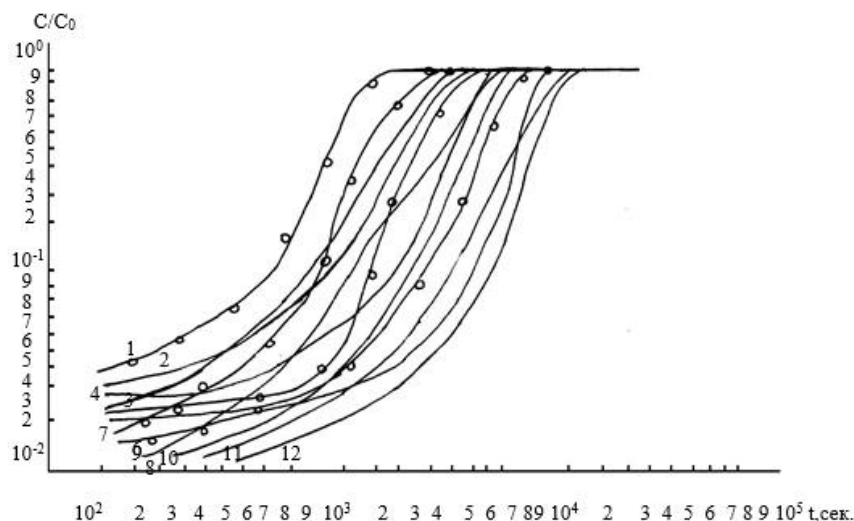


Рис. 3. Экспериментальные (сплошные линии) и расчётные (точки) выходные кривые ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при различных концентрациях фильтрации:
 Na-клиноптилолит + Pb^{2+} : 1- $1,0 \cdot 10^{-3}$ N; 4- $5 \cdot 10^{-4}$ N; 7- $1 \cdot 10^{-4}$ N
 Na-клиноптилолит + Mn^{2+} : 2- $1,0 \cdot 10^{-3}$ N; 5- $5 \cdot 10^{-4}$ N; 9- $1 \cdot 10^{-4}$ N
 Na-бентонит + Pb^{2+} : 3- $1,0 \cdot 10^{-3}$ N; 8- $5 \cdot 10^{-4}$ N; 11- $1 \cdot 10^{-4}$ N
 Na-бентонит + Mn^{2+} : 6- $1,0 \cdot 10^{-3}$ N; 10- $5 \cdot 10^{-4}$ N; 12- $1 \cdot 10^{-4}$ N

Сопоставления экспериментальной кривой $C/C_0 - f(t)$ с теоретической $C/C_0 - \varphi(T)$, для чего совмещают ось C/C_0 теоретических и экспериментальных кривых и перемещают экспериментальный график в направлении оси абсцисс (ось t) до полного совпадения экспериментальной кривой с одной из теоретических. Для одного и того же фиксированного значения величины C/C_0 находят t размерное (экспериментальная – сплошная линия) и T безразмерное (теоретическая кривая – точки). По формуле, определяющей связь размерного и безразмерного времени, рассчитывают коэффициент диффузии.

В этом случае для расчёта коэффициентов диффузии был использован подход, когда на основе сопоставления теоретических полученных решения динамики, сорбции в области смешанной диффузии и линейной изотермы. По формуле $L = \frac{\beta \cdot l}{Y}$ определяли значения безразмерной длины колонки (l – размерная длина ко-

лонки). Затем по формуле $T = \frac{t \cdot \beta}{K_d}$ рассчитывали значения безразмерного времени (T), где t – экспериментальные значения времени, соответствующие на выходных кривых определённым значениям C/C_0 . После этого для C/C_0 в интервале от 0,01 до 1,0 по формуле $t_o = \frac{T \cdot \alpha}{\beta \cdot C_o}$ ёмкость сорбента, мг-экв/г., C_o – исходная концентрация раствора мг-экв/мл. рассчитываются значения размерного времени.

Внешне диффузионный кинетический коэффициент β рассчитывается по формуле (1). Входящая в эту формулу величина порозности ε была определена нами экспериментально [4]. Значение порозности ε для Na-клиноптилолита равно 0,33, Na-бентонита – 0,39, а на основе величины $\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^{1,53}$ для Na-клиноптилолита – 1,64, а для Na-бентонита, термообработанного при 400°C – около 1,86.

Ранее на основании кинетических опытов были рассчитаны значения коэффициента внутренней диффузии для исследованных ионов. Имела возможность рассчитать значения коэффициента внутренней диффузии (D) для исследуемых ионов на основании динамических опытов при различных скоростях фильтрации. Результаты расчёта по этим кривым для $C_o = 1,0 \cdot 10^{-4}$ N и Mz, входящие в формулу (1) приведены в таблице. Как видно из таблицы, совпадение значений коэффициента внутренней диффузии. Полученные в статических и динамических условиях вполне удовлетворительны. Указанные обстоятельства являются хорошим подтверждением смешанно-диффузионного механизма сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} на Na-клиноптилолите и Na-бентоните.

В области средних чисел Рейнольдса, обычно реализуемых в ионообменном эксперименте для области $2 < Re < 30$ внешнедиффузионный кинетический коэффициент рассчитывается по формуле 1 [6].

$$\beta = 4,86 \cdot 10^{-4} \frac{(1 - \varepsilon)^{1,53}}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\left(\frac{Z_1}{\lambda_1} + \frac{Z_2}{\lambda_2}\right)^{2/3}} \cdot \frac{v^{0,47}}{d^{1,53}}, \quad (1)$$

где ε – порозность сорбента; Z_1 и Z_2 – заряды обменивающихся ионов; λ_1 и λ_2 – эквивалентная электропроводность ионов $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^2$; v – линейная скорость фильтрации раствора, $\text{см}/\text{сек}$; d – диаметр зерна сорбента, см .

Таблица

Значение M , входящий в формулу (1) и коэффициентов внутренней диффузии, полученные в статических и динамических условиях для исследованных ионов на Na-клиноптилолите и Na-бентоните

Система	M	v , см/сек	β , сек. ⁻¹	$H = \frac{\beta \cdot r^2}{D \cdot Kd}$	D , из статических опытов, см ² /сек.	D , из динамически х опытов, см ² /сек.
Na-клиноптилолит+Pb ²⁺	16,4423	0,5952	0,2163	1,6411	1,510·10 ⁻⁸	1,62·10 ⁻⁸
		0,9920	0,3454	3,4253		1,71·10 ⁻⁸
		1,8115	0,4962	5,3614		1,79·10 ⁻⁸
Na-бентонит + Pb ²⁺	11,6821	0,6316	0,2771	1,7428	1,614·10 ⁻⁸	1,59·10 ⁻⁸
		1,1219	0,3946	4,1116		1,77·10 ⁻⁸
		2,0345	0,5218	6,1844		1,91·10 ⁻⁸
Na-клиноптилолит+ +Mn ²⁺	10,8633	0,6316	0,2914	1,7823	1,689·10 ⁻⁸	1,78·10 ⁻⁸
		0,9744	0,4208	4,0819		1,84·10 ⁻⁸
		1,6681	0,5442	5,9642		1,96·10 ⁻⁸
Na-бентонит + Mn ²⁺	9,7826	0,6716	0,3126	2,0891	4,387·10 ⁻⁸	4,91·10 ⁻⁸
		0,9922	0,4683	5,6348		5,19·10 ⁻⁸
		1,7716	0,6019	6,3914		5,89·10 ⁻⁸

После этого рассчитывается H по формуле (2). Если $H < 1$, то скорость процесса определяется внешней диффузией, если $H > 1000$ – внутренней диффузией. При $1 < H < 1000$ на скорость процесса вносит вклад смешанная диффузия (внешняя и внутренняя).

$$H = \frac{\beta \cdot r^2}{D_{\text{внутр.}} \cdot Kd}, \quad (2)$$

где r – радиус зерна сорбента, см ; $D_{\text{внутр.}}$ – коэффициент внутренней диффузии, $\text{см}^2/\text{сек}$; Kd – предельный коэффициент распределения, $\text{мг}/\text{мл}$. Значение $M = \frac{1}{\left(\frac{Z_1}{\lambda_1} + \frac{Z_2}{\lambda_2}\right)^{2/3}} \cdot \frac{v^{0,47}}{d^{1,53}}$ рассчитывается на основании скорости фильтрации.

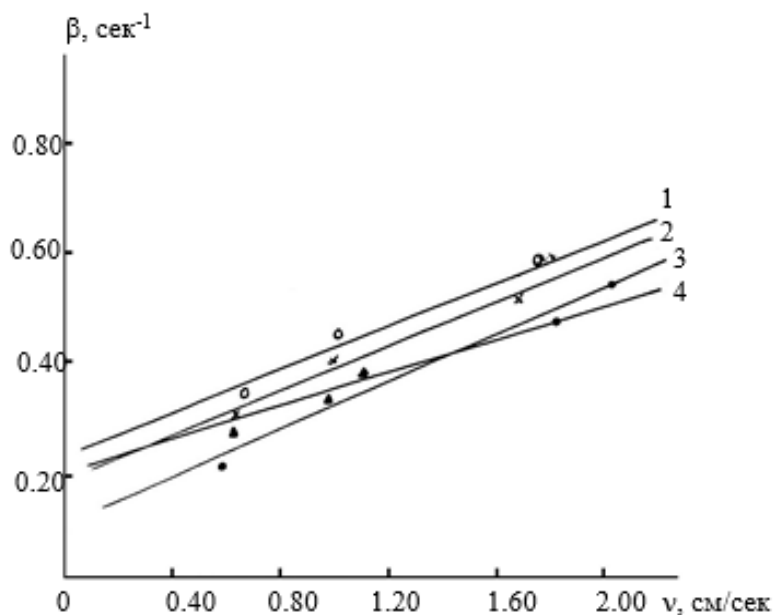


Рис. 4. Зависимость внешнедиффузионного кинетического коэффициента β от скорости фильтрации раствора для ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при концентрации ионов $1 \cdot 10^{-3}$ N.
 1 Na-клиноптилолит + Mn^{2+} ; 2. Na-бентонит + Pb^{2+} ;
 Na-клиноптилолит + Pb^{2+} ; 4. Na-бентонит + Mn^{2+} .

На рисунке 4 для ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} приведены графики зависимости внешне диффузионного кинетического коэффициента β от скорости потока раствора, что хорошо подтверждает существование линейной зависимости между этими параметрами, уравнением (1).

Таким образом, можно прийти к выводу о том, что теоретические расчёты М.М. Сенявина и сотрудников для смешанно-диффузионной кинетики обмена исследуемых ионов переходных элементов на модифицированных природных клиноптилолите и бентоните при линейной изотерме вполне пригодны для описания динамики сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов при низких концентрациях указанных ионов в растворах. Эти теоретические расчёты в дальнейшем будут использованы при концентрировании и извлечении тех же ионов из жидких отходов модельного и производственного характера.

Выводы

1. Показано, что теоретические уравнения и расчёты, использованные в работах М.М. Сенявина и сотрудников для обмена ионов в смешанно-диффузионной области вполне пригодны для динамики обмена Pb^{2+} и Mn^{2+} ионов на Na-клиноптилолите и Na-бентоните при низких концентрациях указанных ионов в растворах.
2. Разработана теоретическая и экспериментальная база для осуществления сорбционного извлечения ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмаилова, В.А. Динамика сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} из растворов на модифицированных природных сорбентах / В.А. Исмаилова, Ф.Т. Махмудов, А.И. Ягубов и др. // Тезисы докладов республиканской научной конференции, посвящённой 90-летию юбилею академика Тогрула Шахтагтинского, октябрь 2015. – С. 105.
2. Исмаилова, В.А. Закономерности кинетики сорбции ионов Pb^{2+} и Mn^{2+} на природных и синтетических сорбентах / В.А. Исмаилова, А.И. Ягубов, Ф.Т. Махмудов и др. // Азерб. хим. Журнал. – 2015. – № 3. – С. 98–102.
3. Исмаилова, В.А. Закономерности равновесия сорбции ионов свинца (Pb^{2+}) и марганца (Mn^{2+}) из растворов на природных и синтетических сорбентах / В.А. Исмаилова, А.И. Ягубов, Ф.Т. Махмудов и др. // Прикладная химии. – 2016. – Т. 80. – Вып. 1. – С. 56–60.
4. Сенявин, М.М. Основы расчёта и оптимизации ионообменных процессов / М.М. Сенявин, Р.Н. Рубинштейн, Е.В. Веницианов и др. – М.: Наука, 1972. – 175 с.
5. Сенявин, М.М. Теоретические основы деминерализации пресных вод / М.М. Сенявин, Р.Н. Рубинштейн, И.В. Комарова и др. – М.: Наука, 1975. – 325 с.
6. Fletcher P., Townsend R.P. Exchange of hydrated and amminated silver (1) ions in synthetic zeolites X, Y and mordenite / P. Fletcher, R.P. Townsend // I. Chromatoqr. – 1980. – V. 201. – P. 93–105.

Материал поступил в редакцию 18.09.18.

**SORPTION DYNAMICS OF Pb²⁺ AND Mn²⁺ IONS
FROM SOLUTIONS MODELING THE COMPOSITION
OF INDUSTRIAL LIQUID WASTES ON MODIFIED NATURAL SORBENTS**

V.A. Ismayilova, F.T. Mahmudov, A.I. Yagubov, N.M. Muradova, A.N. Nuriyev

Academician M. Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry of NAS of Azerbaijan (Baku), Azerbaijan

***Abstract.** Sorption dynamics of Pb²⁺ and Mn²⁺ ions from solutions on modified natural clinoptilolite and bentonite in linear isotherm of sorbed ions was studied. Coincidence of output curves with theoretically calculated ones indicates the possibility of using theoretical method by Senyavin and his employees to calculate many similar processes under different conditions. Calculations of dynamic processes on zeolite and bentonite have a practical value, since obtained calculation data are optimal.*

***Keywords:** clinoptilolite, bentonite, dynamics, sorption.*

УДК 549.67; 553.611; 531.3.54673; 669.733

КИНЕТИКА СОРБЦИИ ИОНОВ Fe^{3+} И Mn^{2+} ИЗ МОДЕЛЬНЫХ КАНАЛЬНЫХ ВОД НА Na- БЕНТОНИТЕ

Л.Г. Курбанова¹, А.И. Ягубов², Т.А. Салимова³

¹ научный сотрудник, ² доктор химических наук, заведующий лабораторией,

³ кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник

Аз НИИ Водных Проблем,

Институт Катализа и Неорганической Химии имени

академика М. Нагиева НАН Азербайджана (Баку), Азербайджан

***Аннотация.** Были изучены закономерности кинетики сорбции ионов Fe^{3+} и Mn^{2+} из модельных канальных вод на Na-бентоните. Опираясь на процесс сорбции, были рассчитаны практические оценки ряда основных кинетических параметров. На основе результатов кинетических параметров процесса сорбции этих ионов из растворов, были выяснены результаты, связанные со скоростью процессов.*

***Ключевые слова:** натрий-бентонит, кинетика, сорбент, термодинамические параметры, модельные канальная вода.*

Введение

Изучение процесса ионного обмена на Na- бентоните имеет большое значение для использования тех самых сорбентных материалов в качестве ионного обмена. Определение закономерности кинетики ионного обмена прежде всего определяет образование равновесия лимитирующей стадии процесса, что в свою очередь проясняет механизм ионного обмена, а последнее в свою очередь связывается с процессом оптимизации [1, 2, 4, 12, 13].

Практическая часть

Путем ионного обмена были получены образцы монокатионной формы Na-бентонита и определены его физические характеристики [13]. Способом калибровки атомно-адсорбционного спектрометра (ААС); для каждого из исследуемых катионов, изготовленных в стандартной консистенции (6), были нарисованы дуги, разделённые на градусы. Оценки, показанные в таблице 1, показывают линейную связь густоты каждой из катионов Fe^{3+} (0,18 мг/л), Mn^{2+} (0,06 мг/л), с обозначением адсорбции А иона того же металла и обращая внимание на коэффициент корреляции в этой линейной зависимости, показывается правильная корреляция адсорбционных информаций, использующихся в стандартной консистенции.

Таблица 1

Линейные уравнения и коэффициенты корреляции, полученные от калибровки аппарата ФААС

Fe^{3+} ион	Mn^{2+} ион	концентрация, мг/л
0/0504	0/0322	0,5
0/0955	0/0683	1,0
0/2118	0/1366	2,0
0/3024	0/2054	3,0
0/3985	0/2770	4,0
0/4966	0/3458	5,0
$A=0/098C+0/002$	$A=0/069C+0/002$	Линейные уравнения
0/997	1/000	R^2

На каждой стадии исследований, до индексаций образцов, калибровка аппарата происходит в стандартном растворе в линейной области.

Надо отметить, что если количество остатков ионов металла в растворе превышает дозволённый верхний предел, то перед тем, как отметить количество сорбции, осуществляется стадия разжижения. Скорость адсорбции является одним из параметров, имеющих очень важную роль в разъяснении этого процесса. Так, результатом извлечения ионов тяжелых металлов из состава канальных вод, должны быть высокая скорость и завершение кратковременной реакции [15] подчиняясь периоду растворения, естественная адсорбция всех исследуемых ионов и их адсорбция на Na-бентоните происходит быстро. В связи с этим, период сорбции исследуемых ионов завершается в течение 40-60 минут. Влияние pH среды на скорость адсорбции тоже велика. К тому же, изменение скорости адсорбции ионов, в зависимости от времени, может выражаться уравнениями, Мориса, Вебера и Еловича [15]:

$$q_t = K_i \sqrt{t} \quad (1)$$

Здесь, q_t —это ион металла (ммоль/г), который сорбируется в определённом количестве сорбента; t – время (сек); K_i – количество, принимается как скорость стабильного распространения образцов на рисунках 1(8).

На основе показателей, количество K_i бывает 0,031 ммоль/г–мин^{-1/2} для ионов железа (Fe^{3+}), а для ионов марганца (Mn^{2+}) составляет 0,0109 ммоль/г–мин^{-1/2}. Уравнение (2), соответствующее первой степени таково:

$$dq/dt = K_i(q_c - q_t)K_i(\text{мин}^{-1}) \quad (2)$$

При доказательстве известности скорости адсорбции первой степени, количество ионов металла (ммоль/г) q_t подверженных адсорбции, бывает в состоянии равновесия в течение t (мин), а также вместе с количеством ионов металла (ммоль/г) q_c , подверженных адсорбции металла. После определённой интеграции, когда $t=0$, а $q_t=0$ и $t=t$ принимают условие $q_t = q_c$, уравнение (2) превращается в уравнение (3):

$$\log(q_c - q_t) = \log q_c - (K_i / 2, 303)t \quad (3)$$

Относительный коэффициент $76 q$, образованный от кинетического уравнения, не считается приемлемым. Примером служит то, что этот коэффициент меньше того количества предназначенных для исследуемых ионов. Позволяет с лёгкостью комментировать модель адсорбции. Кинетические результаты исследуемых ионов анализируются посредством кинетики второй стадии, похожей с адсорбентом [10].

Это можно вычислить формулой (4)

$$dq /dt = K_2 (q_c - q_t)^2 \quad (4)$$

Здесь, K_2 – (ммоль⁻¹d⁻²) является постоянной скоростью. Уравнение, указанное выше, получается путем интеграции. Если мы примем $q_t=0$, $t=0$, а

$$q_t=q_i, t=t).$$

$$(1/q_c) - q_t = (1 / q_c) + K_2 t \quad (5)$$

Если пересмотреть уравнение выше, то 5-е уравнение с лёгкостью превращается в 6-ую зависимость в линейной форме.

$$t/q_t = (1/V_0) + (1 / q_c) t \quad (6)$$

$V_0 = K_2 q$ – является начальной скоростью адсорбента, (мин⁻¹ ммоль г⁻¹) в таком состоянии, что (г ммоль⁻¹ мин⁻¹) K - постоянная скорость адсорбента 2 степени (ммольг⁻²) q_t (иона металла, который адсорбируется. В таблице 2 дан показатель кинетической адсорбции иона Fe^{3+} и Mn^{2+} .

Таблица 2

Представленные кинетические показатели для адсорбции ионов Fe^{3+} и Mn^{2+}

t(мин.)		$\sqrt{t} \left(\text{мин.} \frac{1}{2} \right)$		Q_t (ммоль)		t/q _t (мин.г/ммоль)	
Fe^{3+}	Mn^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}	Fe^{3+}	Mn^{2+}
0	0	0	0	0	0	-	-
10	10	3/670	3/160	0/312	0/298	33/403	31/398
20	20	4/470	4/470	0/434	0/423	48/654	46/644
30	30	5/480	5/480	0/468	0/458	66/256	65/256
45	45	6/706	6/706	0/533	0/518	88/114	86/112
60	60	7/740	7/740	0/617	0/596	101/998	99/96
75	75	8/66	8/666	0/648	0/623	124/524	109/499

В таблице 2 показана кинетическая характеристика адсорбированных ионов в течение определённого промежутка времени. На рисунках (а) и (б) отражены кинетические показатели 2 адсорбционной стадии, в соответствии с внутренним диффузионным транспортом ионов по Морис и Веберу. Согласно количественным расчётам для Fe^{3+} $V_0=0,43$ мин⁻¹ ммоль /г, $q=0,739$ $V_0=0,44$ мин⁻¹ ммоль/г, $q_c=1,40$ ммоль/2, а $K_2= 2,9 \times 10^1$ г ммоль⁻¹ мин⁻¹.

Исследователи выяснили что, скорость адсорбции устанавливается посредством некоторых факторов и состоит из нескольких этапов [10].

В общем, в зависимости от природы твёрдой фазы, адсорбция ионов может происходить за счёт полярного

иона, гидрофоба, сил Ван-дер-Ваальса и водородной связи. Основываясь на все это, можем сказать, что самый важный фактор при использовании адсорбента – это поверхностная адсорбция. Так, после этого этапа могут выполняться другие стадии, тем самым может быть раскрыт механизм процесса [8, 10]. Количество этих этапов может подразделяться на 5 групп:

1. Проникновение адсорбционных частиц на слои, окружающие адсорбент.
2. Диффузия в гидродинамическую поверхность внешне играющую роль границы на этом слое.
3. Внутренняя диффузия от поверхности (диффузия в пространство внутри сорбента):
4. Загрузка (в состав этого может входить несколько механизмов);
5. Специальный ионный обмен. Обмен иона, входящего в центр ионного обмена ионом, находящимся внутри сорбента.

При достаточности массового процесса диффузионного (1) смещения концентрация имеет неограниченное влияние. В этот момент адсорбция происходит по мгновенным похожим механизмам [9] и передача происходит со скоростью. При определении адсорбционной скорости более правильным считается стадия (3). В этом случае процесс проходит со скоростью, поэтому поверхность адсорбента не загружается, два механизма может считаться определяющим этапом [10, 11].

В рисунках (а) и (б) даны передачи ионов внутри диффузии со способом Морис Вебер, это информирует о ходе адсорбции на поверхностном слое исследуемых ионов.

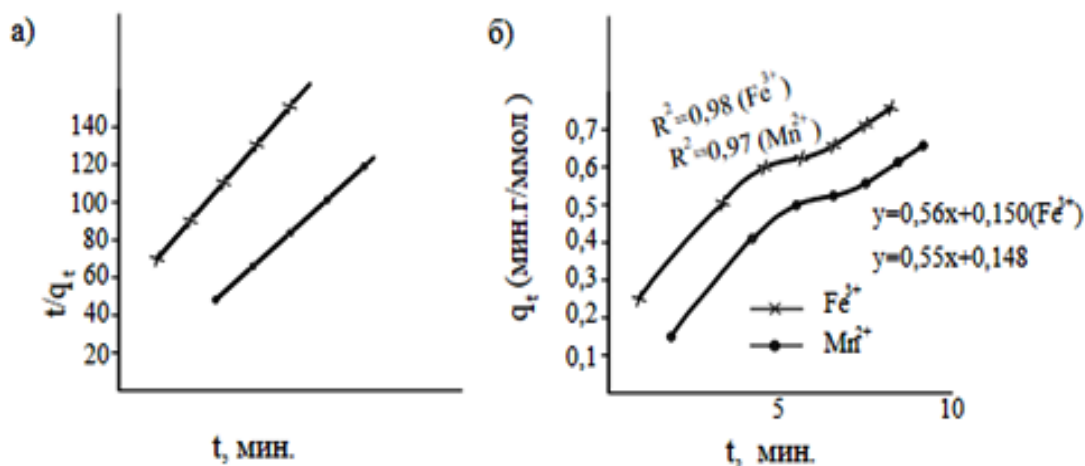


Рис. Внутреннего показателя транспортировки частиц Морис – Вебер (а) и второй степени адсорбционной сети ионов в Fe^{3+} и Mn^{2+} (б)

В объяснении по механизму адсорбции (H^0) доказано что, для иона Fe^{3+} происходит химическая, для иона Mn^{2+} и физическая, и химическая адсорбция адсорбента.

Выводы

Установлено что, передачи ионов внутри диффузии со способом Морис Вебер, это информирует о ходе адсорбции на поверхностном слое исследуемых ионов.

В объяснении по механизму адсорбции (H^0) доказано, что для иона Fe^{3+} происходит химическая, для иона Mn^{2+} и физическая и химическая адсорбция адсорбента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдиева-Алиева, Г.А. «Комплексное использование, управление и охрана водных ресурсов в Азербайджанской Республике. Материалы международной научно-практической конференции на тему «Чрезвычайные ситуации и безопасная жизнь» / Г.А. Абдиева-Алиева. – Баку, 2016.
2. Ильясова, Х.Н. Кинетика сорбции ионов кобальта (Co^{2+}) и кадмия (Ca^{2+}) из растворов на природных и синтетических сорбентах / Х.Н. Ильясова, А.Н. Нуриев, Ф.Т. Махмудов и др. // Азербайджанский химический журнал. – 2018. – № 1. – С. 88–95.
3. Курбанова, Л.Г. Изучение влияния отложений на дне р. Араз и канальных вод на окружающую среду. Материалы международной научно-практической конференции на тему «Водные ресурсы, гидротехнические сооружения и окружающая среда» / Л.Г. Курбанова, А.И. Ягубов, Т.А. Селимова. – Баку, 2017. – 15–16 марта. – 2 Ч. – С. 533–537.
4. Мамедов, Г.С. Экология, окружающая среда и люди / Г.С. Мамедов, М.Ю. Халилов. – «Наука». – Баку, 2016. – С. 362–364.
5. Aguado, J. Aqueous heavy metals removal by adsorption on amine-functionalized mesoporous silica / J. Aguado, J.M. Arsuaga, A. Arencibia // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – 163. – P. 213–221.
6. Ahmed, S.A. Removal of basic dye from waste-water using silica as adsorbent / S.A. Ahmed, R.N. Ram // Environmental Pollution. – 1992. – 77. – P. 79–86.

7. Al-Asheh, S. Sorption of cadmium other heavy metals by pine bark / S. Al-Asheh, Z. Duvnjak // Advanced Environmental Research. – 1997. – P. 1–194.
8. Ghorbani, F. Application of response surface methodology for optimization of cadmium biosorption in an aqueous solution by *Saccharomyces Cerevisiae* / Ghorbani F., Younesi H., Ghasempouri S.M. // Chemical Engineering Journal. – 2008. – 145. – P. 267–275.
9. Gundogan, R. Copper (II) adsorption from aqueous solution by herbaceous peat / R. Gundogan, B. Acemioglu, M.H. Alma // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004. – 269. – P. 303–309.
10. Imamoglu, M. Removal of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon from a new precursor hazelnut husks / M. Imamoglu, O. Tekir // Desalination. – 2008. – 228 (1-3). – P. 108–113.
11. Kurniawan, T.A. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals / T.A. Kurniawan, G.Y.S. Chan, W.H. Lo // Chemical Engineering Journal. – 2006. – 118 (1-2). – P. 83–98.
12. Nasser, S.A. Adsorption of copper (II) and cobalt (II) from model sewage onto modified bentonite. Environmental science / S.A. Nasser, A. Alemi, A.I. Yaqubov, et al. // An Indian journal Current Research Paper ESAIR. – 2014. – 9 (4). – P. 142-148.
13. Nasser, S.A. Kinetics and thermodynamics study of zinc ions adsorption on to modified nanobentonite / S.A. Nasser, G.R. Kiani, A.I. Yaqubov, et al. // Wulfenia journal, pnul tidisci Plinary wulfeniz DcCVOXF, Chemical Engineering. – 2016. – V. 82. – No. 12. – P. 820–826.
14. Weber, W.J. Kinetics of adsorption on carbon from solution / W.J. Weber, J.C. Morris // Journal Sanitary Engineering Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers. – 1963. – 89. P. 31–60.
15. Wu, P. Simultaneous removal of coexistent heavy metals from simulated urban stormwater using four sorbents: A porous iron sorbent and its mixtures with zeolite and crystal gravel / P. Wu, Y. Zhou // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – 168. – P. 674–680.

Материал поступил в редакцию 10.10.18.

SORPTION KINETICS OF Fe³⁺ AND Mn²⁺ IONS FROM MODEL CHANNEL WATERS ON Na-BENTONITE

L.G. Kurbanova¹, A.I. Yagubov², T.A. Salimova³

¹ Research Officer, ² Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory,

³ Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Worker

Research Institute of Water Problems of Azerbaijan

Academician M. Naghiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry
of NAS of Azerbaijan (Baku), Azerbaijan

Abstract. *Laws of sorption kinetics of Fe³⁺ and Mn²⁺ ions from model channel waters on Na-bentonite were studied. Relying on the sorption process practical values of a number of main kinetic parameters were calculated. According to the results of kinetic parameters of sorption process of these ions from solvents, we found the results related to the process speed.*

Keywords: *sorbent, kinetics, Na-bentonite, thermodynamic parameters, model channel water, sorption*

УДК 54

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ: ЭНЕРГИЯ И ГРАВИТАЦИЯ

Б.Т. Утелбаев¹, Э.Н. Сулейменов², А.Б. Утелбаева³¹ главный научный сотрудник, ² заведующий лабораторией, ³ ассоциированный профессор^{1,2} Казахстанско-Британский технический университет (Алматы),³ Южно-Казахстанский Государственный университет им. М. Ауезова (Шымкент), Казахстан

Аннотация. Обсуждается понятие «энергия» и характер ее передачи между материальными объектами. Показана аналогия в уравнениях Кулона и Ньютона. В результате высказана гипотеза о природе гравитации.

Ключевые слова: Энергия, теплота, элементарные частицы, структурно-энергетическое состояние, гравитация.

ВВЕДЕНИЕ

Физико-химические процессы в природе в соответствии с фундаментальными законами, а для объяснения механизма их протекания в науке используют общепринятые понятийные «определения» [1, 10, 23]. К числу таких дефиниций относится понятие «энергия», которая в зависимости от характера явления подразделяется на гравитационную, кинетическую, внутреннюю энергию и т.п. Независимо от разнообразных форм энергии общепринятая формулировка в научной литературе сводится к следующему: «энергия – это скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие» [11, 22]. При этом, энергия не подлежит к прямому измерению и определяется действиями других величин т.е., является понятийным выражением, характеризующим проявление состояния материального объекта. Например, потенциальная и кинетическая энергии описываются уравнениями $E = mgh$ и $E = 0,5mv^2$ соответственно, где рассчитываемые численные значения энергии условно характеризует меру количественного и качественного движения материи. В случае качественной формы движения можно принять фазовые переходы веществ. Несмотря на вышеприведённое определение, до сих пор встречаются взгляды, рассматривающие энергию обособленно от материального объекта и уравнение расчёта энергии равноценными. Т.е. принимая левую и правые части уравнение тождественными (например, $E = 0,5mv^2$ и др.), полагают переход массы в энергию и наоборот. Очевидно, что энергия в уравнениях является производной величиной и лишь показывает численное выражение движущейся (покоящегося) материи, что автоматически исключает взаимопревращение энергии в массу и наоборот. При этом, для правой части приведённых уравнений, общими являются выражение величин совершения работы, выделение (поглощение) теплоты, света и др., по которым рассчитываемые числовые значения эквивалентно принимается за количество «энергии» для оценки действия. Поэтому особый научно – практический интерес представляет определение механизма реализации названных процессов, т.е. совершения механической, химической, электрической и др. видов работ, а также проявлений теплоты, света и др. В данной статье на основе закона сохранения энергии и вещества обсуждаются эти процессы, с учетом единства их микро – макроскопических свойств.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из причин существования понятия «энергия», как обособленно существующей «величины», являются выражения используемые в описании взаимодействия материальных объектов при совершении различных процессов. Например, «Потенциальная энергия тела превращается в кинетическую и совершает механическую работу» или «Изменение внутренней энергии системы эквивалентно расходуется на совершение работы и выделению теплоты» и т.д. В этих процессах, хотя действия совершаются материальными объектами, однако, считается, что процесс реализуется некоей «энергией». На самом деле один вид движения материи своим действием обуславливает движение другой материи. И для описания этих процессов вводится понятие «энергия», рассчитываемая измерением величин, характеризующих движение материи. При этом, характер движения и размер материального объекта (тело, поток жидкости, газа, элементарных частиц и др.) участвующего в процессе определяет вид действия, т.е., форму передачи энергии. Направленное движение массивных тел, потока жидкости – газа и др., относится к виду кинетической энергии, совершающей механическую работу. Движения элементарных частиц в микроструктуре «химического индивида» [12], составляют внутреннюю энергию» [2]. Изменение внутренней энергии выражается в совершении химической, биохимической, электрической и др. видов работ с физико-химическими проявлениями в виде теплоты, света и др. В свою очередь, направленное движение элементарных частиц приводит к перемещению макроскопических тел и совершению ими механической работы. Следует отметить, что при совершении механической работы также проявляются выделения теплоты, звука, света и др., что само по себе означает взаимосвязь составляющих элементов и единства микро- макро- структур веществ. Отдельное рассмотрение структурных элементов материального мира, без учёта их взаимодействия, во многих случаях приводит к искажению реальной действительности. Общеизвестные окислительно-

восстановительные реакции, к числу которых относятся фотосинтез, обмен веществ, биологические процессы, получение неорганических, органических веществ и др. происходят в результате перемещения элементарных частиц. Сжигания топлив, использование электричества, реализуемые движением «элементарных частиц» при соответствующих аппаратурных оформлениях совершают механическую работу или служат в качестве источника теплоты и света. Следовательно, процессы протекают под действием движущихся элементарных частиц, т.е., переносчиками энергии между материальными объектами являются элементарные частицы. Естественно, возникают вопросы: как передаётся теплота солнечными лучами к молекулам воды; как изменяется структурно-энергетическое состояние воды; как аккумулируется теплота лучей солнца в «химических индивидах» веществ в виде внутренней энергии. Следовательно, представляет большой интерес выявление механизма передачи энергии между материальными объектами и природы участников в этих процессах.

Обоснованная нами новая элементарная частица – переносчик теплоты «теплотрон» [6, 7, 13, 16-19], вносит ясность в понятие «передача тепловой энергии». Элементарный переносчик теплоты нами назван – «теплотроном» в связи с отсутствием строгих выводов и терминов в научной литературе, которые характеризуют процесс теплопередачи на уровне «элементарных частиц». Основываясь на ядерно- электронном строении веществ и анализируя научно-экспериментальные данные, нами предложена пульсирующая и принимающая характер диполя модель поведения «теплотрона» [14]. Согласно работ М. Фарадея [8], все проявления электричества (тепловые, световые, химические, физиологические, магнитные и механические) совершенно одинаковы, независимо от источника их получения. В этой связи, предлагаемая нами элементарная частица «теплотрон», переносчик теплоты, может быть разновидностью «электромагнитных частиц». Эти «электромагнитные частицы» в зависимости от условий в атомарной структуре могут находиться в свободном и «комбинированном» состоянии с электронами и другими элементарными частицами. Благодаря направленному движению пульсирующих «электромагнитных частиц», наблюдается волновой характер их линейного перемещения, которое в научной литературе принимается как «электромагнитная волна». Однако, волна является траекторией частиц и все утверждения об излучении электромагнитных волн (при фазовых переходах, экспериментально определяемые сигналы электромагнитной эмиссий) служат в пользу наличия «электромагнитных частиц» в структуре атомно- молекулярных образований «химического индивида» [5, 15]. Наличие таких частиц изменяет характер движения электронов в структуре «химического индивида» веществ и влияет на тепловое, электрическое (дизэлектрическое), магнитное, гравитационное, цветковое и др. взаимодействия системы с окружающей средой. Именно пульсация «электромагнитных частиц» является «стоячей волной», а их направленное коллективное движение создаёт картину «бегущей волны» и вносит ясность в корпускулярную (И. Ньютон) и волновую (Р. Гук и Х. Гюйгенс) теории распространения лучей солнца. Согласно корпускулярной теории, свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами и сторонники И. Ньютона придерживались линейности движения светового луча. Волновая теория подтверждается многими опытами, в частности Т. Юнга, и свет распространялся в виде электромагнитной волны, где наблюдается как дисперсия, дифракция и интерференция света. На самом деле солнечный свет представляет поток «электромагнитных частиц» (ЭМЧ).

Общеизвестно, состояние и свойства взаимодействия множества частиц характеризуются статистической термодинамикой [2], которая в целом носит феноменологический характер. Глубина понимания ограничивается взаимодействием набора этих частиц и не позволяет вскрыть природу влияния их микроструктуры на исследуемые явления при передаче энергии между материальными объектами. Т.е., существует пренебрежение характером состояния элементарных частиц в микроструктуре «химического индивида» [12], который предопределяет свойства всей макроскопической системы. В частности, существование синглетного кислорода, обнаруженного Х. Каутским [4], наглядно демонстрирует влияние структуры «химического индивида» кислорода на его энергетическое состояние. По справочным данным энергетическая разница между самой низкой энергией молекулярного кислорода в синглетном состоянии и наименьшей энергией триплетного состояния составляет около 11400 кельвин ($T_e(a^1\Delta_g \leftarrow X^3\Sigma_g^-) = 7918,1\text{см}^{-1}$), или 0,98 эВ на молекулу (94,2кДж/моль) и соответствует переходу в близком ИК-диапазоне (около 1270 нм). Переход триплетного кислорода в синглетный в близком ИК- диапазоне излучения, которое относится к тепловому, позволяют полагать, что переход осуществляется под действием «теплотронов». Существование синглетной структуры кислорода с большей энергией ещё раз свидетельствует о наличии «электромагнитных частиц» в атомарно- молекулярной структуре кислорода и их набор характеризуется параметрами состояния: температура, давление, объем, концентрация веществ и др. Обычно, для описания моля идеального газа состоящих из множества частиц используется уравнение состояния $PV = RT$. С учетом того, что параметры давление и температура относятся к интенсивным величинам системы, которые не зависят от количества частиц, то для одной частицы уравнение запишем в виде: $pV_m = kT$, где p – внутреннее давление пульсирующей «электромагнитной частицы» в ее объеме V_m ; k – постоянная Больцмана; T – температура выражающий частоту пульсаций ν «электромагнитной частицы» по уравнению $T = 0.959 \cdot 10^{-11} \cdot \nu$ [17]. Противоположные по знаку заряды диполей притягиваются за счёт электрических сил. В свою очередь направленное движение противоположно заряженных частиц друг к другу, рождает магнитные силы отталкивания. Это приводит к пульсации и исключает аннигиляцию диполя и не допускает сближение заряженных частей атомной структуры в системе «ядро-электрон». Т.е. «электромагнитные частицы» участвует в стабильности структурно- энергетических состояний системы на микро-макроскопическом уровне. Анализ уравнения $pV_m = kT$, где левая часть характеризует работу пульсаций «расширения – сжатия» совершаемой элементарной

частицей при заданном параметре состояния, которое можно рассчитать по данным правой части. Кроме того, температурная составляющая правой части находится в динамическом равновесии с окружающей средой, которая является источником питания для их движений.

Таким образом, движения элементарных частиц характеризуют передачу энергии в виде работы, теплоты, света, гравитаций и др. Т.е., направленным движением элементарных частиц совершаются различные виды работ, движением фотонов – свет, «теплотронами» – теплота и т.д. При этом, по данным научно – технической литературы гравитационное взаимодействие осуществляется «гравитоном» – гипотетической безмассовой элементарной частицей. Принято их считать квантом гравитационного поля без электрического и других зарядов, которые обладают энергией и участвуют двумя возможными направлениями поляризации, двигаясь со скоростью света [21]. Однако, по данным [20], инертные носители гравитации имеют массу порядка $10^{-75} - 10^{-45}$ кг, а скорость составляет $2,5 \cdot 10^{10}$ м/с. Следовательно, данные [20] противоречат данным [21]. В [9] заключают: «Теорий много, вот только в природе нет гравитационного поля самого по себе (созданного материальным телом массой m), а есть гравитационные поля, создаваемые элементарными частицами, из которых состоит вещество Вселенной, и эти поля описываются всего лишь одной теорией – Теорией гравитации элементарных частиц. Что касается длинного списка математических теорий, то их со временем будет ещё больше, пока будут появляться новые авторы». По [9] «Гравитационное поле вещества создаётся электромагнитными полями элементарных частиц, из которых это вещество состоит, о чем физика гениально догадалась ещё сто лет назад, но только сегодня она может это утверждать!» И они вводят понятие гравитационного диполя, как системы, состоящей из двух равных точечных масс, которые всегда имеет положительный знак, поскольку создаётся энергией электромагнитного поля. Поддерживая идею в [9], следует отметить, что утверждение переход энергии к массе противоречит законам природы. Кроме того, в отличие от этой теории, предлагаемые нами элементарные частицы («электромагнитные частицы») имеют противоположные электрические полюса и набор их представляют поле, предлагаемое М. Фарадеем [15], т.е., электромагнитное поле. На наш взгляд, Земной шар как единое целое, состоящий из элементов «ядро – электрон», с комбинацией элементарных частиц по всей ее поверхности создаёт взаимосвязанных дипольных структур. Разрыв этой целостной системы требует силу внешнего воздействия. Например, для испарения воды из земной поверхности, озёр и океанов необходима энергия солнечных лучей, переносчиками которых являются «электромагнитные частицы» в виде фотонов и «теплотронов». С увеличением концентраций «теплотронов» в структуре воды повышается температура и возникает «термоэлектрохимический потенциал» [7, 14]. В результате «химический индивид» воды с большим «термоэлектрохимическим потенциалом» по сравнению с содержащимися влажностью атмосферы стремится вверх, преодолевая силу взаимного сцепления. т.е. выполняется основополагающий принцип И. Пригожина, где неравновесные процессы служат источником самоорганизации [3]. В атмосфере увеличивается количество дипольных структур воды испарившихся из земной поверхности. Эти структуры являются аддитивными величинами, набор которых приводит к росту массы воды (m_1) и взаимодействия с исходной структурой поверхности Земли (m_2) по уравнению Ньютона:

$$F = G (m_1 \cdot m_2) / (R + h)^2$$

где R – радиус Земного шара, h – высота над уровнем моря в метрах. Коэффициент пропорциональности G одинаков для всех тел в природе и называют гравитационной постоянной $6.67 \cdot 10^{-11}$ (Н·м²/кг). При определённом значении массы воды сила притяжения F , превышает атмосферное сопротивление и частицы воды в виде дождя и снега оседают на земную поверхность. Частицы воды с меньшей массой, где силы гравитации не превосходит сопротивление давлений атмосферного воздуха, парят в виде облака. В приведённом уравнении гравитационного взаимодействия, масса тел определяет количество веществ, которое непосредственно связано со структурными элементами диполей «ядро – электрон» с комбинацией «электромагнитных частиц», т.е. имеет прямую связь с электрическим свойством. Следовательно, данное уравнение аналогично закону Кулона:

$$F = k(q_1 \cdot q_2) / r^2$$

Такая аналогия допускает идентичность гравитационных сил и взаимодействие заряженных частиц. Количество дипольных структур пропорциональна массе тел и представляет не только экстенсивность их свойств, но и разность потенциалов диполей интенсивную величину. В этой связи, ускорение свободного падения на землю почти одинаково для всех тел. Однако, аддитивность дипольных структур означает, что с увеличением их количества сумма зарядов возрастает и Земной шар обладает огромным значением положительных и отрицательных зарядов по массе. И любое тело, как ее часть, согласно закона Кулона притягивается к Земле.

Попадая на высотные поверхности земли огромная масса жидкости, отличающаяся от исходного морского уровня на h согласно расчёта потенциальной энергии mgh стремится к выравниванию силы притяжения. Согласно формуле Ньютона $F = G (m_1 \cdot m_2) / (R + h)^2$ с уменьшением h значение силы притяжения возрастает и происходит течение воды сверху вниз. И на основе всеобщего закона сохранения энергии и вещества можно полагать эквивалентный переход движения одного вида материи в другую, которые означают о взаимосвязанности движений макроскопических тел с микроструктурными элементами «химического индивида».

Заключение

Из вышеприведённых примеров и выводов следует:

Энергия является понятием выражением для оценки характера движения материальных объектов. Формы передачи энергии зависят от характера движения элементарных частиц.

В «химическом индивиде» в системе «ядро-элементарные частицы», формируются различные комбинации элементарных частиц, которые и определяют характер передачи энергии.

Наличие комбинаций элементарных частиц исключает их аннигиляцию. При этом они находятся в динамическом равновесии с «электромагнитными частицами» окружающей среды.

«Гравитация» также инициируется потоком элементарных частиц между материальными объектами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докукин, М.Ю. Концепции современного естествознания: учеб. пособ. / М.Ю. Докукин. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010. – 167 с.
2. Квасников, И.А. Термодинамика и статистическая физика / И.А. Квасников. – Т. 1, 2002. – С. 11.
3. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
4. Титова Н.С. Исследования воспламенения и горения водорода и метана в газовых потоках при возбуждении электронных степеней свободы молекул кислорода: автореферат ... канд. дисс. / Н.С. Титова. – М. 2012. – 21 с. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Синглетный_кислород.
5. Утелбаев, Б.Т. Влияние комбинаций элементарных частиц на структурно-энергетическое состояние макросистем / Б.Т. Утелбаев, Э.Н. Сулейменов, А.Б. Утелбаева // Science and World. – 2018. – Т. 1. – № 8 (60). – С. 61.
6. Утелбаев, Б.Т. О переносе тепла между материальными объектами / Б.Т. Утелбаев, Э.Н. Сулейменов, А.Б. Утелбаева // Science and World. – 2015. – Т. 1. – № 2 (18). – С. 39–43.
7. Утелбаев, Б.Т. Структурно-энергетическое состояние «химических индивидов» и причины протекания химических реакций / Б.Т. Утелбаев, Э.Н. Сулейменов, А.Б. Утелбаева // Science and World. – 2018. – Т. 1. – № 7 (59). – С. 19–24.
8. Фарадей, М. Экспериментальные исследования по электричеству / М. Фарадей. – Т. 1. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1947. – 848 с.
9. Физика 21 века: Гравитон гравитино – мнение физики. – Режим доступа: https://ru.vladimir-gorunovich.narod.ru/index/graviton_gravitino/0-99.
10. Электронный ресурс. Материя, движение, энергия. Физика. – Режим доступа: phscs.ru/physics1/introduction
11. General Chemistry. Principles and Modern Applications-8th.ed. / Ralph H. Petrucci, William S, Harwood, F. Goffrey Hering. 2002, Prentice-Hall
12. Utelbayev, B. Some Concepts about Substance, Chemical compound and an Element / B. Utelbayev, E. Suleimenov, A. Utelbayeva, N. Zhanabay // American Chemical Science Journal. – 2014. – 4 (2). – PP. 166–173.
13. Utelbayev, B.T. Effect of Elementary Carriers of Heat to Create a System of Ordered Structures / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Scientific Latest Research in Science and Technology. – 2017. – Vol. 3. – Issue 1: Page: 50–54.
14. Utelbayev, B.T. Elementary Carrier of Thermal Energy. Derivation from the Classical Equation of Thermodynamics / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Engineering and Technical Research (IJSETR). ISSN N: 2321-0869 (0). – 2018. – Vol. 8. – Issue 2. – PP. 65–68
15. Utelbayev, B.T. Structural-energy Interaction in the System: Electron – Nucleus – "Chemical individual" / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva Substance International Journal of Engineering and Technical Research (IJSETR). – ISSN N: 2321-0869 (0). – 2018. – Vol. 8. – Issue 5. – PP. 30–33
16. Utelbayev, B.T. Temperature is the Parameter of the Structural and Energy State of System / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Scientific Latest Research in Science and Technology. – Vol. 5. – Issue 6: Page No: 14-16, November-December 2016 ISSN(Online) 2278-5299.
17. Utelbayev, B.T. The Essence of "Temperature" and its Relationship with Thermal state of the System / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. – 2017. – Vol. 3. – Issue 2. – Print ISSN: 2395-6011. – PP. 678–684
18. Utelbayev, B.T. The Influence of External Impact in Transfer of the Energy between Material Objects / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. – 2016. – Vol. 2. – Issue 5. – Print ISSN:2395-6011. – PP. 241–245
19. Utelbayev, B.T. The Nature and Mass of Elementary Particles of Heat Carriers / B.T. Utelbayev, E.N. Suleimenov, A.B. Utelbaeva // International Journal of Scientific Latest Research in Science and Technology. – Vol. 5. – Issue 6: Page No: 6-9, November-December 2016 ISSN(Online) 2278-5299.
20. V. Krasnohoovets and Jean-Louis Tane // International Journal of Simulation and Process Modelling.V.2.Nos.1/2.pp.67-79 (2006)
21. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гравитон>
22. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергия>
23. https://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science/ignatova/05.php. – Фундаментальные понятия естествознания структура.

Материал поступил в редакцию 26.09.18.

ELEMENTARY PARTICLES: ENERGY AND GRAVITY

B.T. Utebayev¹, E.N. Suleymenov², A.B. Utebayeva³

¹ Chief Research Worker, ² Head of Laboratory, ³ Associate Professor

^{1,2} Kazakh-British Technical University (Almaty),

³ South Kazakhstan State University named after M. Auezov (Shymkent), Kazakhstan

***Abstract.** The concept of “energy” and the nature of its transfer between material objects are discussed. Analogy to the equations of Coulomb and Newton are shown. As a result, the hypothesis of the nature of gravity is expressed.*

***Keywords:** energy, heat, elementary particles, structural-energy state, gravity.*

Agricultural sciences
Сельскохозяйственные науки

UDC 632.7:78+632.937

**THE ROLE OF ENTOMOPHAGES IN MANAGING
THE NUMBER OF MINERS (*LIRIOMYZA SATIVA* BLANCH)**

U.A. Isashova, Doctoral Student
Andijan branch of Tashkent State agrarian University, Uzbekistan

Abstract. The article presents the results of studies on the use of parasites of the species *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica* to reduce the number of *Liriomyza sativae* Blanch (tomato leaf miner), which is widespread among melons and vegetables. We found that the species *Dacnusa sibirica* is more spread, than the species *Diglyphus*. The degree of fertilization of parasites was different. 65-70 % of the parasites of *Dacnusa sibirica* flew from the larva to the tomato leaves.

Keywords: vegetables, miners, vermin, parasite, the number of entomophage, *Liriomyza Sativa* Blanch, *Diglyphus isaea*, *Dacnusa sibirica*, development, tomato, greenhouses.

Introduction: miners are from Agromyzidae family and has more than 3000 species, the size of which is 4 mm. Miners were studied by German scientists most. More than 350 species of miners were identified in Germany. They harm gardens and yards as well.

It was determined that 2 species of miners are met in our Republic [4]. They are: *Liriomyza sativae* Blanch and *Liriomyza trifolii* Burgess. The origin of *Liriomyza sativae* Blanch goes back to northern, central and southern America. Now, it is spread in Asia, Africa and in the territory of Mediterranean Ocean. However, they are not registered in Europe and Australia. There are about 30 entomophages of miners in the nature and nearly all of them are of *Hymenoptera* species of insect class. There a number of specialized entomophages of miners in the nature. *Diglyphus isae*, *Opius palipes*, *Dacnusa sibirica* and *Chrysocharis parksi* can be good examples to them.

Miners of Liriomyza species can be a good master to *Diglyphus isae*. These miners make much harm in agriculture and forestry. *Diglyphus isae* is considered to a main parasite of agromyzid miners. Despite the fact that it was found in the United Kingdom 160 years ago, its biology has not been studied fully yet. [1, 2, 5].

Dacnusa sibirica Telenga decrease the larva of miners from 225 up to 48 under the temperature of 15-25 °C. *Dacnusa sibirica* Telenga is mainly used in greenhouses of Northern Europe in protecting the plants from miners. It lives actively from the beginning of the season up to July. In conditions of laboratory, *Dacnusa sibirica* Telenga is considered to be in the highest level of fertility under 20 °C [3].

Dacnusa sibirica Telenga and *Diglyphus isae* parasites was specially brought from Russia to Uzbekistan by a group of scientists so that to study biologic readings of their entomophages in the scientific research center of biological protection of plants of Tashkent State agrarian University. We used the following entomophages against the miners of tomato plant in greenhouse-bio laboratory of Andijan branch of Tashkent State Agrarian University.

Materials and methods of investigation: Investigation were mainly carried out in greenhouse-bio laboratory of Andijan branch of TashSAU.

Materials of research are miners and their parasite species that are met in greenhouse agrobiocenosis. During the experiment, we used microscopes: MBC-2; MBI-3; thermostat MEMMERT and other equipment and tools.

In determination of harms taken from miners, growing points of plants (for eggs and a year old worm), fruits in middle and lower tiers, blossoms and burgeons and frontal and posterior parts of the leaf are examined thoroughly. Calculations are carried out in a chess method as 4 in 1m² with 100 types of plants. In determination the number of phytophagous and entomophages we used the methods of V.A. Trapisin, V.A. Shepitelnikova and V.A. Shapiro (1965) [6]. We carried out our observations on vermins – *Diglyphus* and *Dakniza* (introduced in 2912) coming out of winter and the degree of harms taken from. We separated 100 of these parasites from laboratory generation in greenhouse-laboratory, i.e. 50 *Diglyphus isaea* and 50 *Dacnusa sibirica*. The separated parasites composed 35 male and 65 female parasites. As these parasites always develop together, they are used against vermins together. (Table 1).

Results of the research and their analysis: observations began from the 8th day. The number of vermins were also calculated. Observations lasted 42 days and we determined that the parasites bred 4 times. The temperature of the greenhouse is +22-25 °C, relative moisture of the temperature was marked as 60-65 %. This is considered to be very convenient for breeding of the vermins and their parasites. At the beginning of the experiment, the average number of miner larva on a leaf of tomato was 6.2.

On the 7th day, the parasites harmed several larva of miners and they were motionless. On the 14th day we determined that the number of parasites increased, here the number of *Dacnusa siberica* parasite was 2.1 on a leaf, *Diglyphus isaea* parasite was less i.e. 3.6 on a leaf. On the 21st day, the number of parasites was 4.5 and 4.8 on a leaf, on the 28th day, this rate was 5.8 and 6.5, on the 35th day it composed 6.5 and 7.8. On the last days of the observation, the number of parasites increased and as the result, the number of vermins on a leaf was 2.1-2.4 in a plant. On the 42nd day of the experiment, the number of parasites was 8.2 and 11.2. So, being different of two parasite types to each other in one plant being different of two parasite types to each other in one plant show that their breeding and motions are also different.

Table 1

**Development of *Diglyphus isaea* and *Dacnusa siberica*
in *Liriomyza sativa* Blanch type (experiments of AAI, 2015-2016)**

№	Parasite types	Increase of the number of parasites by days						Relativity of parasites to the leaf
		7	14	21	28	35	42	
1	<i>Diglyphus isaea</i>	1.4	2.1	4.5	5.8	6.5	8.2	5:2
2	<i>Dacnusa siberica</i>	2.3	3.6	4.8	6.5	7.8	11.2	4:2

So that to investigate the reasons of number variety of these parasite types we continued our observations. Due to it, we gathered parasite larva on the leaves of tomato plant in the experimental place. The gathered larva was put 3 times in 5 versions. They were put in thermostat and parasite imagos made flow. They were put in the fridge, made motionless and counted.

Due to it, the total amount of the gathered larva composed 416. 66 of it were gathered in the 1st version, 92 in the 2nd version, 70 in the 3rd version, 96 in the 4th version and 92 in the 5th version. *Dacnusa siberica* from the gathered larva of the 1st pattern were 41, in the 2nd pattern – 40, in the 3rd pattern – 45. *Diglyphus isaea* parasite were 98 in the 1st pattern, 86 in the 2nd pattern, 91 in the 3rd pattern and they are 275 totally. Due to the results of observations, 126 larva of the entire gathered 416 larva were of *Dacnusa siberica*. 15 of all the gathered larva i.e. 3.6 % did not harm.

Table 2

***Liriomyza sativa* Blanch breeding of *Diglyphus isaea* va *Dacnusa siberica* (experiments of AAI laboratory, 2016)**

Versions	p-total amount of gathered parasites	Flow of parasite-imagos, by patterns						Amount of unfit larva
		<i>Dacnusa siberica</i>			<i>Diglyphus isaea</i>			
		1	2	3	1	2	3	
1	66	5	7	2	12	24	13	3
2	92	12	6	10	23	15	24	2
3	70	9	8	10	15	16	11	1
4	96	8	8	12	26	18	20	4
5	92	7	11	11	22	13	23	5
Total	416	41	40	45	98	86	91	15

Diglyphus isaea composed 275 of all the gathered patterns. Unfit larva is also met and 15 of them are mechanically harmed incomplete developed. Therefore, the contribution of *Dacnusa siberica* in decreasing the amount of miners is 36 %. *Diglyphus isaea* parasite was identified to be a bit more fertile and composed 64 % of the entire patterns.

We can see from the table that, fertility of *Diglyphus isaea* parasite is very high in the development of *Liriomyza sativa* Blanch miners and it showed that one can manage its amount effectively. Besides that, the above-mentioned temperature and moisture determined by us is considered to be convenient for the parasites.

REFERENCES

1. Henz, K.M. The effect of leaf mining by *Liriomyza trifolii* on seed set in green house marigold / K.M. Henz, M.P. Parella // Ecological applications. – 1992. – 2: 139–146.
2. Kevin, M.H. Holarctic Distribution of the leaf miner parasitoid *Diglyphus begini* and notes on its Life History Attacking *L.trifolii* (Agromyzidae, Diptera) in *Chrysanthemum* / M.H. Kevin, Michael P. Parrella // Ann. Entomol. Soc. Am. – 83 (5):916 – 924 – 1990.
3. Minkenberg, O. Effects of temperature on the life history of *Liriomyza bryoniae* (Diptera, Agromyzidae) on tomato / O. Minkenberg, S.A. Helderma // J.Econ. Entomol. – 1990. – 10 1: 117–120.
4. Sulaymonov, B.A. Vermins of vegetables in greenhouses and management of their amount / B.A. Sulaymonov, A. Anorboyev // Agronomic science. – Tashkent. – 2008. – No. 4 (8). – P. 26–28.
5. Tong Xjian Liu. Biologocal control of *Liriomyza* leaf miner progress and perspective CABI reviews: Perspective in agriculture veterinary science / Tong Xjian Liu. Le Kang. Kevin M. – Nutrilon and naturel resources, 2009 – No. 4
6. Tryapisin, V.A. Parasites and predators of vermins of agricultural products / V.A. Tryapisin, V.A. Shapiro, V.A. Shepetilnikova. – L: Kolos, 1965. – P. 18–52.

Материал поступил в редакцию 17.09.18.

**РОЛЬ ЭНТОМОФАГОВ В УПРАВЛЕНИИ
КОЛИЧЕСТВОМ МИНЁРОВ (ТОМАТНЫЙ ЛИСТОВОЙ МИНЁР)**

У.А. Исашова, докторант

Андижанский филиал Ташкентского государственного аграрного университета, Узбекистан

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по использованию паразитов вида *Diglyphus isaea* и *Dacnusa siberica* для уменьшения численности *Liriomyza sativae* Blanch (томатного листового минёра), который широко распространён среди бахчевых культур и овощей. Мы обнаружили, что вид *Dacnusa siberica* больше распространён, чем вид *Diglyphus*. Степень оплодотворённости паразитов была разной. 65-70 % паразитов *Dacnusa siberica* вылетели из личинки на листья помидора.

Ключевые слова: овощи, минёры, вредители, паразит, количество энтомофагов, *Liriomyza sativae* Blanch, *Diglyphus isaea*, *Dacnusa siberica*, развитие, помидор, теплицы.

UDC 982.635.632.3912

CHARACTERISTICS OF THE BIOECOLOGICAL DEVELOPMENT OF CALIFORNIAN THIRPS IN UZBEKISTAN AND THE METHOD OF COMBATING THEM

K. Mamatov¹, M. Mahamedov²

Plant Protection Research Institute, Uzbekistan

Abstract. *This article provides information on the most common type of californian thrips, origins, development, damage and its development in various plants and imidocolopride test results.*

Keywords: *greenhouse, insect, herb, pest, egg, californian thrips, larvae and adults, herbs, flowers and fruit juice.*

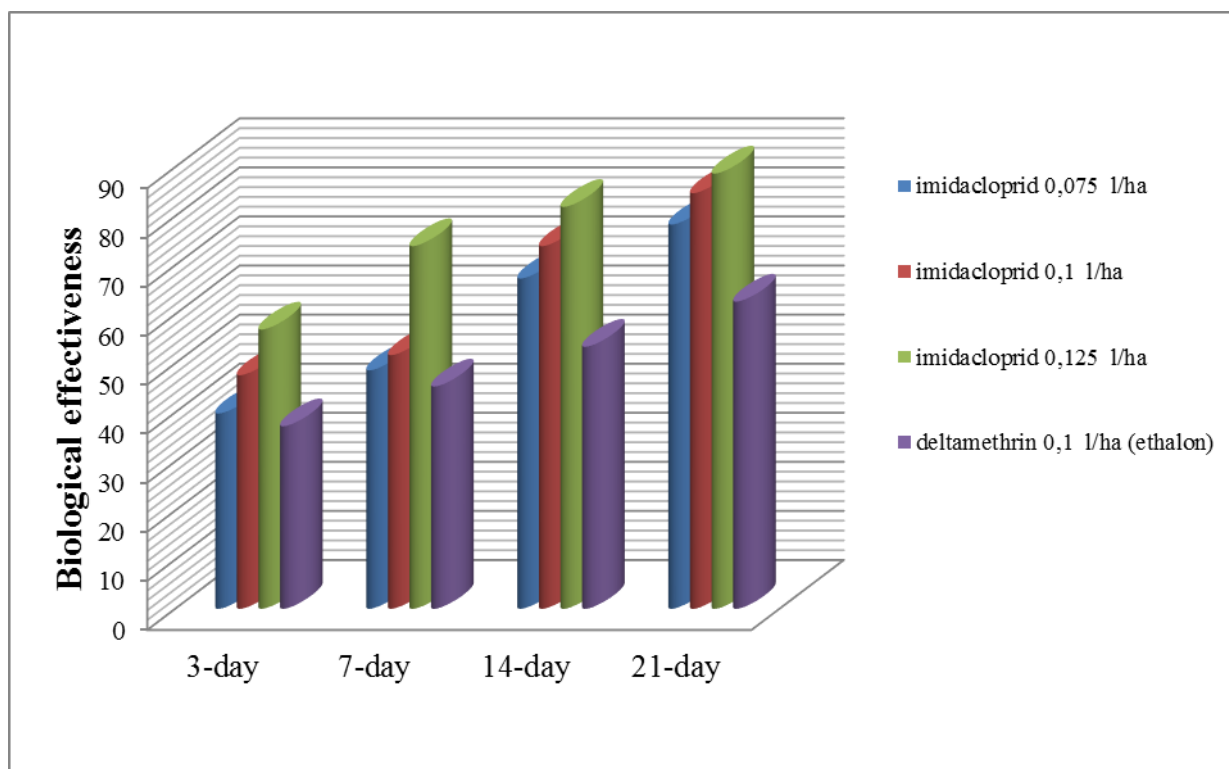
Recently, in our Republic the demand for vegetable products grown in greenhouses has grown dramatically. As the number of greenhouses grows and varieties of vegetables grow, new types of pests are also rising. For example: Californian thrips (*Echinothrips americanus* Morgan). These insects are members of ring winged types or thrips, they are small and hard to see. Their homeland is the southeastern part of Northern America. In the late 20th and early 21st centuries, these insects spread rapidly around the world to various continents in specific invasion conditions with anthropogenic way. It was first mentioned in Europe in 1983 in Dutch greenhouses. This pest slowly was spreading to Germany in 1985, to Latvia in 1997, to Ukraine in 1998. It was first reported in Russia in the late 1980s in early 1990s in greenhouses and later in the Kursk, Kaliningrad, Leningrad, Moscow, Ulyanovsk, Krasnodar and Stavropol regions. In Uzbekistan, for the first time it was found in cucumber in the greenhouse in Navoi region in 2013-2014. In the end of 2014 and at the beginning of 2015, this insect was found in vegetable crops and flower seedlings grown in greenhouses in Tashkent region. Californian thrips is a pest that is fed with plant leaves, flowers, stems and juice. It grows faster when the temperature of the greenhouse is at +25 °C and the humidity is 70-8 %. Annually grows up to 12-15 generations. The period of development of one generation is from 12 to 35 days. The thrips live in greenhouses without wintering and spread in the open fields early in the spring. The male thrips live up to 20 days, females live up to 40 days, and they put up to 300 eggs on the sheets of leaves, flowers and fruits every month. Larva comes out of the egg in 2-4 days at 25 °C. The pest will damage the cucumber until it grows, if the cucumber is damaged during sprout, it may die. If the fruit is damaged fruit will bend completely and loses its quality. White flakes appear on the long cucumbers and cracks will be formed on the tip of the fruit. 60-70 % of the fruit can be damaged as a result of the physiological and biochemical processes that occur during the growth of the plant. One of the more risky aspects of the Californian thrips is spreading viruses and fungal diseases in greenhouse crops. As a result of damage, spots form on the leaf and the photosynthesis process breaks and the leaves become dry. In recent years, special observations have been made to detect plants damaged by Californian thrips in the greenhouses. These observations were conducted in the Kibray district. The results are shown on the table.

The development of Californian thrips in different greenhouse plants Tashkent region, Kibray district 2017-2018

T/r	Plant type	In Latin	Development of Californian thrips		
			average	weak	strong
1.	Cucumber	<i>Cucumis sativus</i> L	-	-	+++
2.	Tomato	<i>Lycopersicon esculentum</i>	-	-	+++
3.	Eggplant	<i>Solanum melongan</i> L	-	-	+++
4.	Sweet pepper	<i>Capsicum annuum</i> L	++	-	-
5.	Bitter pepper	<i>Capsicum annuum</i> L	-	+	-
6.	Lemon	<i>Citrus limon</i>	++	-	-
7.	Orange	<i>Citrus nobilis</i> lour	++	-	-
8.	Chinnigul	Chinnigul	-	-	+++
9.	Rose	Roza	-	-	+++
10.	Tulip	<i>Tulipa</i> L	-	+	-

Note: ++ average, – weak, +++ strong

The results of the experiments show that Californian thrips is strongly developed in cucumber, eggplant, tomato, rose and clove, the average development of the pest observed in sweet peppers, lemons and mandarin and the pest is poorly developed in peppers and tulip plants. In 2017-2018 against the pest in cucumber 35 % imidagold (imidocolopride) was used in three different ways: 0,075; the standard of the spending was 0,1 % and 0,125 l / ha in the greenhouse of the farm “Shomurod o’g’li” in Tashkent region, Kibray district. As an example 10 %, 0.1 l / hectare decis (deltamethrin) was used. The experiments were carried out in a commonly accepted manner.



The biological effectiveness of imidacloprid drug against californian thrips in cucumber

The test results are given in the picture. Great results were obtained from the greenhouse cucumbers on the effectiveness on 14th day of using imidacloprid drug in all three variants against the thrips. The highest efficiency was observed at 0,125 l / ha, where efficiency was 86.5 %. And the remaining 2 variants were lower. All three variants' degrees were much higher than the chemical drug decis.

REFERENCES

1. Миронов, М.К. Пути инвазий чужеземных насекомых – фитофагов (на примере карантинных видов). “Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов” / М.К. Миронов, С.С. Ижевский. – М., 2002. – С. 62–65.
2. Хўжаев, Ш. Инсектицид, акарицид биологик фаол моддалар ва фунгицидларни синаш бўйича услубий кўрсатмалар / Ш. Хўжаев. – Тошкент, 2004. – Б. 35–36.
3. Cho. J.J., Hamasaki R.T., D. Detection of tomato spotted wilt virus in individual thrips by enzyme – linked immunosorbent assay. *Phytopathology*. 1988. 78; 1348-1352.

Материал поступил в редакцию 11.09.18.

ОСОБЕННОСТИ БИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАЛИФОРНИЙСКИХ ТРИПСОВ В УЗБЕКИСТАНЕ И МЕТОДИКА БОРЬБЫ С НИМИ

К. Маматов¹, М. Махамедов²

Научно-исследовательский институт защиты растений, Узбекистан

Аннотация. В статье приведены сведения о наиболее распространенных типах калифорнийских трипсов, их происхождении, развитии, вреде и развитии в различных растениях и результаты испытаний имидаклоприда.

Ключевые слова: парник, насекомое, трава, вредитель, яйцо, калифорнийские трипсы, личинки и взрослые особи, травы, цветки и фруктовый сок.

UDC 595+632. 937

**DETERMINATION OF BIOLOGIC EFFECTIVENESS OF *TRICHOGRAMMA EMBRYOPHAGUM*-
THE LARVA EATERS OF APPLE WORMS (*CAROCOPCA POMONELLA* L.)****M.K. Raxmonova¹, K.Q. Hamdamov²**¹ Doctoral Student, ² Senior Lecturer

Andijan Branch of Tashkent State Agrarian University (Andijan), Uzbekistan

Abstract. This article is devoted to the study of the effectiveness of entomophage *Trichogramma* in the fight against the eggs of apple worms. It is shown that the use of entomophage *Trichogramma* against the eggs of apple worms in a ratio of 1:10 gives a high level of efficiency, the biological efficiency was 75 %.

Keywords: worms, larva, vermin, entomophage, parasite, biologic protection of plants.

Introduction. There are several parasites of apple worms, the specialized species of it is *Trichogramma embryophagum* Htg. This species is important in management of the number of apple biocenosis. [5]

Harm of the apple worm is mainly expressed with harming the fruits, decreasing their quality and fertility if one does not fight against this insect taking into consideration the importance of climatic condition and natural vermins, it can decrease the harvest of fruit trees from 30 % up to 50 %. The harmed fruits cannot be preserved. There are a number of species of this vermin: goldilocks, ladybird, wild vermins and its specialized parasite is trichogram. It can kill the apple worm in the period of larva. Especially, *Trichogramma embryophagum* Htg. is effective in fighting against apple worms. [2]

Methods and materials. Our experiments were carried out in farming “Solar agromax” in Kibray region of Tashkent province during 2015-2016. *Trichogramma embryophagum* was introduced from China and was climatized on this farm.

Trichogramma embryophagum was multiplied sitotroga in wax moth larva, in condition of laboratory and is used in production.

Harming the apple worms were carried out in apple gardens. The experiment was carried out in small gardens, on 30 baby trees of every 100 baby trees. The experiments were repeated 5 times. Statistic work out in experiment results were carried out by Dospexov’s method. Biologic effectiveness was identified by Abbot’s formula (1925) [1, 4]

$$100x(A - B - Ba)$$

$$BE = \frac{A - B - Ba}{A} \times 100$$

Ab

Here, BE is biologic effectiveness, %

A – the number of the vermins before working out in experiments, pieces

B – the number of vermins in control after working out, pieces

Ba – the number of vermins after working out in experiments, pieces

a – the number of vermins before working out in control, pieces

***Trichogramma embryophagum* Htg.** This species of imogos is 1 mm, the color is light yellow. Basically, it is met in territories of forest and gardening. The size of parasite is 3 mm. Its color is yellow and the rise of the temperature increases the air temperature. The parasite puts its larva in larva of scales shaped insects in forests and gardening. The development of one generation lasts for 20 days in mountain territories. In this condition it gives 4-5 generations. The parasite winters during the period of larva in its master’s eggs.

The ecological change of dominant types of trichogram shows that, they differ not only with morphologic signs but also with hydrothermic signs. For instance, local ordinary trichogram in Kashkadarya region can be tolerant to +25 °C temperature and 30 % moisture. [4]

Results of the research. We can see from the results of the experiments that, when trichogram is put in relatively different amounts in master’s larva against apple worms larva, their biologic effectiveness can also be different. When it is put in 1:10 ratio in master’s larva, 7.2 of 8.2 eggs of apple worms preserved and after 3 days and on the 5th day, the number of unharmed eggs composed 3.4 or in other words its biologic effectiveness composed 59 %.

On the 7th day of our observations, 2.1 eggs were harmed and its biologic effectiveness composed 75 %. When trichogram is put in 1:5 ratio, in 30 baby trees there were 7,9 eggs. Their number decreased to 0.1 in 3 days and in 5 days 4.3 eggs preserved or its biologic effectiveness composed 46 %. In 7 days, 3,5 eggs preserved and its biologic effectiveness composed 55,5 %.

Table 1

Effectiveness of utilization of *Trichogramma embriophagum* against apple worms (2017)

Ratio of trichogram against apple worms parasite: eggs	The number of eggs in every 30 baby trees					Biological effectiveness %		
	Before putting trichogramma	The days after putting trichogramma						
		3	5	7	3	5	7	
1:10	8,2	7,2	3,4	2,1	12,0	59,0	75,0	
1:15	7,9	7,8	4,3	3,5	—	46,0	55,5	
1:20	8,3	8,3	5,2	4,1	—	38,0	50,6	
Control	8,3	8,9	10,3	14,7	—	—	—	

On the 3rd of the experiment when trichogramma eggs were put in 1:20 ratio, we did not meet harmed eggs. On the 5th day of our investigations, we observed that 5.2 apple worms were harmed and its biologic effectiveness composed 38 %, on the 7th day the number of harmed eggs was 4,1 and its biologic effectiveness was 51 %. [1, 5]

In control version of the experiment, 8.3 eggs were observed in the harvest of 5 baby trees and on the 5th day they increased up to 14.7.

So, when *Trichogramma embriophagum* is put in 1:10 ratio in eggs of apple worms, we can have 75 % of effectiveness.

Conclusions, suggestions and recommendations. The role of biologic fight against vermins is very important especially, the usage of *Trichogramma embriophagum* against the eggs of apple worms is very effective. [2, 5]

In our experiment of fighting against apple worms we used *Trichogramma embriophagum* in different amounts and due to destruction of eggs of apple worms, we increased the amount of trichogram, i.e. in 1:10; 1:15; 1:20 ratio. This is how we identified the highest point of biologic effectiveness of trichogram.

During our investigations, we have known that, when we use *Trichogramma embriophagum* in 1:10 ratio, we achieved 75 % of good results.

REFERENCES

1. Abbots W.S. A method of computing the effectiveness of insecticide. 1925, p.156
2. Atamirzayeva T.M. Fauna and ecology trichogram (*Hymenoptera, Trichogrammatidae, Trichogramma*) – Abstract of dissertation for the degree of candidate on specialty. 03.00.09. Entomology. – Tashkent, 1994. p. 20.
3. Dospexov, B.A. Methods of field experience: Moscow, Kolos, p 1985 – 145.
4. Gar K.A Methods of experiments of toxicity and effectiveness of insecticides. M, 1963, p.287.
5. Sulaymonov B.A., Kimsanboyev X.X., Esanboyev Sh. Vermins of orchards and basis of biologic fight against them. – T: Extremum press, 2015. – 144.

Материал поступил в редакцию 25.09.18.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ *TRICHOGRAMMA EMBRIOPHAGUM* – ПОЕДАТЕЛЯ
ЛИЧИНОК ЯБЛОННОЙ ПЛОДОЖОРКИ (*CAROSPICA POMONELLA L.*)**

М.К. Рахмонова¹, К.К. Хамдамов²

¹ докторант, ² старший преподаватель

Андижанский филиал Ташкентского государственного аграрного университета (Андижан), Узбекистан

Аннотация. Данная статья посвящена изучению эффективности энтомофага трихограмма в борьбе с яйцами яблонной плодовой жорки. Показано, что использование энтомофага трихограмма против яиц яблонной плодовой жорки в соотношении 1:10 даёт высокий уровень эффективности, биологическая эффективность составляла 75 %.

Ключевые слова: плодовая жорка, вредитель, энтомофаг, паразит, биологическая защита растения.

УДК 379.822

**ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЗЕЙНОГО
ПРЕДМЕТА: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ**

О.М. Корженко, кандидат педагогических наук,
доцент кафедры общетеоретических и гуманитарных дисциплин
Белгородский государственный институт искусств и культуры, Россия

***Аннотация.** В данной статье предпринята попытка проанализировать основные тенденции использования различных музейных предметов, существовавшие в прошлом и актуальные сегодня. Подчеркивается, что данные тенденции непосредственно связаны с особенностями развития общества, отношений внутри него и культуры в целом. Также отмечена важность понимания данных процессов, поскольку современный музей является неотъемлемой частью социокультурной жизни, и его общественное значение в нашей стране и в мире в целом в настоящий период времени находится на подъеме.*

***Ключевые слова:** музей, музейный предмет, культура, коллекция, фонды, источниковедение.*

Изучение музейного предмета имеет много различных аспектов и направлений и до конца не исчерпывается ни одним из них. Особую актуальность такое исследование приобретает сегодня, в связи с тем, что в целом возрастает роль современного музея как социокультурного института.

В рамках данной работы нам необходимо проанализировать различные аспекты использования музейных предметов (в прошлом и настоящем) в процессе решения некоторых проблем, связанных с развитием культуры и общества. Не случайно музеи, которые первоначально создавались лишь для хранения, исследования и экспонирования любопытных (с точки зрения отдельных людей и культуры в целом) вещей природного и искусственного происхождения, со временем превратились в подлинные хранилища социальной памяти. Сегодня мы с уверенностью называем музей социокультурным институтом, поскольку «музеи сохраняют, истолковывают и пропагандируют природное и культурное наследие человечества» [2].

Теорией и методикой выявления, исследования и дальнейшего использования музейных предметов, а также музейных коллекций занимается такая научная отрасль, как музейное источниковедение. Само название данной отрасли было введено в научный оборот относительно недавно – в 1970-х гг. В этой связи отметим, что источниковедение вообще, применительно к различным гуманитарным дисциплинам (например, историческое) стало развиваться еще в конце XVIII – начале XIX вв., а вот музейное источниковедение до недавних пор не рассматривалось учеными как самостоятельная дисциплина (его относили к сфере исторических источниковедческих исследований). Тем не менее к концу XX века сформировалось и распространилось устойчивое мнение о том, что именно музейный предмет является основным (наряду с научно-вспомогательными материалами) объектом изучения музейного источниковедения, и он не тождествен историческому источнику.

Уже давно для работников музеев и музеологов стало очевидным, что любой музейный предмет и в процессе его тщательного изучения, и в дальнейшем процессе экспонирования выделяется из ряда прочих источников, которые несут в себе ту или иную социально-культурную информацию. Он выделяется разнообразием возможностей его использования, способностью вызывать у музейной аудитории сложный спектр эмоций (например, восхищение, гнев, возмущение, сочувствие, сострадание, радость, и т.д.), запоминаться надолго.

Музейные предметы находятся в фондах определенных музеев, а уже с фондами непосредственно работают практически все научные подразделения музея. Данная работа как раз и ориентирована на изучение, сохранение, и максимально полное использование музейных предметов. Она составляет смысл одного из главных направлений деятельности музея – деятельности по комплектованию фондов. Затем приобретенные и частично исследованные музейные предметы должны быть зафиксированы в различных документах музея; таким образом, здесь осуществляется учет фондов, подразумевающий их юридическую охрану.

Надо отметить, что степень использования и фондов в целом, и хранящихся там музейных предметов также зависит от полноты и разносторонности их изучения [10]. Таким образом, фонды музея включают в себе совокупность всех материалов, которые, согласно установленным законодательством правилам, когда-либо поступили на постоянное или временное хранение в конкретный музей. Естественно, именно они составляют основу, на базе которой осуществляется вся музейная деятельность и, в том числе, использование музейных предметов.

Пожалуй, наиболее ранней тенденцией использования музейных предметов надо назвать раскрытие информации, содержащейся в них, ее применение в целях развития культуры, науки, искусства и, в итоге, самого общества. Эта тенденция была характерна уже для деятельности первого в России музея – основанной Петром I Петербургской кунсткамеры. Уже тогда передовые ученые и политические деятели осознавали ценность хранящихся в музее предметов как хранителей уникальной и нужной людям информации.

Музейные предметы с давних пор используются в качестве хранителей социальной памяти народа и человечества в целом. Одна из задач музея – представление различных предметов (артефактов, ценностей и т.п.), которые постепенно утрачиваются или уже утрачены социумом как общеупотребительные, но должны сберегаться как необычайно важное и нужное историко-культурное наследие. В наши дни социокультурная роль музейного предмета – хранителя транслятора различных традиций – еще более повышается. Мы должны отметить, что в современных условиях глобализации он имеет огромное значение.

Также отметим, что с течением времени все более возрастает значение использования коммуникативных возможностей музейных предметов. При этом надо учесть, что любая коммуникация непременно происходит с помощью какого-то носителя. В этой роли могут выступать знаковые системы (например, человеческая речь) или же материальные объекты (к последним как раз и относятся музейные предметы). Понятие «музейная коммуникация» впервые появилось относительно недавно – во второй половине XX века, в те времена, когда музей начал рассматриваться, прежде всего, как социальный институт. Впервые данный термин ввел в употребление канадский музеолог Д. Камерон. Он и его последователи рассматривают использование музейного предмета в рамках коммуникационного подхода, то есть они рассматривают посетителей музеев не просто как пассивных зрителей и слушателей, а как собеседников и партнеров музея, равноправных участников «диалога культур». Следует также отметить, что в рамках российской музеологии коммуникационный подход в основном ориентирован на семиотическую модель культуры. В данном аспекте все музейные предметы надлежит рассматривать, прежде всего, как знаки, а музей в целом – как знаковую систему или своеобразный язык культуры [1; с. 420-421].

Еще одной важной тенденцией использования музейного предмета является его применение не только в экспозиционной, но и в образовательной работе музеев различного профиля. Исследованием проблем данного направления музейной деятельности занимается особая отрасль педагогической науки – музейная педагогика. Постепенно сложившийся механизм передачи культурного опыта человечества через те или иные образовательные институты связан с освоением двух тесно взаимосвязанных пластов культуры. По нашему мнению, приобщение к культурному наследию своего народа и всего человечества пробуждает генетическую память человека, облегчает ему процессы познания и преобразования окружающей действительности. Не случайно академик Д.С. Лихачев подчеркивал: «Память и знание прошлого наполняют мир, делают его интересным, значительным, одухотворенным. Если вы не видите за окружающим вас миром его прошлого, он для вас пуст» [6; с. 108].

Вопрос о месте и роли музейного предмета в образовательном процессе довольно активно разрабатывался еще в первой трети XX века. На современном этапе изучения и внедрения музейной образовательной деятельности (специалисты определяют его начало временем от 1980-х–1990-х гг.) учитываются все достижения и новации предыдущих периодов. Это дало музеологам и музейным педагогам возможность начать теоретическое обобщение имеющегося опыта музейного образования, а также заложить основы систематического, непрерывного и многоступенчатого взаимодействия системы образования и музеев.

Здесь мы видим и такую тенденцию использования музейного предмета, как наделение его функцией преобразователя и своеобразного транслятора материальных и духовных ценностей человечества в будущее, функцией хранителя непрерывного единства прошлого, настоящего и будущего социума и его культуры. Можно заметить, что в этом проявляется аксиологическое значение музейного предмета.

С тенденцией использования музейных предметов в образовательном процессе связана и еще одна тенденция: музейные предметы практически во все времена несут на себе идеологическую нагрузку, формируя определенным образом сознание и мировоззрение людей. Являясь по своей сути неотъемлемой частью социума, музей во все эпохи сразу же реагирует абсолютно на все происходящие в нем изменения. Меняется общество, утверждаются и закрепляются новые виды социального взаимодействия музея с обществом, социальными группами, отдельными его членами.

Музеи в любой из периодов своего существования служат для общества не только хранителями коллективной памяти, но и, безусловно, проводниками тех или иных актуальных в определенное время идей. Достаточно вспомнить тот факт, что сама концепция музея, лежащая в основе документирования, всегда определяется социальными условиями и господствующей в обществе на соответствующем этапе его исторического развития идеологией. Особенно большое значение придавалось идеологической роли музея и музейного предмета в советское время.

Что касается современного российского общества, то оно переживает период смены многих ценностных ориентиров. В частности, исчезла пропаганда советского образа жизни и коммунистических идеалов как единственно правильной модели общественного развития. Зато появилась и интенсивно развивается такая современная тенденция, как демократизация российского общества и его культуры. Она также находит свое отражение в особенностях современного использования музейных предметов.

Нам надо учесть и то, что нынешние социокультурные изменения и мировоззренческие приоритеты во многом связаны – непосредственно и опосредованно – с процессом глобализации. Разумеется, они не могли не затронуть и деятельность музея. Современный музей активно ищет стратегии и пути утверждения собственного

места в культуре нашего времени, в новой социальной ситуации. Это, в свою очередь, также приводят к изменениям в области использования музейных предметов, их изучения и презентации. «Культурные сдвиги, произошедшие во второй половине XX и имеющие место в начале XXI века, определили право каждого человека на собственное видение мира, ... что позволяет переосмыслить роль и значение культурных институций, среди которых особое место занимает музей» [7; с. 119].

Так, например, в декабре 2017 года в Санкт-Петербурге проходила выставка «Новый взгляд. Преобразуясь в веках», организованная Государственным Эрмитажем и Государственным музеем-памятником «Исаакиевский собор» при поддержке Правительства Санкт-Петербурга. Она была посвящена итогам международного фотоконкурса «Новый взгляд», запущенного в Петербурге осенью 2015 года. Здесь музейные предметы – фотографии, представленные участниками конкурса – призваны показать зрителю новый, современный взгляд на человека и его жизненный путь, на метаморфозы данного пути, призваны начать мысленный диалог на эту тему [5]. Еще одним примером современного использования музейных предметов является выставка «Строители нового мира. Коминтерн. 1918–1924», проходившая в Центральном выставочном зале «Московский Манеж» в 2017 году. Представленные здесь экспонаты (главным из них можно считать картину И. Бродского «II Конгресс Коминтерна») наглядно и эмоционально представляли посетителям определенный отрезок нашей истории. Кроме того, в рамках выставки был проведен круглый стол «К 100-летию Великой российской революции. Коминтерн с человеческим лицом». Таким образом, музейные предметы в данном случае выполняли и коммуникативную, и воспитательную, и целый ряд других функций [8; с. 40-45].

Итак, завершая рассмотрение вопроса о тенденциях использования музейного предмета в прошлом и современности, мы пришли к следующим выводам:

- данные тенденции изменяются в связи с преобразованиями, происходящими в обществе;
- основными из них можно назвать: раскрытие информации, содержащейся в музейных предметах, использование их как хранителей социальной памяти, реализацию коммуникативных и образовательных возможностей музейных предметов, а также реализацию их идеологической функции.

Все вышеперечисленное показывает огромный потенциал применения музейных предметов в процессе формирования духовно-нравственных ценностей общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беззубова, О. В. Теория музейной коммуникации как модель современного образовательного процесса / О. В. Беззубова // Коммуникация и образование: сб. статей / О. В. Беззубова. – Санкт-Петербург, 2004. – С. 418-427.
2. Зиновьева, Ю. В. Взаимодействие музея и общества как социокультурная проблема [Электронный ресурс]: дис. ... канд. культуролог. наук / Ю. В. Зиновьева. – Санкт-Петербург, 2000. – 269 с.
3. Ионова, О. В. Музейное строительство в годы довоенных пятилеток (1928-1941 гг.) / О. В. Иванова // Очерки истории музейного дела в СССР. – Москва, 1963. – Вып. 5. – С. 84-85.
4. Коропов, А. Е. Музееведение / А. Е. Коропов. – Москва, 2000. – 311 с.
5. Косторакова, Г. Е. Музееведение (краткий курс лекций) [Электронный ресурс] / Г. Е. Косторакова. – URL: https://superinf.ru/view_helpstud.php?id=229.
6. Лихачёв, Д. С. Письма о добром и прекрасном / Д. С. Лихачёв. – Москва, 1989. – 238 с.
7. Мастеница, Е. Н. Феномен музея: опыт музеевческой рефлексии / Е. Н. Мастеница // Вопросы музеелогии. – 2011. – №1(3). – С. 20-30.
8. Мединский, В. К 100-летию Великой российской революции. Коминтерн с человеческим лицом / В. Мединский // Музей. – 2017. – № 11. – С. 40-45.
9. Музееведение. Музеи исторического профиля: учеб. пособие / под ред. К. Г. Левыкина, В. Хербста. – Москва, 1988. – 431 с.
10. Музейная коллекция. Изучение и научное описание музейных предметов и коллекций: метод. пособие / сост. Н. О. Иванова. – Челябинск, 2012. – 169 с.

Материал поступил в редакцию 19.09.18.

TRENDS IN THE USE OF THE MUSEUM SUBJECT: HISTORY AND MODERNITY

O.M. Korzhenko, Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of General-Theoretical and Humanitarian Disciplines
Belgorod State University of Arts and Culture, Russia

Abstract. *In this article an attempt to analyze the main tendencies of use of various museum subjects, which exist in the past and are relevant today, is made. It is emphasized that these tendencies are directly connected with features of society development, relations in it and culture in general. Importance of understanding of these processes is also noted, because the modern museum is an integral part of sociocultural life, and its public value and in the world in general and in our country currently is on the upgrade.*

Keywords: *museum, museum subject, culture, collection, funds, source study.*

УДК 595.70:628.33.87

ТЕНДЕНЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ЛЕНКОРАНЬ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Ф.Ф. Аллахвердиева, аспирант

Научный руководитель: доктор технических наук С.Т. Гасанов

Азербайджанский научно-исследовательский институт водных проблем (Баку), Азербайджан

***Аннотация.** В статье рассматривается вопрос по установлению тенденции изменения качества воды реки Ленкорань, являющейся одной из крупных рек южной природной зоны Азербайджана. Установлено, что под воздействием изменения климата и антропогенных факторов, качество воды реки Ленкорань формируется в неблагоприятном направлении. Так, в течение 21 года химический состав воды реки подвергся коренному изменению. Минерализация воды реки повысилась в 1,3 раза, содержание хлор иона – в 5,4 раза, сульфат иона – в 1,5 раза, гидрокарбоната – в 1,3 раза. Среди токсичных ингредиентов содержание нитрита увеличилось в 2,0 раза, нитрата – в 5,4 раза, аммония – в 4,3 раза, железа – в 7,0 раз, цинка – в 1,5 раза, алюминия – в 1,3 раза. Мутность речной воды повысилась в 4,7 раза, жесткость – в 1,3 раза, а показатель биологической потребности в кислороде (БПК₅) – в 2,0 раза по сравнению с исходной (1986 г.).*

***Ключевые слова:** река, вода, загрязнитель, ингредиенты, климат, антропогенные факторы.*

Введение. В настоящее время под воздействием изменения климата и антропогенных факторов наблюдается напряженность в экологическом равновесии окружающей среды, в частности изменение в почве, в водных источниках и в атмосфере.

Анализ метеорологических материалов, полученных из различных регионов мира, и опубликованных работ по глобальному изменению климата показывает, что начиная с 60-х годов прошлого столетия изменение климата, в частности глобальное потепление на Земле, приобретает интенсивный характер [2-7, 12, 15, 17, 20, 21, 25]. По данным центров гидрометрических служб мира, за последние 100 лет средняя годовая температура воздуха на Земном шаре повысилась на 0,60-0,74 °C ($\pm 0,18^{\circ}\text{C}$) в том числе и в Азербайджане на 0,40-1,3 °C [7, 12, 21].

Глобальное изменение климата характеризуется не только повышением температуры воздуха, но и неравномерным выпадением атмосферных осадков по регионам мира, таянием ледников, уменьшением площади глетчеров, засухой, природными катаклизмами (увеличением числа землетрясений, извержения вулканов, торнадо и т.д.), увеличением испарения и другими последствиями [17].

В результате изменения климата и хозяйственной деятельности человека водные объекты подвергаются количественному и качественному изменению. По данным Всемирного Банка, в странах Центральной Азии и Кавказа в результате глобального изменения климата у истоков рек уменьшилась подпитка [11].

Практика показывает, что нарушение естественного режима рек приводит к ухудшению качества вод. Использование не качественных вод чревато непредсказуемыми последствиями, т.к. они, влияя на почву, растения и живые организмы, вызывают их деградацию.

Воды реки Ленкорань используются для орошения и водоснабжения населённых пунктов. Поэтому предъявляются особые требования к качеству воды данной реки. Однако по сей день не проводились фундаментальные исследования по изучению изменения качества воды реки Ленкорань. В связи с этим изучение и установление тенденции изменения качества воды реки Ленкорань является одной из актуальных и важных вопросов современности.

Целью работы является установление тенденции изменения качества воды реки Ленкорань на фоне изменения климата и антропогенного воздействия на окружающую среду для разработки конкретных мероприятий по предотвращению неблагоприятных последствий.

Объектом исследования являются воды реки Ленкорань.

Методика исследования. Для установления тенденции изменения качества воды реки 4 раза в год (летом, зимой, осенью и весной) отобраны пробы воды из стационарного гидрометрического поста, оборудованного в устьевой части реки, расположенного на расстоянии 50 м от магистральной автомобильной дороги Баку-Астара. Отобраные пробы воды подвергались полному химическому анализу и определены общая минерализация, ионный состав

(HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), мутность (взвешенные частицы), общая жесткость, тяжёлые металлы (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+}), биогенные соединения (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) и показатель биологической потребности в кислороде (БПК₅).

Показатели качества воды и содержание ингредиентов определены согласно Госстандартом, действующем в Азербайджане [8-10], и методиками, изложенными в руководствах, указаниях и практикумах [1, 13, 14, 19, 22]. Все химические анализы выполнены непосредственно автором настоящей работы [24]. Производилось сравнение результатов по качеству и загрязнению воды реки с данными, полученными в 80-х годах прошлого столетия. Так как в то время в зонах охраны, в том числе и в руслах и на берегах рек, не допускалось проведение хозяйственных работ, запрещенных законодательными актами и нормативными документами. В то время изменение климата не приобретало такого характера, как наблюдается сейчас.

Результаты и их обсуждение Ленкоранская природная зона расположена на юге Азербайджана, которая охватывает Астаринский, Ленкоранский, Масаллинский, Лерикский, Ярдымлинский и Джалилабадский административные районы. В этой зоне протекают 8 более менее крупных рек и среди них самой крупной по водности является река Ленкорань. Протяженность этой реки составляет 81 км, минимальный расход – 0,31 м³/с, максимальный – 1070 м³/с (1956 г.), средне-многолетний расход – 14 м³/с, а площадь водосборного бассейна – 1080 км² [16, 18]. Река Ленкорань берёт своё начало в Талышских горах и впадает в Каспийское море, отметка которого составляет – 28 м.

Воды реки Ленкорань используются для орошения сельскохозяйственных культур и водоснабжения населённых пунктов. Поэтому река в развитии экономики и сельского хозяйства Ленкоранской природной области играет существенную роль.

Проведённые нами мониторинги по изучению современного состояния реки позволили установить, что имеет место внешнее вмешательство в русло реки и её охранную зону. Так, вырублены деревья и уничтожены естественные кустарники, защищавшую реку от эрозии и селевых потоков. В зоне охраны реки построены жилищные дома, производственные объекты, созданы фермы, и песчано-гравийные карьеры, на обнажённых берегах реки образовалась водная эрозия и смыв почвы.

В 1976 году на реке Диздор построено Верхнее Ханбуланчайское водохранилище с вместимостью 52 млн м³. Для подпитки правый приток реки Ленкорань Башарю соединен с водохранилищем. Вокруг этого водохранилища созданы пансионаты, коттеджи для туристов, лагеря для отдыха и т.д.

Всё это свидетельствует о том, что река Ленкорань подвержена естественным и антропогенным воздействиям, в результате чего произошло качественное изменение в речной воде.

Для изучения изменения качества воды реки Ленкорань в течение 14 лет проводились непрерывные наблюдения за их химическим и биологическим составом. Результаты этих исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Как видно из данных таблиц 1 и 2, качество воды в 1986 году по минерализации и химическому составу отвечало всем требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Общая минерализация воды реки составила 305 мг/л, жесткость не превышала 3 мг-экв/л, а все анионы, катионы и другие ингредиенты в несколько раз были ниже порога токсичности. Однако, начиная с 2004 года, отмечалось постепенное повышение степени минерализации, содержание токсичных ионов. По сравнению с данными, полученными в 1986 году, минерализация воды реки увеличилась в 1,3 раза, содержание хлор иона – в 5,4 раза, сульфата – в 1,5 раза, гидрокарбоната – в 1,3 раза (табл. 1). Содержание токсичных ингредиентов нитрита повысилась в 2,0 раза, нитрата – в 5,4 раза, а аммония – в 4,3 раза. Содержание тяжёлых металлов, таких как железа, увеличилось в 7,0 раз, цинка – в 1,5 раза, а алюминия – в 1,3 раза. Мутность речной воды по сравнению с исходными (1986 годом) данными повысилась в 4,7 раза, жесткость – в 1,3 раза, а значение показателя биологической потребности в кислороде (БПК₅) – в 2,0 раза (табл. 2). Однако с 2004 года до 2017 год, среднее содержание катиона кальция почти не изменилось, за исключением 2008-го и 2009-го годов (табл. 1). Во время исследования, за исключением 2006 года, медь в речной воде не обнаружена.

Анализ материалов по химическому составу воды показывает, что воды реки Ленкорань в общей сложности относятся к категории щелочных вод. Однако повышение содержания аммония (NH_4^+) свидетельствует о том, что в речной воде постепенно образуется кислотность, так как в кислых водах аммиак (NH_3) превращается в аммоний (NH_4^+).

Следует отметить, что содержание ингредиентов, в том числе токсичных соединений, в воде реки Ленкорань не превышает допустимых пределов [3, 8, 9]. Тем не менее наблюдается тенденция постепенного ухудшения качества и процесс загрязнения речной воды.

Таблица 1

Изменение минерализации, ионного состава и жесткости воды реки Ленкорань, *mg/l*

Годы	Минерализация	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Жесткость, <i>mg.-ekv</i>
1986	305	176	5	41	55	6	19	3
2004	538	214	36	143	25	24	97	3
2005	353	193	21	49	52	13	26	4
2006	380	198	34	48	46	14	40	3
2007	313	163	24	46	47	12	22	3
2008	638	381	36	55	90	15	61	6
2009	407	244	18	39	70	6	30	4
2010	436	214	27	91	20	36	49	4
2011	407	244	18	39	70	6	3	4
2012	382	214	9	66	50	18	26	4
2013	404	244	18	45	40	24	33	4
2014	407	214	22	14	35	30	33	4
2015	415	214	21	77	43	22	39	4
2016	417	203	53	55	57	26	22	5
2017	402	206	40	50	56	15	34	4
Среднее за 2004-2017 г.г.	393	225	27	63	50	19	39	4

Таблица 2

Изменения содержания ингредиентов в реке Ленкорань, *mg/l*

Годы	Мутность	OBT_5	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Al^{3+}	Zn^{2+}
1986	3	2	0,01	0,07	0,06	0,01	0	0,08	0,004
2004	9	4	0,04	1,26	0,50	0,08	0	0,03	0,005
2005	3	8	0,03	0,47	0,26	0,09	0	0,02	0,006
2006	2	4	0,02	0,39	0,15	0,12	0,003	0,15	0,005
2007	41	3	0,02	0,81	0,18	0,09	0	0,06	0,005
2008	4	5	0,01	0,50	0,05	0,05	0	0,13	0,008
2009	6	4	0,01	0,05	0,08	0,01	0	0,13	0,006
2010	4	2	0,07	0,07	0,80	0,17	0	0,11	0,008
2011	5	2	0,01	0,50	0,08	0,01	0	0,13	0,007
2012	3	4	0,02	0,06	0,80	0,01	0	0,11	0,008
2013	49	3	0,02	0,25	0,45	0,07	0	0,11	0,007
2014	19	1	0,02	0,21	0,05	0,07	0	0,11	0,005
2015	43	2	0,02	0,26	0,07	0,05	0	0,10	0,005
2016	7	2	0,01	0,05	0,09	0,05	0	0,09	0,004
2017	15	4	0,01	0,48	0,09	0,15	0	0,10	0,004
Среднее за 2004-2017 г.г.	14	4	0,02	0,38	0,26	0,07	0	0,10	0,006

Таким образом, проведённые многолетние исследования по установлению изменения качества воды позволяют сделать следующие **выводы**.

1. Явно наблюдается воздействие глобального изменения климата и антропогенных факторов на качество воды реки Ленкорань и постепенного его ухудшения, так как содержание токсичных ингредиентов в воде повысилось в 1,3-7,0 раза по сравнению с данными, полученными в 80-ых годах прошлого столетия.

2. Если не прекратится необоснованное вмешательство в речную среду, то примерно через 20-30 лет произойдёт явное загрязнение воды токсичными ингредиентами, в частности нитритами, нитратами, аммонием, железом, цинком и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёкин, О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алёкин, А.Д. Семёнов, Б.А. Скопинцев. – Л.: 1973. – С. 92.
2. Аскарова, М.А. Проблемы изменения климата: Тенденции развития и оценка экономической безопасности изменения климата на примере Казахстана / М.А. Аскарова // Труды Географического Общества Азербайджана, т. XVIII. – Баку: Аврора, 2013. – С. 27-35.
3. Бабаев, Г.Б. Экология и современная гидросфера / Г.Б. Бабаев. – Баку: Чашыоглы, 2007. – 492 с.
4. Будыко, М.И. Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометиздат, 1980. – С. 351.
5. Гасанов, С.Т. Глобальное изменение климата: хроника, глобальное потепление, причины, противоположные взгляды / С.Т. Гасанов, Ф.Ф. Аллахвердиева // Аграрная наука Азербайджана. – 2017. – № 4. – С. 106-114.

6. Глобальное потепление. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/глобальное потепление](https://ru.wikipedia.org/wiki/глобальное_потепление), 2016.
7. Глобальное потепление: Факты, гипотезы, комментарии. – <https://ru.wikipedia.org>, 2016.
8. ГОСТ 18165-72. Вода питьевая, 1974. – С. 24.
9. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая, 1974. – С. 57.
10. ГОСТ 4151-72. Вода питьевая, 1974. – С. 19.
11. Засуха. Оценка управления и смягчения эффектов для стран Центральной Азии и Кавказа / Отчет Всемирного Банка № 31998. – ЕСА, 2005, -126 с.
12. Изменение климата Земли. – www.grandars.ru *География* Земледелие, 2016.
13. Коростылёв, П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ / П.П. Коростылёв. – М.: Наука, 1964. – С. 221-223.
14. Кульский, Л.А. Химия и микробиология воды / Л.А. Кульский, Т.М. Левченко, М.В. Петрова. – Киев: 1976. – С. 16.
15. Логинов, В.Ф. Сезонные и многолетние особенности глобальных и региональных изменений климата и их возможные причины / В.Ф. Логинов // Труды Географического Общества Азербайджана, т. XVIII. – Баку: Аврора, 2013. – С. 209-220.
16. Мамедов, М.А. Гидрография Азербайджана. Изд. 2-ое. / М.А. Мамедов. – Баку: «Тахсил» НПМ., 2012. – 254 с.
17. Махмудов, Р.Н. Астрофизические факторы и изменение климата / Р.Н. Махмудов / Материалы научно-практической конференции. – Баку: 2002. – С. 99-101.
18. Намазов, И.Ш. Многолетние данные по качеству вод в области водного хозяйства Азербайджанской Республики. Технический отчет / И.Ш. Намазов, Ф.Ф. Аллахвердиева. – Баку: 2014. – 83 с.
19. Новиков, Ю.В. Методы определения вредных веществ в воде водоёмов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. – М.: Медицина, 1981. – С. 26.
20. О проблемах и последствиях глобального изменения климата на Земле. – Microsoft Word. – Email: center@allatra.org. www.allatra.org/ru/pages/climate/, 2016.
21. Решат Догру. Доклад. Глобальное изменение климата, причины, действия и возможные последствия для стран-участников ЧЭС / Решат Догру; Док. GA 42/EC41/REP/13/г, Тбилиси, 18 декабря 2013 г.
22. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семёнова. – Л.: Гидрометеониздат, 1977. – С. 19-329.
23. Рустамов, С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР / С.Г. Рустамов, Р.М. Кашкай. – Баку: Элм, 1989. – 184 с.
24. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. – М.: 1971. – С. 109.
25. Факты-причины – последствия изменений климата. – katakizmie.narod.ru/faktu.html, 2016.

Материал поступил в редакцию 26.09.18.

TENDENCY OF CHANGE OF WATER QUALITY OF LANKARAN RIVER UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS

F.F. Allakhverdiyeva, Postgraduate Student

Scientific Adviser: Doctor of Technical Sciences **S.T. Gasanov**
Azerbaijan Research Institute of Water Problems (Baku), Azerbaijan

Abstract. *In this article the issue of tendency of water quality change of the Lankaran river (one of the rivers of the southern natural zone of Azerbaijan, large on water content) is considered. It is established that as a result of climate change and anthropogenic factors, the quality of water of the Lankaran river is formed in the negative direction. So, during 21 years, the chemical composition of the river water underwent drastic change. The mineralization of river water raised by 1,3 times, contents of the chloride ion – by 5,4 times, sulfate ion – by 1,5 time, hydrocarbonate – by 1,3 times. Among toxic ingredients the content of nitrite increased by 2,0 time, nitrate – by 5,4 time, ammonium – by 4,3 time, ferrum – by 7,0 times, zinc – by 1,5 time, aluminum – by 1,3 times. The muddiness of river water increased by 4,7 times, water hardness – by 1,3 times, and the indicator of biological oxygen demand (BOD) – by 2,0 times in comparison with initial (1986).*

Keywords: *river, water, pollutant, ingredients, climate, anthropogenic factors.*

Наука и Мир

Ежемесячный научный журнал

№ 10 (62), Том 1, октябрь / 2018

Адрес редакции:
Россия, 400081, г. Волгоград, ул. Ангарская, 17 «Г», оф. 312.
E-mail: info@scienceph.ru
www.scienceph.ru

Изготовлено в типографии ООО «Сфера»
Адрес типографии:
Россия, 400105, г. Волгоград, ул. Богунская, 8, оф. 528.

Учредитель: ООО Издательство «Научное обозрение»

ISSN 2308-4804

Редакционная коллегия:
Главный редактор: Мусиенко Сергей Александрович
Ответственный редактор: Маноцкова Надежда Васильевна
Лукиенко Леонид Викторович, доктор технических наук
Боровик Виталий Витальевич, кандидат технических наук
Дмитриева Елизавета Игоревна, кандидат филологических наук
Валуев Антон Вадимович, кандидат исторических наук
Кисляков Валерий Александрович, доктор медицинских наук
Рзаева Алия Байрам, кандидат химических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Кондрашихин Андрей Борисович, доктор экономических наук, кандидат технических наук

Подписано в печать 25.10.2018 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Заказ № 94. Свободная цена. Тираж 100.