

*Журнал проблем эволюции открытых систем*

**НИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ  
КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА им. АЛЬ-ФАРАБИ**

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ СЕМИНАР  
“ОРГАНИЗАЦИИ И ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР”**

**ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**ЖУРНАЛ  
ПРОБЛЕМ ЭВОЛЮЦИИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ  
(Журнал ПЭОС)**

**Выпуск двадцатый**

**Том 1  
(Январь-июнь)**

Алматы  
2018

**Редакционная коллегия:**

Главный редактор: *Казахстан* Академик НАН РК Рамазанов Т.С.

Зам.главного редактора: *Казахстан* Проф., д.ф.-м.н. Сомсиков В.М.  
*Казахстан* к.ф.-м.н. Лаврищев О.А.

Ответственные секретари: *Казахстан* к.ф.-м.н. Нұрғалиева Қ.Е.  
*Россия* к.б.н. Садовская Г.М.

Технический редактор: *Казахстан* Андреев А.Б.

**Члены редакционной коллегии:**

**Физика**

*Казахстан* Проф., д.ф.-м.н. Жанабаев З.Ж.  
*Россия* Проф., д.ф.-м.н. Чашечкин Ю.Д.  
*Испания* Проф., д.ф.-м.н. Pisarchik A.N.

**Математика**

*Казахстан* Проф., д.ф.-м.н. Алексеева Л.А.  
*Россия* Проф., д.ф.-м.н. Горбань Н.А.  
*Россия* к.ф.-м.н. Еганова И.А.

**Космос, Земля**

*Казахстан* Член.-корр. НАН РК Жантаев Ж.Ш.  
*Казахстан* д.ф.-м.н. Хачикян Г.Я.

**Химия**

*Казахстан* Академик НАН РК Ергожин Е.Е.  
*Россия* Проф., д.х.н. Быков В.И.

**Биология, Медицина**

*Казахстан* Проф., д.м.н. Байназарова А.А.  
*Казахстан* Проф., д.б.н. Иващенко А.Т.  
*Казахстан* Проф., д.б.н. Нуртазин С.Т.  
*Россия* Проф., д.б.н. Печуркин Н.С.  
*Россия* Проф., д.б.н. Сомова Л.А.  
*Казахстан* Проф., д.б.н. Тулеуханов С.Т.

**Прикладные исследования**

*Казахстан* Проф., д. ф.-м.н. Дробышев А.С.

В журнале публикуются статьи по междисциплинарным исследованиям в области естественных наук. Основное направление связано с исследованием свойств открытых систем и проблемами организации и эволюции природных структур.

Журнал входит в список рекомендованных для публикации научных статей ККСОН (Комитет по контролю в сфере образования и науки) МОН РК.

**Адрес офиса:** Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби д.71, корпус физико-технического факультета НИИ экспериментальной и теоретической физики (НИИ ЭТФ) для Нұрғалиевой Қ.Е.

**E-mail:** vmsoms@rambler.ru и kdungen@mail.ru, kdungen@rambler.ru

**Сайт:** <http://peosjournal.org/>

Печатается без редакторской и коррекционной правки

ISBN 9965-01-766-2

© КазНУ им. аль-Фараби

© НИИ ЭТФ

© Авторы статей

**ФИЗИКА**

<b>Бастыкова Н.Х., Молдабеков Ж.А., Коданова С.К., Рамазанов Т.С.</b>	Движения заряженных частиц в центральном поле поляризованной пылинки	5
<b>Сомсиков В.М., Андреев А.Б., Мохнаткин А.И., Капытин В.И.</b>	Дуальное фазовое пространство неравновесной системы	12
<b>Чашечкин Ю.Д.</b>	Научные основы механики жидкостей	19
<b>Алимгазинова Н.Ш., Наурызбаева А.Ж., Манапбаева А.Б., Изтлеуов Н.Т., Икрамова С.Б.</b>	Юпитер атмосферасы құрылымын мультифракталды талдау	33
<b>Мальцев А.Д.</b>	Математическая модель описания и взаимодействия материи и физического вакуума	41
<b>Zhukeshov A.M., Gabdullina A.T., Amrenova A.U., Mukhamedryskyzy M., Fermakhan K.</b>	Investigation of coatings obtained by vacuum-arc deposition	53
<b>Афанасьев Д.А., Ибраев Н.Х., Нурмаханова А.К., Едрисов А.Т. , Селиверстова Е.В.</b>	Образование и рекомбинация электрон-дырочных парв матрицах галогенсодержащих производных поли- $n$ -эпоксипропилкарбазола, допированных полиметиновым красителем	59
<b>Архипов Ю.В., Аскарулы А., Ашикбаева А.Б., Дубовцев Д.Ю., Мурсал Н, Сызганбаева С.А., Ткаченко И.М.</b>	Динамические структурные факторы модельной неидеальной плазмы	68

**МАТЕМАТИКА**

<b>Проняев В.В.</b>	К взаимосвязи открытых неравновесных динамических систем (ОНДС) с математическими объектами в аспекте развития физической картины мира	74
---------------------	--	----

**БИОЛОГИЯ**

<b>Чиженкова Р.А.</b>	Бутирилхолинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействии	84
<b>Чиженкова Р.А.</b>	Библиометрический анализ издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" по РФФИ	91
<b>Для авторов</b>		97

Н.Х. Бастыкова, Ж.А. Молдабеков, С.К. Коданова, Т.С. Рамазанов  
 НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

## ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ПЫЛИНКИ

В данной работе исследуется движение иона вокруг пылевой частицы и движение пылевой частицы в центральном поле поляризованной пылевой частицы на основе экранированных потенциалов взаимодействия, которые учитывают эффект поляризации пылевых частиц. Были получены углы рассеяния заряженных частиц вокруг поляризованной пылевой частицы, а также их траектории при различных прицельных параметрах. Было выявлено, что поляризация пылинок может вести к уменьшению сечения неупругого столкновения между пылинками. Показано, что при сильных взаимодействиях влияния эффекта поляризации мало, который возникает только при слабых взаимодействиях. В связи с этим, эффект поляризации пылевой частицы на движение иона в центральном поле пылевой частицы влияет незначительно. При слабых взаимодействиях пылевой частицы в центральном поле поляризованной пылевой частицы появляется некий критический прицельный параметр, при котором налетающая пылевая частица, рассеивается на малый угол близки к нулю. Последнее появляется только при относительно больших энергиях налетающей пылевой частицы  $0.005 < \beta < 0.2$ . Данный эффект “нулевого” рассеяния может появиться при более низких энергиях пылевых частиц реализующихся на экспериментальных установках по исследованию пылевой плазмы.

**Ключевые слова:** пылевая плазма, экранированные потенциалы взаимодействия, поляризация, сечение рассеяния.

### Введение

Пылевая плазма представляет собой ионизованный газ, содержащий заряженные частицы конденсированного вещества. Пылевые частицы, находящиеся в плазме, приобретают электрический заряд и представляют собой дополнительную заряженную компоненту плазмы, которые могут иметь размер от нескольких десятков нанометров до нескольких микрометров. Это позволяет вести наблюдение за пылевой компонентой плазмы визуальными методами, что в свою очередь дает возможность исследовать ее свойства на уровне индивидуальных частиц. Пылевые частицы могут иметь заряд превосходящий заряд электрона от нескольких десятков до нескольких десятков тысяч раз. Последние два десятилетия комплексная плазма активно исследуется во всем мире как для фундаментального понимания динамики сильно связанных открытых систем [1-3], так и в практических целях [4-7]. В лабораторных условиях пылевая плазма исследуется в различных видах газового ряда [8-17].

В данной работе исследуется движение иона вокруг пылинки и движение пылинки на пылинке в центральном поле. В качестве потенциала взаимодействия используется экранированный потенциал, который учитывает эффект поляризации пылинок [18]. В работе [18] были исследованы влияние поляризации пылевых частиц на процессы рассеяния в комплексной плазме.

### Теория

Рассмотрим движение частицы относительно другой неподвижной частицы, которые имеют массы  $m_1$  и  $m_2$  взаимодействующие потенциалом  $U(r)$ . Эта задача эквивалентна к рассеянию одной частицы из приведенной массы,  $m = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ , в поле  $U(r)$  (центр которого находится в центре масс).

Движение частицы в центральном поле  $U(r)$  определяется исходя из законов сохранения энергии и момента следующим образом [19]:

$$\dot{r} \equiv \frac{dr}{dt} = \sqrt{\frac{2}{m} [E - U(r)] - \frac{M^2}{m^2 r^2}}. \quad (1)$$

Из закона сохранения момента известно следующее выражение:

$$d\varphi = \frac{M}{mr^2} dt. \quad (2)$$

Подставив из уравнения (2)  $dt$  в уравнение (1) получаем выражение:

$$dr = d\varphi \frac{mr^2}{M} \sqrt{\frac{2}{m} [E - U(r)] - \frac{M^2}{m^2 r^2}}. \quad (3)$$

Зная что,  $M = p v_\infty$  уравнение (3) записывается следующим образом:

$$dr = d\varphi \frac{r^2}{p} \sqrt{1 - U_{eff}(r, p)}, \quad (4)$$

где,  $U_{eff}$  - эффективная потенциальная энергия, нормированная на кинетическую энергию  $E = mv^2 / 2$ ,

$$U_{eff}(r, \rho) = \rho^2 / r^2 + 2U(r) / mv^2. \quad (5)$$

Эффективный потенциал (5) учитывает потенциал взаимодействия  $U(r)$  и центробежную силу [20]. Для заданного  $\rho$  значения  $r_{min}$ , при котором

$$U_{eff}(r_{min}, \rho) = 1, \quad (6)$$

соответствует расстоянию минимального сближения частиц.

*Движение иона вокруг пылинки.* В данном разделе рассматривается движение иона вокруг пылинки.

В качестве потенциала взаимодействия  $U(r)$  используется экранированный потенциал взаимодействия иона с заряженной сферой, который учитывает эффект поляризации пылинок [18] и имеет следующий вид:

$$\Phi_{id}(r) = -\frac{e^2 Z}{r} \exp(-rk_D) + \frac{e^2 a}{2} \left[ \frac{1}{r^2} - \frac{a}{r(r^2 - a^2)} + \frac{\left( \frac{f(r+a) + f(r-a)}{2} - f(r) \right)}{2rk_D^{-1}} \right], \quad (7)$$

где

$$f(x) = \exp(-xk_D) Ei(xk_D) - \exp(xk_D) Ei(-xk_D) \quad (8)$$

$$Ei(-ax) = -\int_x^\infty dx \exp(-ax) / x,$$

$$Ei(ax) = \int_x^\infty dx \exp(ax) / x.$$

здесь,  $k_D$  параметр экранирования - величина обратная Дебаевской длине  $\lambda$ ,  $Z$  и  $a$  заряд и радиус пылинки соответственно.

При переходе к нормированному расстоянию  $r/\lambda$  поведение эффективного потенциала определяются следующими безразмерными параметрами  $\beta = e^2 Z_a / mv^2 \lambda$  и  $\alpha = a/\lambda$ , где  $a$  - радиус пылевой частицы.

Стандартный подход кулоновского рассеяния (потенциал Кулона с обрезанием, на  $\rho = \lambda$ ), который широко используется для описания столкновений в обычной электрон-ионной плазме в случае когда  $\beta \ll 1$ . Например, для электрон-ионного столкновения в изотропной плазме  $\beta(v_{Te}) = e^2 / T_e \lambda \approx N_D^{-1} \ll 1$  (где  $v_{Te} = \sqrt{T_e / m_e}$  тепловая скорость электронов,  $\lambda$  длина экранирования Дебая и  $N_D$  число электронов внутри сферы Дебая). В этом случае взаимодействие можно назвать "слабой", в том смысле, что его диапазон - радиус Кулона  $r_C = e^2 / T_e$  - гораздо меньше, чем длина экранирования  $\lambda$ . Отношение передачи импульса от электронов  $r_C < \rho < \lambda$  в том, что  $\rho < r_C$  приблизительно равно так называемому кулоновскому логарифму,  $\Lambda = \ln(1/\beta) \gg 1$ . Относительный вклад электронов при  $\rho > \lambda$  мала,  $\approx \Lambda^{-1}$ , из-за экранирования [2]. Таким образом, передача импульса в основном связана с рассеянием в потенциале Кулона. Это оправдывает стандартный подход кулоновского рассеяния в пределе  $\beta \ll 1$ . Большинство вкладов в передаче импульса в этом случае связано с малым углом рассеяния (электроны преломляются сильно, только если  $\rho \leq r_C$ ). Приближение стандартного Кулоновского рассеяния не применимо в случае, когда  $\beta \geq 1$ . В этом случае область взаимодействия превышает длину экранирования и отклонение может быть сильным когда  $\rho > \lambda$ . В работе [3] показана расширенная теория стандартного Кулоновского рассеяния с учетом столкновении с прицельным параметром выше длины Дебая  $\lambda$ . Это в основном приводит к изменению Кулоновского логарифма. Также приближение в работе [3] не

строго, но имеет хорошие согласия с работами [4,5] только когда  $\beta \approx 5$ .

В работе [20] были исследованы столкновения иона с пылевой частицей, которые взаимодействуют с потенциалом Юкавы. В работе [19] рассматривается сильное взаимодействие случай когда  $\beta \gg 1$ . Этот предел противоположен к теории стандартного Кулоновского столкновения и требует новые физические приближения. Для нулевого прицельного параметра  $\beta \gg 1$ . Начнем с краткого описания радиального движения частиц, взаимодействующих притягивающим потенциалом Юкавы. Для ненулевого прицельного параметра  $U_{eff}(r, \rho)$  имеет следующие асимптотики:  $\lim_{r \rightarrow 0} U_{eff} = \infty$  и  $\lim_{r \rightarrow \infty} U_{eff} = 0$ . Таким образом, минимальное расстояние наибольшего сближения  $r_{min}$  всегда имеет хотя бы одно решение. Тем не менее, анализ показывает, что  $U_{eff}$  не уменьшается монотонно с  $r$ , но может доставить локальный максимум и минимум, так что уравнения (6) может иметь несколько корней (два или три) при некоторых определенных условиях. Физически это означает, что возникает потенциальный барьер. Для случая когда,  $\beta < \beta_{cr} \approx 13.2$  уравнения (6) имеет один корень  $r_0 < \lambda$ , в этом случае частицы могут подходить близко друг к другу (близкое столкновение). Для  $\beta > \beta_{cr}$  существует критический (переходный) прицельный параметр  $\rho_*(\beta)$ , не отделяя траектории на две группы: в случае, когда  $\rho < \rho_*$  не имеется барьер, но для  $\rho > \rho_*$  барьер возникает и частицы отражаются на гораздо дальние расстояния (дальнее столкновение). Это вызывает разрыв в изгибообразователе  $r_0(\rho)$  в  $\rho = \rho_*$  [3] (два корня, " переход столкновений "). Это также означает, особенность при  $\rho = \rho_*$  для зависимости угла рассеяния  $\chi$  на  $\rho$ . В непосредственной близости от максимума  $U_{eff}$  имеет место разложение:  $(1 - U_{eff})|_{\rho \rightarrow \rho_*} \propto (r - r_{max})^2 + O((r - r_{max})^3)$  где

$r_{max}$  местоположение максимума. В соответствии с формулой (1) в работе [19] это вызывает логарифмическое расхождение угла рассеяния при  $\rho = \rho_*$ , который показан на рисунке 1. Таким образом, существование потенциального барьера на  $\beta > \beta_{cr}$  и разрывы это индуцирует играют решающую роль для анализа столкновений, который определяется из следующих условий [1,2]: (i)  $U_{eff}(r_{max}, \rho_*) = 1$ ; (ii)  $U'_{eff}(r_{max}, \rho_*) = 0$ ; (iii)  $U''_{eff}(r_{max}, \rho_*) < 0$ .  $r_{max}$  положение максимума, который определяется из уравнений  $(r_{max} / \lambda)e^{r_{max}/\lambda} = \beta(r_{max} / \lambda - 1)$ .

Появление потенциального барьера и расположение ее максимума (т.е.,  $\rho_*$  и  $r_{max}$ ) определяются тремя условиями [5]: (i)  $U_{eff}(r_{max}, \rho_*) = 1$ ; (ii)  $U'_{eff}(r_{max}, \rho_*) = 0$ ; (iii)  $U''_{eff}(r_{max}, \rho_*) < 0$ , где штрихи означают производные по  $r$ .

Все три условия могут быть удовлетворены одновременно только для  $\beta \geq \beta_{cr} \approx 13.2$ . Положение максимума  $r_{max}$ , который определяется из уравнений  $(r_{max} / \lambda)e^{r_{max}/\lambda} = \beta(r_{max} / \lambda - 1)$ .

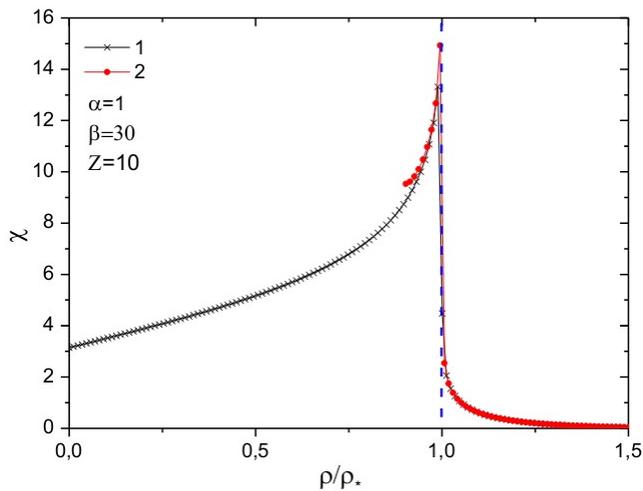
Условия (i) и (ii) определяют переходный прицельный параметр, в зависимости от  $r_{max}$  и, таким образом, из  $\beta$ ,

$$\rho_* = r_{max} \sqrt{\frac{r_{max} / \lambda + 1}{r_{max} / \lambda - 1}}, \quad (9)$$

который также увеличивается начиная с  $\rho_*(\beta_{cr}) / \lambda \approx 3.33$ . При больших  $\beta$  мы нашли асимптотические решения  $(r_{max} / \lambda) \approx \ln \beta - \ln^{-1} \beta$  и  $\rho_* / \lambda \approx \ln \beta + 1 - 0.5 \ln^{-1} \beta$ .

На рисунке 1 приведен угол рассеяния в зависимости от прицельного параметра. Угол рассеяния для потенциала (7) рассчитан в случае, когда расстояние минимального сближения больше радиуса пылевой частицы  $r_{min} > a$ . Угол рассеяния, полученный экранированным потенциалом взаимодействия (7) был сравнен с результатами, полученными с использованием потенциала Юкавы. Небольшое различие наблюдается

только при маленьком заряде пылевой частицы  $Z_d=10$ , как видно из рисунка 1. При  $\rho < \rho_*$  угол рассеяния увеличивается монотонно до  $\rho = \rho_*$ , и быстро уменьшается при  $\rho > \rho_*$ . В случае когда  $\beta < 1$  (слабое взаимодействие), прицельный параметр нормирован на  $\lambda$ . На рисунке 2 показаны траектории иона на пылинке при различных значениях прицельного параметра  $\rho / \lambda$ .



$\rho_*$  - переходный (transitional) прицельный параметр).  $\rho / \rho_* = 1.0$  при  $r_{\min} / \lambda > \alpha$

Рисунок 1 - Угол рассеяния в зависимости от нормированного прицельного параметра  $\rho / \rho_*$  (

При больших значениях прицельных параметров происходит рассеяния иона на дальних расстояниях, это соответствует случаю когда  $\rho > \rho_*$  (рисунок 1). При прицельных параметрах  $\rho / \lambda \leq 4.24$  наблюдается близкое столкновение иона с пылинкой.

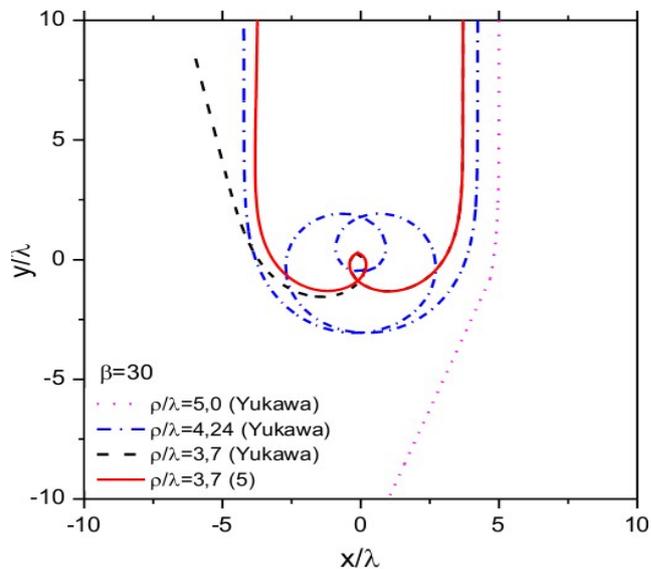


Рисунок 2 – Траектория иона на пылинке при различных значениях прицельного параметра  $\rho / \lambda$  ( $\rho_* \cong 4.24\lambda$ )

*Движение пылинки на пылинке.* В данном разделе рассматривается движение иона вокруг пылинки. В качестве потенциала взаимодействия  $U(r)$  используется экранированный потенциал взаимодействия пылинок, который учитывает эффект поляризации пылинок [18] и определяется следующим выражением:

$$\Phi_{dd}(r) = \frac{e^2 Z^2}{r} \exp(-r / \lambda) + \frac{eZ\Delta d}{r} \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{2\lambda} f(r) \right] \quad (10)$$

где  $f(x)$  определяется формулой (8),  $\Delta d / (eZ\lambda) \leq 0.1$  (предел слабой поляризации пылинок).

Определим следующие безразмерные параметры  $\tilde{\rho} = \rho / \lambda$ ,  $\beta = e^2 Z^2 / m v^2 \lambda$ . Так же переопределим параметр  $\alpha$  как  $\alpha = \Delta d / (eZ\lambda)$ .

На рисунке 3 приведены угол рассеяния, полученный экранированным потенциалом взаимодействия (10) в зависимости от прицельного параметра при  $\alpha = 0.1$  и  $\beta = 0.1$ .

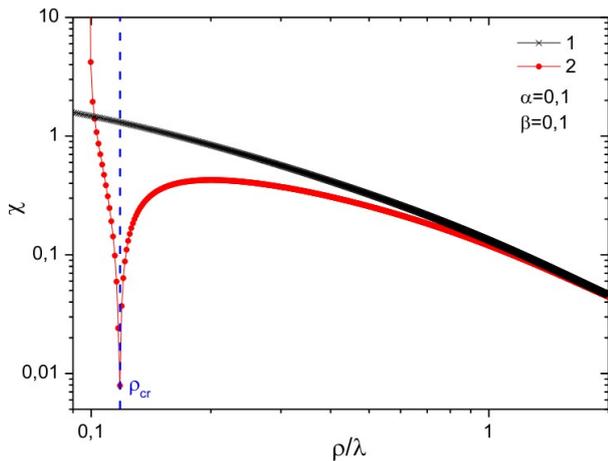


Рисунок 3 - Угол рассеяния в зависимости от нормированного прицельного параметра  $\rho/\lambda$

Найдено, что в случае когда  $\beta < 1$  (слабое взаимодействие) появляется некий критический прицельный параметр  $\rho_{cr}$ , в котором налетающая пылинка, рассеивается на малый угол близки к нулю. Соответствующая траектория пылинки показана на рисунке 4.

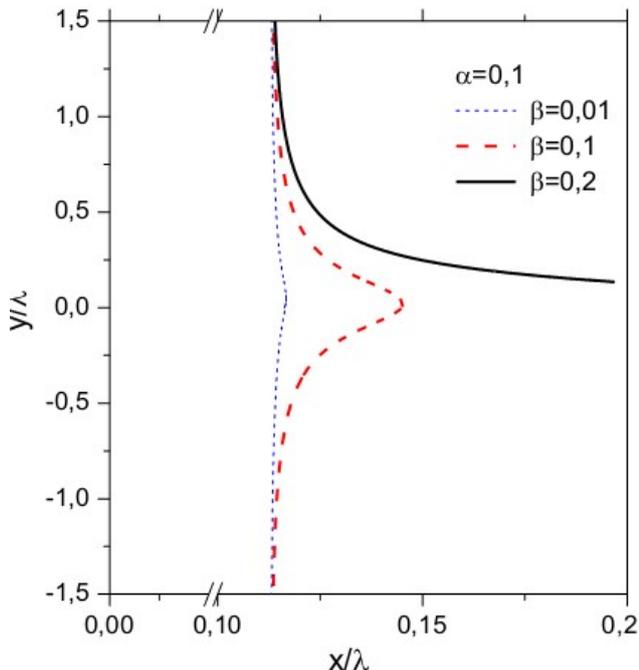


Рисунок 4 – Траектория пылинки на пылинке при различных значениях безразмерного параметра  $\beta$

### Заключение

На основе экранированных потенциалов взаимодействия частиц пылевой плазмы с учетом поляризации частиц были исследованы движения иона вокруг пылевой части-

цы и движение пылинки на пылинке. Из результатов видно, что при сильных взаимодействиях ( $\beta \gg 1$ ) влияние эффекта поляризации мало и возникает только при слабых взаимодействиях ( $\beta < 1$ ). В связи с этим, эффект поляризации пылевой частицы на движение иона вокруг пылинки влияет незначительно. Так же получен интересный эффект возможного “нулевого” рассеяния при слабых взаимодействиях ( $\beta < 1$ ) пылинки на пылинке.

### Список литературы

- 1 Thomas H., Morfill G.E., Demmel V., Goree J., Feuerbacher B., Möhlmann D., Phys. Rev. Lett. 73, P.652 (1994).
- 2 Melzer A., Trottenberg T., Piel A., Phys. Lett. A 191, P.301 (1994).
- 3 Alexandrov A. L., Schweigert I. V. et al., New J. Phys. 10, P. 093025 (2008).
- 4 Morfill G.E. and Ivlev A.V., Rev. Mod. Phys. 81, P. 1353 (2009).
- 5 Lieberman M.A. and Lichtenberg A.J. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing 2<sup>nd</sup> edn (New York: Wiley-Inter science) (2005).
- 6 Makabe T. and Petrović Z.Lj. Plasma Electronics: Applications in Microelectronic Device Fabrication (London: Taylor and Francis) (2006).
- 7 Bonitz M., Henning C. and Block D. Rep. Prog. Phys. 73, P. 066501 (2010).
- 8 Энциклопедическая серия “Энциклопедия низкотемпературной плазмы” под ред. В.Е. Фортова, Серия А Прогресс в физике и технике низкотемпературной плазмы, том 1-2 Пылевая плазма.
- 9 Y. A. Ussenov, T. S. Ramazanov, K. N. Dzhumagulova and M. K. Dosbolayev, EPL 105, 15002 (2014).
- 10 U. Konopka and et.al., Phys. Rev. E61, 1890, (2000).
- 11 S. A. Trigger, Phys. Rev. E 67, 046403, (2003).
- 12 Bastykova N.Kh., Kovács A. Zs., Korolov I., Kodanova S.K., Ramazanov T.S., Hartmann P., Zoltan D. Controlled levitation of dust particles in RF+DC discharges// Contributions to Plasma Physics, 55, Issue 9, pp. 671 – 676, (2015).

13 A.V. Fedoseev, G.I. Sukhinin, M.K. Dosbolayev, T.S. Ramazanov, Phys. Rev. E92, 023106 (2015).

14 J. Jackson, Classical electrodynamics, Wiley, NY, 3rd ed. edition, (1999).

15 F.B. Baimbetov, A.E. Davletov, Zh.A. Kudyshev, and E.S. Mukhametkarimov, Contrib. Plasma Phys. 51, 533 (2011).

16 Kodanova S.K., Ramazanov T. S., Bastykova N. Kh. Moldabekov Zh. A. Effect of dust particle polarization on scattering processes in complex plasmas // Physics of Plasmas 22, 063703 (2015).

17 Kodanova S. K., Ramazanov T. S., Bastykova N. Kh., Moldabekov Zh. A. Scattering of Dust Particles With Nonzero Dipole Mo-

ments// IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 44, NO. 4, 568 (2016).

18 Рамазанов Т.С., Коданова С.К., Бастыкова Н.Х., Молдабеков Ж.А. Влияние поляризации пылевых частиц на процессы рассеяния в комплексной плазме // Вестник КазНУ (серия физическая), №2 (53), С.75-83 (2015).

19 Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц Теоретическая физика 1 том. Физматлит. Москва 2004 стр.45-50

20 S. A. Khrapak, A. V. Ivlev, G. E. Morfill, Phys. Rev. Letters 90, 22 (2003).

**Принято к печати 15.01.2018**

**Н.Х. Бастыкова, Ж.А. Молдабеков, С.К. Коданова, Т.С. Рамазанов**  
*НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

### **ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОЛЕ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ПЫЛИНКИ**

**Аннотация.** В данной работе исследуется движение иона вокруг пылевой частицы и движение пылевой частицы в центральном поле поляризованной пылевой частицы на основе экранированных потенциалов взаимодействия, которые учитывают эффект поляризации пылевых частиц. Были получены углы рассеяния заряженных частиц вокруг поляризованной пылевой частицы, а также их траектории при различных прицельных параметрах. Было выявлено, что поляризация пылинок может вести к уменьшению сечения неупругого столкновения между пылинками. Показано, что при сильных взаимодействиях влияния эффекта поляризации мало, который возникает только при слабых взаимодействиях. В связи с этим, эффект поляризации пылевой частицы на движение иона в центральном поле пылевой частицы влияет незначительно. При слабых взаимодействиях пылевой частицы в центральном поле поляризованной пылевой частицы появляется некий критический прицельный параметр, при котором налетающая пылевая частица, рассеивается на малый угол близки к нулю. Последнее появляется только при относительно больших энергиях налетающей пылевой частицы  $0.005 < \beta < 0.2$ . Данный эффект “нулевого” рассеяния может появиться при более низких энергиях пылевых частиц реализующихся на экспериментальных установках по исследованию пылевой плазмы.

**Ключевые слова:** пылевая плазма, экранированные потенциалы взаимодействия, поляризация, сечение рассеяния.

**Н.Х. Бастыкова, Ж.А. Молдабеков, С.К. Коданова, Т.С. Рамазанов**  
*ЭТФЗИ, аль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан*

### **ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЛАНҒАН ТОЗАНДЫ БӨЛШЕКТИҢ ОРТАЛЫҚ ӨРІСІНДЕ ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ**

**Аннотация.** Бұл жұмыста тозанды бөлшектердің поляризация әсерін ескеретін экрандалу потенциалдары негізінде ионның тозанды бөлшек айналасында және тозанды

бөлшектің тозаңды бөлшек маңында қозғалыстары зерттелді. Зарядталған бөлшектердің поляризацияланған тозаңды бөлшек маңында шашырау бұрыштары және де әр түрлі нысана параметрі үшін олардың траекториясы алынды. Тозаңды бөлшектердің поляризациясы тозаңды бөлшектердің арасындағы серпімсіз соқтығысудың көлденең қимасының төмендеуіне әкелуі мүмкін екендігі анықталды. Өзара күшті әсерлесуде поляризация әсерінің әлсіз екені және ол өзара әлсіз әсерлесуде туындайтыны көрсетілді. Осыған орай, поляризацияның әсері ионның тозаңды бөлшекте шашырауына әлсіз екендігі анықталды. Тозаңды бөлшектердің өзара әлсіз әсерлесу кезінде олардың нөлге жақын кішкене бұрышпен шашырайтын белгілі бір сыни нысана параметрі пайда болатыны көрсетілген. Соңғысы салыстырмалы түрде жоғары энергияға  $0.005 < \beta < 0.2$  ие бөлшектерде жүреді.

**Түйін сөздер:** тозаңды плазма, экрандалған әсерлесу потенциалдары, поляризация, шашырау қимасы.

**N.H. Bastykova, Zh.A. Moldabekov, S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov**  
*IETP, al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan*

### **THE MOTION OF CHARGED PARTICLES IN THE CENTRAL FIELD OF POLARIZED DUST PARTICLE**

**Abstract.** In this work the motion of an ion around the dust particle and the motion of dust particle on dust particle on the basis of screened interaction potentials that take into account the effect of polarization of dust particles are investigated. Scattering angles of charged particles around polarized dust particle and their trajectories are obtained. It was found that the polarization of dust particles can lead to a decrease in the cross section of an inelastic collision between dust particles. It is shown that for strong interactions the effect of the polarization effect is small, it arises only for weak interactions. In this connection, the effect of the polarization of dust particle on the motion of an ion around of dust particle affects insignificantly. In the case of weak interactions of dust particles, a speculative impact parameter appears, at which the incident dust particle is scattered to a small angle close to zero. The latter appears only at relatively high energies  $0.005 < \beta < 0.2$  of the incident dust particle.

**Keywords:** dusty plasma, screened interaction potentials, polarization, cross section.

**В.М. Сомсиков, А.Б. Андреев, А.И. Мохнаткин, В.И. Капытин**  
Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан,  
E-mail: [ymsoms@rambler.ru](mailto:ymsoms@rambler.ru)

## ДУАЛЬНОЕ ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО НЕРАВНОВЕСНОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** Развивается понятие дуального фазового пространства, позволяющего выполнять анализ процессов эволюции неравновесных систем. Дуальное фазовое пространство строится на основе приближения локального термодинамического равновесия, когда неравновесные системы могут быть представлены совокупностью равновесных подсистем. При этом равновесные подсистемы представляют собой достаточно большое количество потенциально взаимодействующих материальных точек. В основу такого представления положен принцип дуализма симметрии. Согласно этому принципу динамика системы определяется как симметриями пространства, в котором она движется, так и внутренними симметриями самой системы. Данный принцип приводит к необходимости разделения энергии системы на ее энергию движения в пространстве и внутреннюю энергию. В соответствии с принципом дуализма симметрии дуальное фазовое пространство состоит из двух ортогональных подпространств: подпространство макропеременных, определяющих движение равновесных подсистем, и подпространства микропеременных, определяющих динамику материальных точек относительно центра масс каждой из подсистем. Предложенное фазовое пространство позволяет исследовать процессы установления равновесия в неравновесных системах на основе детерминированного механизма необратимости структурированных частиц. Получены аналитические условия, характеризующие процесс установления равновесия в консервативной неравновесной системе.

**Ключевые слова:** динамические системы, фазовое пространство, необратимость, механика структурированных частиц.

### Введение

В результате детерминированного решения проблемы необратимости было начато развитие механики структурированных частиц (СЧ) [1]. В качестве СЧ в данной механике используются равновесные системы из достаточно большого количества потенциально взаимодействующих материальных точек (МТ). Механика СЧ позволяет изучать эволюцию неравновесных систем (НС) в достаточно широких пределах приближения локального термодинамического равновесия. В этом приближении НС может быть задана совокупностью перемещающихся относительно друг друга СЧ. Если замкнуть НС, то она придёт в состояние равновесия, определяемое стремлением к нулю энергий относительных движений СЧ [1].

В настоящее время анализ процессов эволюции выполняется на основе методов неравновесной термодинамики, кинетических уравнений, методов анализа динамического хаоса [2-4]. Среди этих методов также используется метод, основанный на понятии

фазового пространства. Он дает возможность выполнять анализ динамики гамильтоновых систем, а также диссипативных НС.

Детерминированное решение проблемы необратимости показало, что при изучении НС принципиальным является разделение энергии СЧ на два типа: энергия движения СЧ и ее внутренняя энергия. Разделение выполняется в макро- и микропеременных, определяющих относительную динамику СЧ и динамику МТ относительно центра масс (ЦМ) СЧ соответственно. В соответствии с этим для анализа НС было предложено использовать дуальное фазовое пространство. Оно состоит из  $S$  – пространства, определяющего движение СЧ в НС, и дополняющего его  $D$  – пространство, определяющее движение МТ в СЧ. Объединенное пространство было названо  $SD$ - пространством.

Здесь предлагается физическое обоснование необходимости использования дуального фазового пространства для анализа процессов эволюции в НС.

### Фазовое пространство для гамильтоновых систем

В исследованиях эволюции различных систем очень полезным является понятие фазового пространства. К примеру, это понятие используется в статистической физике, в кинетике. Оно также используется для анализа динамики гамильтоновых систем [2-4]. Если гамильтонова система имеет  $n$  степеней свободы, то положение точки в фазовом пространстве определяется  $2n$  координатами  $q$  и импульсами  $p$ . Движение этой точки в фазовом пространстве происходит по фазовой траектории, которая характеризует динамику системы. Для сложных систем, например, при анализе динамического хаоса  $(q, p)$ , используется метод отображения Пуанкаре. Этот метод позволяет исследовать поведение аттракторов, к которым стремятся фазовые траектории [2].

Пучку фазовых траекторий в заданный момент времени соответствует элемент фазового объема. Для его изменения со временем можно записать [2,3]:

$$\int_{\Delta_0} dp_0 dq_0 = \int_{\Delta_t} dp_t dq_t \quad (1)$$

Здесь  $q_0, p_0$  - координаты и импульсы элементов системы, заполняющие элемент фазового объема  $\Delta_0$  в начальный момент времени;  $q_t, p_t$  - координаты и импульсы этих МТ, а  $\Delta_t$  фазовый объем, занимаемый системой спустя время  $t$ . Фазовые траектории в течение времени  $t$  непрерывно переходят из объема  $\Delta_0$  в фазовый объем  $\Delta_t$ . Согласно каноническому уравнению Лиувилля имеем:  $\Delta_0 = \Delta_t$ . Это значит, что фазовый объем консервативных гамильтоновых систем сохраняется, меняется только его форма [2].

Анализ динамического хаоса с помощью фазового пространства позволил выявить характер фазового перемешивания гамильтоновых систем, определяемого положительным экспоненциальным показателем Ляпунова, предельные циклы отображения Пуанкаре и соответствующие им неподвижные точки, изучить сценарий развития динамического хаоса и т.п. [2]. Но вопрос о природе необратимости так и остался от-

крытым.

Консервативные системы вдали от равновесия не являются гамильтоновыми. Для исследования релаксационных и других необратимых процессов в таких системах использование обычного фазового пространства затруднено, так как в таком  $(q, p)$  пространстве сложно установить характер приближения системы к равновесному состоянию. Это объясняется тем, что в НС каждая МТ вносит вклад как в энергию движения СЧ, так и в ее внутреннюю энергию, отвечающую за хаотическое движение. И хотя динамика НС диссипативна и необратима, полная энергия сохраняется. Поэтому в лабораторной системе координат невозможно установить, какая часть динамики системы связана с ее упорядоченным движением, а какая часть отвечает за хаотическое движение. Понятия таких движений приведены в [1]. Для того, чтобы разделить эти типы движения, была предложена модификация фазового пространства, которая позволяет разделить эти типы движения и, таким образом, анализировать необратимые диссипативные процессы [10]. Ниже приведем более подробное обоснование необходимости такого разделения энергий и покажем, как его можно выполнить.

### Дуальное фазовое пространство для неравновесных систем

Пусть НС представлена совокупностью СЧ, обладающих внутренней энергией и энергией движения. То есть, энергия каждой МТ, входящей в СЧ, вносит вклад в энергию хаотического движения, обуславливающую внутреннюю энергию СЧ, и в энергию ее движения. Со временем НС уравнивается, что характеризуется отсутствием энергии относительного движения СЧ [1, 3]. То есть, имеет место условие:

$$\left( \sum_{i=1}^R E_i^{tr} / E_i^{ins} \right)_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \quad (2),$$

где  $i = 1, 2, 3 \dots R$ ,  $R$  - число СЧ, входящих в НС,  $E_i^{tr}, E_i^{ins}$  - энергия относительного движения и внутренняя энергия  $i$ -той СЧ.

Условие (2) характеризует степень неравновесности НС в каждый момент времени. Установление равновесия в консервативной НС происходит при сохранении полной энергии системы:

$\sum_{i=1}^R (E_i^{tr} + E_i^{ins}) = const$  [1]. Отсюда возникает идея построить такое фазовое пространство, которое позволит анализировать процессы установления равновесия. Для этого будем исходить из того факта, что энергия НС состоит из двух частей, соответствующих внутренней энергии и энергии движения.

Поскольку НС можно представить совокупностью движущихся относительно друг друга СЧ, то состояниям НС по аналогии, как это делается для гамильтоновых систем, можно поставить в соответствие точки в фазовом пространстве  $(6R-1)$  измерений, где  $R$  – количество СЧ, входящих в НС. То есть, положение каждой СЧ задается тремя координатами и тремя компонентами импульсов их ЦМ. Это пространство задается в макропеременных, определяющих координаты и импульсы СЧ. Оно было названо  $S$ -пространством [1, 10].

При движении СЧ, также изменяется ее внутренняя энергия. Так как внутренняя энергия не зависит от макропеременных, то каждой точке  $S$ -пространства могут соответствовать состояния с разными значениями внутренней энергии. Эта неоднозначность устраняется, если  $S$ -пространство дополнить  $D$ -пространством макропеременных, определяющих внутренние энергии СЧ. Такое дуальное пространство назовем  $SD$ -пространством. Основным отличием  $SD$ -пространства от обычного фазового пространства является то, что оно построено путем разделения энергии каждой МТ на две части. Одна часть соответствует вкладу МТ в энергию относительного движения СЧ, а другая часть соответствует вкладу МТ во внутреннюю энергию СЧ.

Таким образом, состояние НС в заданный момент времени определяется двумя точками в  $S$  и  $D$  пространствах. То есть, состоянию НС соответствует точка в плоскости, определяемая двумя  $S$  и  $D$  векторами. Причем длина  $S$ -вектора определяется модулем вектора точки  $S$ -пространства. Модуль этого вектора пропорционален сумме энергий относительного движения СЧ. Длина  $D$ -вектора определяет соответствующую точку  $D$ -пространства. Очевидно, что длина  $D$ -вектора пропорциональна внутренней

энергии НС, равной сумме внутренних энергий СЧ.

При движении НС к равновесию, модуль  $S$ -вектора стремится к нулю, поскольку стремится к нулю энергия относительных движений СЧ, а модуль  $D$ -вектора растет. Если НС консервативна, то должно выполняться условие:

$$S^2 + D^2 = const \quad (3)$$

Это условие эквивалентно закону сохранения энергии НС. Условие (3) можно записать так:  $ZZ^* = const$ , где  $Z = D + iS$ ,  $i$  – мнимая единица. Выполнение условия (а) обусловлено тем, что микро- и макропеременные независимы. Так как при любых преобразованиях  $S$  и  $D$  векторов сумма энергий движения СЧ и их внутренних энергий сохраняется, то состоянию НС соответствует точка комплексной плоскости, определяемая числом:  $Z = D + iS$ . Угол между векторами  $S, D$  равен:  $\varphi = \arctg(S / D)$ . В равновесном состоянии имеем:  $\varphi = 0$ . Поскольку выполняется условие (3), модуль вектора точки в  $SD$ -пространстве является инвариантом.

Так как внутренняя энергия и энергия движения определяются независимыми микро- и макропеременными соответственно, то условие (1) необходимо писать в этих переменных. Рассмотрим, как это можно сделать.

Энергия НС суммируется из энергий СЧ. Энергия СЧ может быть представлена суммой энергии ее движения и внутренней энергии, в которые вносит вклад каждая МТ. В этом случае условие (1) можно записать следующим образом:

$$\int_{\Delta_0^S} dq_0^S dp_0^S + \int_{\Delta_0^D} dq_0^D dp_0^D = \int_{\Delta_t^S} dq_t^S dp_t^S + \int_{\Delta_t^D} dq_t^D dp_t^D \quad (4)$$

Здесь  $q_0^S, p_0^S$  – координаты и импульсы СЧ, образующие элемент фазового объема  $\Delta_0^S$  в начальный момент времени;  $q_0^D, p_0^D$  – координаты и импульсы МТ относительно ЦМ СЧ, заполняющие элемент фазового объема  $\Delta_0^D$  в начальный момент времени;  $q_t^S, p_t^S$  – координаты и импульсы СЧ, а  $\Delta_t^S$  фазовый объем, занимаемый ими спустя время  $t$ ;  $q_t^D, p_t^D$  – координаты и импульсы материальной частицы относительно центра масс структурированной частицы, запол-

няющие элемент фазового объема  $\Delta_t^D$  в момент времени  $t$ .

Эволюция фазового объема идет при выполнении условия:  $\Delta_0^S + \Delta_0^D = \Delta_t^S + \Delta_t^D$  (в), которое эквивалентно закону сохранения энергии. Из-за трансформации энергии относительных движений СЧ в их внутреннюю энергию, будем иметь место следующее условие:

$$(\Delta_t^S / \Delta_t^D)_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \quad (5)$$

Это условие эквивалентно условию (а), определяющему процесс установления равновесия в консервативной НС.

Скорость изменения  $\Delta_t^S$  определяется Д-энтропией –  $S^d$  [9], которая является отношением изменения внутренней энергии системы за счет энергии ее движения, к величине внутренней энергии. В случае НС представленных совокупностью СЧ, можно записать:  $\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^R E_i^{tr} = T \frac{d}{dt} S^d$ , где  $T$  – температура СЧ.

Если система бездиссипативна, то в этом случае  $\frac{d}{dt} S^d$ , и  $S$  – пространство совпадает с обычным фазовым пространством.

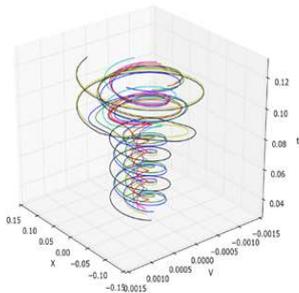


Рисунок 1 – Изменение фазового объема осциллятора в SD-пространстве.

В качестве демонстрации возможности использования дуального фазового пространства были приведены расчеты динамики системы в трёхмерном пространстве из  $N=9$  взаимодействующих по закону Гука МТ. Система с начальной энергией движения ЦМ Ец.м.=400 и внутренней энергией Ein=10, проходит через потенциальный барьер Ебар.=350. (Энергия берется в отно-

сительных единицах). Для наглядности на рис. 1 изображены разными цветами развернутые во времени фазовые траектории частиц системы из 10 МТ в D-пространстве. Видно, что в результате прохождения барьера объем D-пространства увеличивается за счет объема S – пространства. При этом уравнение 3 используется в качестве контроля правильности расчета.

На рис. 2 представлена фазовая траектория в D-пространстве осциллятора до и после его прохождения через потенциальный барьер. Видно, что его фазовый объем изменяется.

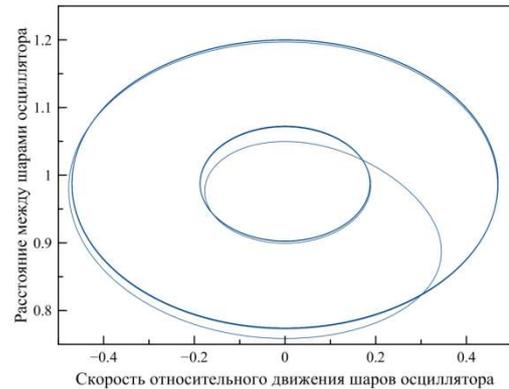


Рисунок 2 – Фазовый объем осциллятора в D-пространстве.

Причем в зависимости от первоначального состояния осциллятора это изменение может быть, либо положительным, либо отрицательным. Если же система состоит из достаточного количества МТ, то фазовый объем D-пространства будет только увеличиваться.

Если же для изучения динамики подобных систем использовать обычное фазовое пространства, то наблюдаемого эффекта изменения объема D-пространства на нем невозможно обнаружить, поскольку полный фазовый объем систем инвариантен.

### Заключение

Как оказалось, для решения проблемы необратимости необходимо опираться на ПДС, согласно которому энергию системы следует представлять в виде суммы энергии движения и внутренней энергии. Необратимость проявляется в том, что энергия движения системы преобразуется в ее внутреннюю энергию. Это означает, что каждая МТ

системы участвует в двух типах движения. Если изучать динамику системы в обычном фазовом пространстве, соответствующем лабораторной системе координат, то описать такое разделение энергии невозможно. Поэтому, чтобы графически отобразить эти два различных типа движения, фазовое пространство следует разделить на два независимых подпространства: подпространство макропеременных, которое было названо  $S$ -пространством, и подпространство микропеременных, которое было названо  $D$ -пространством.  $S$  – пространство отображает движение системы, а  $D$  – пространство отображает движение элементов тела относительно его ЦМ. Объединением этих подпространств является дуальное  $SD$  – пространство. При отсутствии диссипации,  $S$  – пространство совпадает с обычным фазовым пространством, характеризующим гамильтоны системы.

Дуальное фазовое пространство позволяет характеризовать процесс установления равновесия в неравновесным образом приготовленной системе. Точки  $S$  – пространства характеризуют движение равновесных подсистем, совокупностью которых можно представить неравновесную систему. Точка в  $D$ -пространстве характеризует внутренние движения элементов подсистем. Процесс преобразования регулярного движения в хаотическое определяется уменьшением модуля вектора точки  $S$  – пространства и ростом модуля вектора точки  $D$ -пространства.

Ортогональность  $S$  и  $D$  пространств позволяет ввести комплексное число  $Z$ , характеризующее точку  $SD$  – пространства, соответствующую двум  $S$  и  $D$  векторам. Характер эволюции системы к равновесию определяется углом:  $\varphi = \arctg(S / D)$ . Стрем-

ление этого угла к нулю соответствует стремлению системы к равновесию.

Предложенная модификация фазового пространства особенно может быть полезной при анализе процессов эволюции систем к равновесным состояниям.

#### **Список литературы:**

- 1 Somsikov V. M. To the basics of the physics of evolution. Almaty. 2016. 306 p.
- 2 Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М. Наука. 1990. 272 с.
- 3 Ландау. Л.Д., Лифшиц Е.М. Физическая кинетика. М. Наука. 1979. 528с.
- 4 Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамик. Стат. Физика и Кинематика. – М.: Наука, 1977. – 532 с.
- 5 Zaslavsky G.M. Stochasticity of dynamical systems. M. Science, 1984, 273 p.
- 6 Somsikov V.M. Principles of Creating of the Structured Particles Mechanics. Journal of material Sciences and Engineering A (1). 2011. с.731-740.
- 7 Голдстейн Г. Классическая механика. М. Наука. 1975. 416 с.
- 8 Ланцош К. Вариационные принципы механики. – М.: Мир, 1962. – 408 с.
- 9 Somsikov V.M. The Dynamical Entropy. International Journal of Sciences. Volume 4 – May 2015 (05). С 30-36.
- 10 Somsikov V.M. Irreversibility and physics of evolution. Proc. of 10- th Chaotic Modeling and Simulation Internat. Confer. Barcelona, 2017. Proceeding. Editor Christos H. Skiadas. P.789-803.

***Принята в печать 25.01.2018***

**В.М. Сомсиков, А.Б. Андреев, А.И. Мохнаткин, В.И. Капытин**  
*Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан,*  
E-mail: [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

## **ДУАЛЬНОЕ ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО НЕРАВНОВЕСНОЙ СИСТЕМЫ**

**Аннотация.** Развивается понятие дуального фазового пространства, позволяющего выполнять анализ процессов эволюции неравновесных систем. Дуальное фазовое пространство строится на основе приближения локального термодинамического равновесия, когда неравновесные системы могут быть представлены совокупностью равновесных подсистем. При этом равновесные подсистемы представляют собой достаточно большое количество потенциально взаимодействующих материальных точек. В основу такого представления положен принцип дуализма симметрии. Согласно этому принципу динамика системы определяется как симметриями пространства, в котором она движется, так и внутренними симметриями самой системы. Данный принцип приводит к необходимости разделения энергии системы на ее энергию движения в пространстве и внутреннюю энергию. В соответствии с принципом дуализма симметрии дуальное фазовое пространство состоит из двух ортогональных подпространств: подпространство макропеременных, определяющих движение равновесных подсистем, и подпространства микропеременных, определяющих динамику материальных точек относительно центра масс каждой из подсистем. Предложенное фазовое пространство позволяет исследовать процессы установления равновесия в неравновесных системах на основе детерминированного механизма необратимости структурированных частиц. Получены аналитические условия, характеризующие процесс установления равновесия в консервативной неравновесной системе.

**Ключевые слова:** динамические системы, фазовое пространство, необратимость, механика структурированных частиц.

**V.M. Somsikov, A.B. Andreev, A.I. Mokhnatkin, V.I. Kaputin**  
*Institute of the Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan,*  
E-mail: [vmsoms@rambler.ru](mailto:vmsoms@rambler.ru)

## **DUAL PHASE SPACE OF A NON-EQUILIBRIUM SYSTEM**

**Abstract.** The notion of a dual phase space that allows analyzing the processes of evolution of nonequilibrium systems is developing. The dual phase space is constructed based on the approximation of local thermodynamic equilibrium, when nonequilibrium systems can be represented by a set of equilibrium subsystems. At the same time, the equilibrium subsystems are a sufficiently large number of potentially interacting material points. This principle is based on the principle of symmetry duality. According to this principle, the dynamics of the system is determined both by the symmetries of the space in which it moves, and by the internal symmetries of the system itself. This principle leads to the need to divide the energy of the system into its energy of movement in space and internal energy. In accordance with the principle of symmetry duality, the dual phase space consists of two orthogonal subspaces: the subspace of the macro variables that determine the motion of the equilibrium subsystems, and the subspace of the micro variables that determine the dynamics of the material points relative to the center of mass of each of the subsystems. The proposed phase space makes it possible to study the processes of establishing equilibrium in a nonequilibrium system based on a deterministic mechanism for the irreversibility of structured particles. Analytic conditions characterizing the process of establishing equilibrium in a conservative nonequilibrium system are obtained.

**Keywords:** dynamical systems, phase space, irreversibility, mechanics of structured particles.

**В.М. Сомиков, А.Б. Андреев, А.И. Мохнаткин, В.И. Капитин**  
Ионосфера институты, Алматы, 050020, Қазақстан,  
E-mail: vmsoms@rambler.ru

## **ТЕПЕ ТЕҢ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ДУАЛЬДЫ ФАЗАЛЫҚ КЕҢІСТІГІ**

**Аннотация.** Фазалық кеңістік дуальдылығының тұжырымдамасын әзірлеуде, тепе-тең емес жүйелердің эволюциясының процестерін талдауды орындауға мүмкіндік береді. Қос фазалы кеңістік тепе-тең емес жүйелер кіші тепе тең жинағының ұсынылуы мүмкін жергілікті термодинамикалық тепе-теңдіктің жақындастыру негізінде салынды. Тепе-теңдік ішкі жүйесі ықтимал материалдық ұпай өзара жеткілікті үлкен саны болып табылады. Бұл принцип симметриялы дуальдылық қағидасына негізделген. Осы принципке сәйкес, жүйе динамикасының симметриясы жылжытылады, онда кеңістік және жүйенің ішкі симметриясы ретінде анықталады. Бұл принцип жүйенің энергиясын ғарыштық және ішкі қуатты қозғалыстың энергиясына бөлу қажеттілігіне әкеледі. Кіші әрбір масса орталығына қатысты материалдық нүктелер динамикасын анықтаудағы қозғалыс тепе-теңдігін кіші және қосымша кеңістік микро айнымалылықты анықтау қосымша кеңістігі макро айнымалылар: дуальдік симметриялы қос фазалық кеңістік принципіне сәйкес екі ортогональды қосымша кеңістік бар. Ұсынылған фазалық кеңістік бізге қайтымсыз механизмі құрылымдалған бөлшектердің негізделген тепе-тең емес жүйесінде тепе тең процестерді зерттеуге мүмкіндік береді. Консервативті тепе тең емес жүйеде тепе-теңдікті орнату үдерісін сипаттайтын аналитикалық шарттар алынды.

**Түйін сөздер:** динамикалық жүйелер, фазалық кеңістік, қайтымсыздық, құрылымдық бөлшектердің механикасы.

Ю.Д. Чашечкин

*Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН,  
Россия, Москва, e-mail: [chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru)***ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОСНОВ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ**

**Аннотация.** Приводится краткое описание истории развития теории течений жидкостей, проводится анализ аксиоматики классической механики жидкости и твердого тела с учетом условия наблюдаемости рассчитываемых величин. Определяющие уравнения представлены в дифференциальной форме законов сохранения вещества, импульса, энергии. Классическая система уравнений механики жидкостей анализируется с учетом условия совместности методами теории сингулярных возмущений. Решения системы уравнений, описывающие волны, вихри и тонкие прослойки – лигаменты, сравниваются с результатами численных расчетов и высокоразрешающего лабораторного моделирования стратифицированных течений.

**Ключевые слова:** аксиоматика, фундаментальные уравнения, полные решения.

**Введение**

Глубина научного содержания, широта спектра практических приложений, степень влияния на все стороны жизни, предоставляют механике жидкостей особое место в реестре естественных наук. По мере развития экономики и роста населения увеличивается и сложность изучаемых проблем, среди которых на одно из первых мест выходят задачи описания состояния и прогноза изменчивости среды обитания человечества – атмосферы, гидросферы, геосферы Земли и других планет. Несмотря на большие усилия, которые выразились в создании обширных семейств инструментов дистанционного зондирования и контактных измерений, специализированных лабораторий и вычислительных центров с ЭВМ рекордной производительности, прогресс в развитии теоретической и прикладной гидродинамики все еще отстает от реальных потребностей. Ряд практических задач решается медленно (например, создание новых двигателей) или очень медленно (прогноз погоды, создание термоядерного реактора). С научной точки зрения следует отметить несогласованность теории и эксперимента, проявляющуюся в низкой точности гидродинамических измерений (10 ... 20%) по сравнению с классической механикой (относительная погрешность в навигации не хуже  $10^{-14}$ ). Для анализа природы рассогласования основных разделов механики целесообразно обратиться к рассмотрению научных основ естествен-

ных наук в историческом и методологическом аспектах с учетом их современного содержания и технических возможностей.

**Краткая история развития механики жидкостей. Начальный интуитивно-эмпирический период.**

Длительное период эмпирического развития механики жидкостей отмечен рядом выдающихся достижений, включающих такие ирригационные сооружения, как гонабдская система кярызов, работающая более 2700 лет, чуть более молодая гидравлическая система Дуцзяньянь (Ченду, Китай), водоводы Рима, непрерывно работающие с момента создания и до сегодняшнего дня. Развитие средневековых военных и промышленных технологий, потребовало более высокого уровня адекватности гидродинамики выстрела и корабля и, привело Г. Галилея к необходимости обоснования методологии естественно-научных исследований "Философия написана в той величественной Книге (я имею в виду Вселенную), которая всегда открыта нашему взору, но читать её может лишь тот, кто сначала освоит язык и научится понимать знаки, которыми она начертана. Написана же она на языке математики, и знаки её — треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без которых нельзя понять ни единого из стоящих в ней слов и остаётся лишь блуждать в тёмном лабиринте" [1, 1623 г.]. Одновременно Г. Галилей обдумывал принципы соз-

дания инструментов для измерений параметров течений, создавал прототипы термометра и барометра.

### Эмпирио-эвристический этап.

Работы Галилея открыли период эвристического развития науки, в начале которого Р. Декарт, размышлявший о методологии науки, ввел понятие координат точки в пространстве и предложил использовать для описания явлений их меры – сохраняющиеся (наблюдаемые) величины. В качестве меры движения Р. Декарт выбрал импульс  $p = mv$  ( $m$  – масса,  $v$  – скорость тела) и сформулировал закон его сохранения в ряду других постулатов [2, 1641 г.].

В небольшой полемической заметке В. Лейбниц [3, 1686 г.], предложил в качестве меры движения использовать “живую силу” ( $vis\ viva\ E = mv^2$ ) – с точностью до коэффициента равную кинетической энергии, включив в описание движения и явную кинетическую, и латентную потенциальную энергию. Понятия энергии и импульса универсальны, их применение не накладывает ограничений на размеры и форму тела, характер его движения.

И. Ньютон, используя галилеево описание движения, основанное на регистрации положения тела – координаты  $x$ , скорости  $\dot{x}$ , ускорения  $\ddot{x}$ , ввел понятие силы (Второй закон  $F = m\ddot{x}$ ) и сформулировал в книге, изданной в 1687 г., категорию правил, при формализации которых реальное тело конечных размеров было стянуто в “материальную точку”. Три сформулированных Ньютоном закона [4] составляют неизменную основу классической механики твердого тела от даты опубликования до настоящего времени.

Оба подхода, и энергетический Лейбница, и силовой Ньютона, в дальнейшем развивались и независимо, и во взаимосвязи. Энергетический подход первым развил Д. Бернулли, который ввел термин “гидродинамика” в научное описание течений [5] и получил знаменитую формулу, связывающую скорость и давление в потоке. Быстрое развитие математики – геометрии и анализа бесконечно малых величин в XIX веке – способствовало формированию нового подхода к описанию процессов в жидкостях.

### Фундаментальные законы

Дифференциальные уравнения в частных производных впервые применил Ж.-Р. Даламбер для расчета колебаний струны. Ему же принадлежит и вывод уравнения неразрывности [6, 1744 г.] для несжимаемых с плотностью  $\rho$  и сжимаемых (баротропных) сред с плотностью, зависящей от давления  $\rho(P)$

$$\rho = \text{const}, \text{div } \mathbf{v} = 0 \text{ или } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

Распространив представления Ньютона о действии сил на гипотетическую «жидкую частицу» сплошной среды, Л. Эйлер получил первую замкнутую систему уравнений гидродинамики [7, 1752 г., публикация 1757 г.]

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{g}, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div } \rho \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

в которую вошли следующие физические величины: плотность среды ( $\rho = \text{const}$  или  $\rho = \rho(P)$ ), скорость  $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$  и давление  $P$  жидкости ( $\mathbf{g}$  – ускорение свободного падения,  $\nabla$  – оператор Гамильтона). Хотя логика вывода уравнений Эйлера нуждается в уточнении (оценке обоснованности и следствий использования гипотез “отвердевании жидкой частицы” при расчете сил, существования массы бесконечно малой “частицы”), и само уравнение, и его вывод, продолжают активно изучаться и приводятся в основных учебниках по гидродинамике [8]. Число переменных в системе Эйлера (четыре) превышает ранг системы (второй), из набора естественных граничных условий для скорости выполняется только одно – непротекания для нормальной компоненты. В силу относительной простоты система (2), несмотря на недоопределенность, продолжает широко использоваться в теоретической и прикладной гидродинамике, в частности для изучения волн и вихрей.

Обобщив результаты тщательных экспериментов по теплопередаче, проводимых совместно с П.-С. Лапласом, Дж. Фурье постулировал уравнение переноса тепла  $\mathbf{q}$  в твердом теле [9] а позднее – и температуры  $T$  в жидкости

$$\mathbf{q} = -\kappa_q \nabla T, \quad \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) T = \kappa_T \Delta T \quad (3)$$

с использованием новых констант – коэффициентов температуропроводности  $\kappa_T$  и теплопроводности  $\kappa_q = \rho c_p \kappa_T$ ,  $c_p$  – теплоемкость при постоянном давлении. Фурье активно развивал теорию и практику предложенных Д. Бернулли разложений в ряды по тригонометрическим функциям применительно к задачам теплопроводности и решению широкого класса дифференциальных уравнений.

Идеи Фурье оказали большое влияние на развитие и теории, и эксперимента. Один из его учеников, К. Навье, базируясь на представлениях Лапласа о дискретном строении вещества, получил основное уравнение течений вязких жидкостей [10] в которое вошел новый параметр среды – кинематическая вязкость  $\nu$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} &= -\frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{g} + \nu \Delta \mathbf{v}, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} &= 0, \mathbf{v}|_{\Sigma} = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

Для получения практических результатов К. Навье использовал два вида граничных условий: вначале – прилипания на твердой границе  $\Sigma$ , а затем – частичного проскальзывания  $E \mathbf{v} + \nu \partial_{\perp} \mathbf{v}_{\parallel} = 0$ , подгоняя расчеты под данные небрежных экспериментов Жирара, в которых расход оказался пропорционален кубу диаметра трубки, а не четвертой степени, как в позднейших опытах Хагена и Пуазейля. В уравнении Навье сохранились физические величины уравнения Эйлера – плотность, давление, скорость жидкости, и вошли новые параметры среды – кинематическая вязкость  $\nu$  и коэффициент проскальзывания  $E$  в граничном условии.

Уравнения Навье, скептически встреченные современниками, которые считали их гипотезой, требующей экспериментального подтверждения, были несколько раз независимо перевыведены С.-Д. Пуассоном, О. Коши, А.Б. Сен-Венаном, прежде чем Дж.Г. Стокс сформулировал четкие гипотезы, позволяющие постулировать уравнения в рамках теории течений сплошной среды, описываемых непрерывными функциями.

Сделав обоснованные предположения, введя понятие «второй» вязкости с коэффициентом  $\zeta$ , постулировав независимость

вязкости от давления, Стокс сохранил уравнение неразрывности и привел к современному виду уравнения Навье [11, 1845 г.]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} &= -\frac{\nabla P}{\rho} + \mathbf{g} + \nu \Delta \mathbf{v} + \left( \zeta + \frac{\nu}{3} \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Построенные Стоксом решения задач обтекания препятствий, распространения волн и сегодня служат логической основой построения приближенных аналитических и численных решений [8] и разработки методик экспериментов. Вопрос разрешимости трехмерных уравнений Навье – Стокса для однородной жидкости остается открытым [12]. Концепция использования непрерывных функций для описания течений продолжает успешно использоваться и в настоящее время с учетом взаимодействия макро- и микрокомпонентов энергии [13].

Развитие технологий в XIX веке стимулировало физические исследования свойств многослойных несмешивающихся жидкостей и реальных растворов, в ходе которых А. Фик, проследив закономерности молекулярного переноса вещества, сформулировал близкие по структуре к законам Фурье уравнения переноса концентрации  $i$ -го растворенного вещества  $S_i$  [14], содержащие новый параметр – коэффициент диффузии  $\kappa_{S_i}$

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) S_i = \kappa_{S_i} \Delta S_i \quad (5)$$

В зависимости от физических условий задачи уравнения (6) решаются с граничными условиями различного вида: непротекания или заданного значения потока, задания значения солености или смешанного вида.

Анализируя методы описания физических полей, Максвелл установил векторную природу скорости жидкости и обосновал принцип наблюдаемости физической величины – возможности измерения ее значения с одновременной обоснованной оценкой погрешности – необходимый для выполнения количественного сравнения теории и эксперимента [15].

Изучению зависимости важного для гидродинамики параметра – плотности, других физических свойств неоднородных жидкостей и газов от концентрации входящих веществ и температуры, уделил внимание

великий Д.И. Менделеев. Он обобщил данные собственных экспериментальных исследований и привел результаты к удобным для дальнейшего использования эмпирическим формулам – уравнениям состояния газов и жидкостей [16, 17], как позднее было признано, необходимых для замыкания системы фундаментальных уравнений [8].

В конце XIX века, когда большое внимание уделялось изучению дискретной природы материи, свойств энергии и механизмов ее передачи, влияющих на динамику течений жидкостей, важные результаты получил Дж. Гиббс, в работах которого в процессе уточнения природы термодинамических потенциалов были введены понятия химического потенциала и доступной потенциальной поверхностной энергии [18].

Таким образом, к концу XIX века были постулированы все уравнения, составляющие основу полного описания течений жидкостей. Однако необходимое дальнейшее развитие данное направление не получило по ряду причин, среди которых следует отметить неразвитость математических методов анализа сложных систем алгебро-дифференциальных уравнений, трудоемкость реализации техники вычислений. Одновременное развитие идей дискретного – атомно-молекулярного – строения вещества, статистических методов в математике и физике стимулировало создание альтернативных подходов к описанию течений жидкостей, среди которых наибольшее развитие получили редуцированные (теории волн, пограничного слоя [8]) и конститутивные модели (теории устойчивости и турбулентности, в развитии которых особая роль принадлежит О. Рейнольдсу [19, 20]).

#### **Эпоха «множественности независимых подходов».**

К концу XIX века и в течение всего XX века было построено большое число приближенных полуэмпирических моделей нелинейных и линейных волн, вихрей, пограничного слоя, турбулентности и других, которые способствовали успешному развитию авиации, судостроения, современных технологий. Одновременно независимое развитие вычислительной техники и цифровых технологий существенно расширило

возможности и теоретической, и экспериментальной гидродинамики, позволило практически реализовать различные модели, степень соответствия которых между собой и с системой фундаментальных уравнений не определена. Однако низкие точности проводимых измерений и расчетов, отсутствие прогресса в ключевых разделах прикладной и теоретической гидродинамики, заставляют вернуться еще раз к обсуждению основ и методологии построения естественных наук, и математики – языка изложения и обобщения наблюдательных фактов.

#### **Определения наук**

Возможности математизации естественных наук длительное время сдерживалась физической ограниченностью техники проведения необходимых математических операций и представления результатов исследования нелинейных задач высокой размерности, сравнения эффективности различных подходов. Развитие компьютерных технологий позволило преодолеть технические трудности, практически реализовать многие ранее сформулированные идеи, требовавшие проведения большого числа операций и дать четкие определения ряду понятий, которые ранее использовались на интуитивном уровне в рамках эвристического описания. К основным следует отнести определения математики, естественных и прикладных наук.

***Математика:** аксиоматическое учение (наука) о правилах выбора символов, проведения операций и принципах контроля их точности.*

В силу аксиоматической природы построения с использованием критериев неизменности понятий в ходе проведения операций; разрешимости (полноты); внутренней непротиворечивости, четкости правил проведения операций и тождественности их результатов исходным постановкам, математика, единственная из всех наук, обладает правом устанавливать точность или ошибочность суждений и давать оценку их погрешности, как разности между полученным и истинным (постулированным) значением (изучаемой величины). Основные понятия математики определены и аксиоматизированы.

**Физика:** *эмпирио* – аксиоматическое учение о природе в целом, структуре материи и всех видах происходящих изменений.

Физика в первую очередь базируется на опытных фактах, результатах наблюдений и измерений (сравнений), по результатам которых вводятся новые понятия и правила работы с ними, основанные на математических принципах.

В традиционном определении **механика** в целом и ее части, работающие с деформируемыми средами – «искусство делать машины и технологии». Однако сегодня **механика** более широко рассматривается как *эмпирио* – аксиоматическое учение о свойствах пространства, времени, положений и движений материальных тел.

В каждой из наук сформулированы собственные наборы понятий, которые непрерывно видоизменяются, дополняются новыми элементами и теряет некоторые старые. Часть из них имеет аналоги в аксиоматике или следствиях ее использования в математике. И наоборот, некоторые математические понятия, имеющие аналоги в физике и механике, в процессе эволюции математики приобрели особую важность, обусловленную возможностью прогнозировать поведение физических систем и разрабатывать эффективные методы управления явлениями/процессами.

Из общей математики в отдельный раздел выделилась **Прикладная математика** – раздел аксиоматической науки, базовые символы которой имеют аналоги в наборе наблюдаемых физических величин.

**Определение.** **Физическая величина наблюдаема**, если одновременно с ее измерением (определением количественного значения, выраженного размерным числом) может быть определена погрешность результата – отличие постулированного (истинного) и измеренного значений.

Из математической и физической практики известно, что **наблюдаемы только инварианты** – величины, сохраняющиеся при преобразовании координат, а также параметры, связанные с инвариантами функциональными соотношениями – меры положения, движения тел и течений жидкостей. Инвариантами являются расстояния, интервалы времени, масса, импульс, энер-

гия, концентрация и другие величины, для которых сформулированы законы сохранения.

### Содержание математических понятий

Применительно к гидродинамике, из многочисленных математических понятий наиболее активно используются следующие

**Числа** – априори введенные безразмерные символы нумерации, количества, сравнения. В механике используются действительные числа, позволяющие рассчитывать физически наблюдаемые величины, и их расширения – комплексные числа, сокращающие операции и формы представления их результатов.

**Множества** – собрания определенных и различимых между собой объектов, мыслимые как "единое целое", дополненные правилами выполнения операций (примеры приведены в ряде монографий и справочников). Принадлежность элемента к определенному множеству обозначается дополнительным признаком, получившим название "**размерность**" (в метрологии – "выражение зависимости величины от основных величин системы величин"). Примеры основных множеств – пространство и время.

Ключевые понятия классической механики – "пространство" как местоположение тел и "время" – мера перемен, вводятся аксиоматически и рассматриваются как две самостоятельные непрерывные сущности, существующие наряду с материей и независимо от нее. Априорные концепции взаимно независимых категорий "пространство" и "время" в классической механике предполагают их однородность, независимость от присутствия тел и характера протекающих материальных процессов.

Введением системы координат каждой точке пространства ставят в соответствие набор вещественных чисел, минимальное число элементов которого (безразмерное), общее для всех объектов, характеризует математически определенную размерность пространства. В естественных науках активно используется один из видов множеств – векторное пространство.

В качестве одного из общих оснований физических теорий выбран постулат трех-

мерности метрического (евклидова) пространства. Стандартный базис трехмерного пространства задается ортами  $e_1, e_2, e_3$ . Инварианты пространства – интервалы (расстояния между телами), времени (длительности или обратные значения – частоты) и массы – базовые наблюдаемые величины, положенные в основу стандартов и метрических систем.

Аксиоматика векторных пространств допускает операции сложения и умножения, внутренней композиции (сложения векторов), ассоциативности, коммутативности с выполнением правил алгебраического сложения (вычитания) векторов, ассоциативности произведения множителей; умножения на единицу, дистрибутивности и *внешней композиции* – сохранения в векторном пространстве результата произведения скаляра на вектор. Последнее условие обосновывает возможность объединения в единый комплекс ньютонову механику твердого тела, абстрактную и прикладную математику.

В число возможных операций входят различные виды преобразований пространства (подобия, проективные, аффинные), включающие ортогональные аффинные отображения метрического пространства  $(x, y, z)$  в пространство  $(x', y', z')$ , сохраняющие расстояния между элементами. В декартовой системе координат ортогональные преобразования задаются формулами  $x'_i = a_{ik}x_k$ ;  $a_{ji}a_{jk} = 0$  при  $i \neq k$ ;  $a_{ji}a_{jk} = 1$  при  $i = k$ .

**Движение**, как математическая операция, определяется как *непрерывное ортогональное преобразование пространства в себя с параметром  $t$*  – временем, *сохраняющее расстояния между точками и относительное расположение объектов*. При этом определитель из коэффициентов матрицы преобразования  $a_{ik}$  равен  $\|a_{ik}\| = +1$ . Не сохраняющее ориентацию фигур ортогональное преобразование с определителем  $\|a_{ik}\| = -1$  задает отражение относительно некоторой оси.

Движению в евклидовом пространстве соответствует группа ортогональных преобразований пространства в себя, включающая *независимые* подгруппы перемещений и вращений. Преобразования, задаваемые

группой движений, изучает элементарная геометрия.

Переход от геометрии к ньютоновской механике обеспечивается введением тел – наделением отдельных точек пространства дополнительными признаками – подвижностью и массой  $m$ . В математике масса – положительно определенная скалярная величина, в механике – мера инерции и гравитационного взаимодействия, в физике – количества вещества, в метрологии – одно из оснований системы стандартов. В процессе движения масса тела предполагается постоянной или изменяющейся по заданному закону.

Для описания движения вводятся две системы координат – исходная, связанная с абсолютным пространством и подвижная, связанная с движущейся материальной точкой. В абсолютной системе координат движение материальной точки характеризуется набором положений (траекторией)  $S(x, y, z)$ ,

скоростью  $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z) = \frac{d\mathbf{R}}{dS} \frac{dS}{dt} = \boldsymbol{\tau} \frac{dS}{dt}$  и

ускорением  $\mathbf{w} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \boldsymbol{\tau} + v^2 \frac{d\boldsymbol{\tau}}{ds}$  ( $\mathbf{R}$  – радиус-вектор тела,  $\boldsymbol{\tau}$  – единичный вектор, задающий локальное направление касательной к траектории движения тела  $S$ ,  $\frac{d\boldsymbol{\tau}}{ds}$  – вектор кривизны. Движение материальной точки в конфигурационном пространстве  $\delta\mathbf{r} = \mathbf{v}_t \delta t + \boldsymbol{\Omega} \times \delta\mathbf{r}$  включает прямолинейное перемещение со скоростью  $v_t$  и/или вращение вокруг мгновенного центра с угловой скоростью  $\boldsymbol{\Omega}$ ).

Для описания динамики движения используется понятие силы  $\mathbf{F}$ , значение которой определяется действием внешних полей и ускорением материальной точки  $\mathbf{F} = m\ddot{\mathbf{x}}$  (второй закон Ньютона). Инварианты движения – вектор импульса тела ("материальной точки")  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$  и скаляр – энергия

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Следствие важного правила векторных пространств – **внешней композиции** – является эквивалентность векторных пространств *импульса* (инварианта движения) и *скорости* (кинематической характеристики), содержащих точечные тела неизменной

массы. Следовательно, описание движения как перемещения тела относительно системы тел, образующих репер, согласуется с операцией преобразования пространства в себя с сохранением расстояний. Два определения *движения* – динамическое и геометрическое эквивалентны.

Практическое описание движений тел проводится в алгебрах вещественных или комплексных чисел и кватернионов (последняя оказывается наиболее экономной при символьном программировании задач механики). Таким образом, тождественность ньютоновской механики геометрии векторных пространств обеспечивает эквивалентность математики и ньютоновской механики материальной точки массой  $m$ , обладающей вектором импульса  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$  и энергией

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{\mathbf{p}^2}{2m}.$$

Окончательно связь между физическими характеристиками движения тела (импульсом, энергией, моментом количества движения) с фундаментальными свойствами пространства позволили установить теоремы Нетер, сформулированные для консервативных систем с сохраняющимся функционалом действия – функцией Лагранжа, которые выражают инвариантность действия по отношению к некоторой непрерывной группе преобразований.

По теореме Нетер каждой инфинитезимальной симметрии системы соответствует закон сохранения. В частности, в классической механике однородности времени и пространства соответствуют законы сохранения энергии и импульса. Изотропии пространства соответствует закон сохранения момента количества движения.

Математически установленные теоремы для консервативных систем в дальнейшем распространены на эволюционирующие во времени системы тел и полей, в дальнейшем приобрели смысл балансных уравнений и стали применяться в качестве логической основой описания динамики сложных диссипативных систем. Достоинством такого подхода является логическая и эвристическая обоснованность и конструктивность, позволяющая установить какие из практически используемых физических величин являются наблюдаемыми, то есть до-

пускающими оценку погрешности, а какие – нет, и требующими разработки специальных процедур для определения и использования их значений на практике

### Общая механика твердого тела

Движение твердого тела произвольной формы с неоднородной плотностью  $\rho(x, y, z)$ , в том числе и с пустотами, формой  $Z_l = Z(x, y)$ , и габаритами  $(l_x, l_y, l_z)$ , объемом  $V$ , массой  $m^b$ , тензором инерции  $m_{ij}^b$ , которое движется с линейной скоростью  $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$  и одновременно вращается с угловой скоростью  $\boldsymbol{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  характеризуется импульсом  $P_i = m^b v_i + m_{ij}^b \omega_j$ , моментом импульса  $L_i^b = \sum_k m_{ik}^b \omega_k$ , энергией вращения  $E_\omega^b = \frac{1}{2} \sum_{i,k} \omega_i m_{ik}^b \omega_k$  и полной энергией движения  $E_t^b = \frac{m^b v_i v_i}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i,k} \omega_i m_{ik}^b \omega_k$ .

Движения в механике описывает полная система дифференциальных уравнений, представляющих законы сохранения, включающая уравнения характеризующие изменения параметров тела (его массы и тензора инерции) и всех независимые инвариантных величин (импульса, энергии, момента импульса), а также соответствующих начальных и граничных условий.

Динамика движения тела сложной переменной массы и переменной формы описывается полными решениями системы уравнений, учитывающей за счет действия внешних источников с интенсивностями  $Q$ , вызывающими изменение массы тела  $Q^m(t)$ , тензора инерции  $m_{ij}^m$  (перестройку формы и плотности распределения масс  $Q_{ik}^m(t)$ ), полной энергии  $Q^e$ , векторов импульса (под действием внешних силы  $Q_i$ ) и момента импульса  $Q_i^l$  под действием моментов сил.

Изменения каждой из независимых фундаментальных величин  $A$  под действием и плотностью внешних источников плот-

ностью  $Q$  или полей описываются законами сохранения

$$\frac{dA}{dt} = Q \quad (6)$$

При изучении движений твердого тела энергия обычно рассматривается как производная величина, один из интегралов уравнений Ньютона. Однако здесь энергия считается независимой переменной, которая учитывает действие изотропных полей (при взаимодействии тела с анизотропными полями, необходимо учитывать дополнительные потоки импульса).

При изучении динамики течений сплошной среды (жидкости) учитывается поток всех сохраняющихся величин  $Av$  (положительный знак потока – из области описания наружу) через инфинитезимальную ограничивающую поверхность

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Av_i)}{\partial x_k} = Q^M \quad (7)$$

В уравнения системы (7) входят все сохраняющиеся величины, кроме момента импульса, который не является инвариантом вследствие текучести жидкости, обеспечивающей в трехмерном пространстве перераспределения значений компонентов скоростей и отличие скорости в каждой точке от распределения твердотельного вращения).

Системы уравнений вида (7) должны анализироваться с учетом условия совместности, определяющего их ранг и число независимых функций, составляющих полное решение, которое описывает все физические переменные задачи и удовлетворяет начальным и граничным условиям. Составление уравнений и их решение представляет трудную задачу в каждом конкретном случае, особенно для тел сложной формы и жидкостей в полях внешних сил.

### Теория течений жидкостей

Основы теоретической гидродинамики, как науки о поведении сплошной среды, свойства которой описываются непрерывными функциями, противоречат общепринятой теории дискретного строения вещества, состоящих из атомов и молекул размерами порядка  $10^{-8}$  см, которые часто образуют кластеры размером  $10^{-6}$  см. Однако

при рассмотрении течений больших масштабов непосредственным влиянием дискретного строения вещества пренебрегается.

В современной термогидромеханике влияние атомно-молекулярных взаимодействий учитывается в выражениях для термодинамических потенциалов: внутренней и свободной энергии, энтальпии и свободной энтальпии – потенциала Гиббса  $dG$ , а также их производных – термодинамических параметров среды: плотности  $\rho = 1/V = (\partial G/\partial P)_T^{-1}$ , давления  $P$ , температуры  $T$ , энтропии  $s = -(\partial G/\partial T)_P$ , коэффициента поверхностного натяжения на границах раздела агрегатных состояний площадью  $S_f$   $\sigma = (\partial G/S_f)_{T,P}$ , концентрации растворимых вещества  $S_i$ , химического потенциала  $\mu = (\partial G/\partial S_i)_{T,P,S_f}$  и других.

Одним из определяющих свойств жидкости является – текучесть, способность приходить в движение под действием бесконечно малых сил. Еще одно важное свойство – возможность взаимных переходов составляющих компонентов энергии – внешней потенциальной, механического движения, внутренней энергии с участием доступной потенциальной поверхностной энергии  $\sigma dS_f$ , химической энергии  $\mu_i dS_i$ , связанной с изменением концентраций  $dS_i$  веществ  $dG = -sdT + VdP + \mu_i dS_i + \sigma dS_f$ . (8)

Обмен энергией может происходить и медленно, под действием диффузионных процессов, и более быстро в рамках механического переноса, и достаточно быстро под действием атомно-молекулярных взаимодействий (например распространении звука или при освобождении доступной потенциальной энергии  $dG = \sigma dS_f$ , сосредоточенной в тонком приповерхностном слое толщиной порядка  $10^{-6}$  см, а также химической энергии при протекании реакций и изменении концентрации веществ  $\mu_i dS_i$ ). Наличие процессов, локализованных на малых масштабах, приводит к формированию тонких структур жидкостей и газов в природных условиях и технологических установках.

В общем случае жидкости неоднородны по составу, температуре, и, поскольку

находятся в поле массовых сил, стратифицированы. Параметрами стратификации являются масштаб  $\Lambda = |d \ln \rho(z) / dz|^{-1}$ , частота  $N = \sqrt{g / \Lambda}$  и период плавучести  $T_b = 2\pi / N$ . Реальные среды – атмосфера, гидросфера характеризуются тонкой пространственной структурой в распределениях физических величин – и потенциалов, и термодинамических параметров.

Все уравнения механики жидкостей, составляющие основу современной теории течений, которой впервые были собраны в фундаментальном курсе [8], вышедшем в 1944 г., продолжают приводиться во всех современных учебниках и монографиях.

Сейчас они рассматриваются как система уравнений, включающая уравнения состояния для одного из термодинамических потенциалов, например, свободной энтальпии Гиббса, и главного механического параметра – плотности среды, а также дифференциальные уравнения переноса импульса, полной энергии (или энтропии, или температуры), концентрации составляющих компонентов [21]. Здесь они представлены с учетом  $\Omega_k$  – угловой скорости глобального вращения жидкости; эффектов вязкости, температуропроводности и диффузии с коэффициентами  $\nu$ ,  $\kappa_T$ ,  $\kappa_S$ ; действием источников плотности импульса, температуры и соли  $Q_i$ ,  $Q_T$ ,  $Q_{S_i}$ , соответственно. Скорость жидкости  $v_i = p_i / \rho$  определяется как отношение двух инвариантных величин. Тогда полная система связанных фундаментальных уравнений имеет вид [8]

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho = \rho(P(\mathbf{x}, t), S_i(\mathbf{x}, t), T(\mathbf{x}, t)), G = G(\mathbf{x}, t) \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial p_i}{\partial x_i} = 0 \\ \frac{\partial (p_i)}{\partial t} + \left( \frac{p_j}{\rho} \nabla_j \right) p_i = -\nabla_i P + \rho g_i + \nu \Delta (p_i) + \\ + 2\varepsilon_{ijk} p_j \Omega_k + Q_i \\ \frac{\partial \rho T}{\partial t} + \nabla_j \cdot (p_j T) = \Delta (\kappa_T \rho T) + Q_T \\ \frac{\partial \rho S_i}{\partial t} + \nabla_j \cdot (p_j S_i) = \Delta (\kappa_S \rho S_i) + Q_{S_i} \end{array} \right. \quad (9)$$

Вид уравнения состояния выбирается с учетом состава среды и характера изучаемых течений. Система (9) включает дисси-

пацию импульса, но не учитывает влияние процессов с быстрыми изменениями внутренней энергии. Система дополняется физически обоснованными граничными условиями – прилипания на твердых границах, динамических и кинематических на свободной поверхности, затухания на бесконечности – и начальными условиями [8].

Инфинитезимальные симметрии системы включают сдвиги по пространству и времени, вращения, и преобразования Галилея, что соответствует фундаментальным принципам физики, положенным в основу ее вывода [21].

Условие совместности определяет *ранг* полной нелинейной системы, *порядок* ее линеаризованной версии и *степень* характеристического (дисперсионного) алгебраического уравнения, задает число независимых функций (минимальный набор для нелинейной системы), составляющих полное решение.

Для маловязких сред, к числу которых относятся вода и водные растворы, воздух и другие газы, кинетические коэффициенты при старших производных малы, система (9) относится к классу сингулярно-возмущенных уравнений, решения которых включают и регулярные, и сингулярные функции [22]. При анализе периодических по времени течений регулярные асимптотические разложения удовлетворительно описывают волны – крупномасштабные компоненты, в которых мгновенные пространственные характеристики (длина волны  $\lambda$ , волновое число  $\mathbf{k}$ ) связаны с локальным временным параметром (периодом  $T$ , частотой  $\omega$ ) функциональным (дисперсионным) соотношением  $\omega = \omega(\mathbf{k}, \mathbf{A})$  ( $\mathbf{A}$  – амплитуда). С точностью до вида диссипативных поправок решения фундаментальной системы и ее подсистем – уравнений Навье-Стокса и Эйлера – согласуются между собой.

Сингулярные решения – лигаменты, зависящие от вида среды, энергетики и геометрии задачи, определяют положение областей высокого уровня завихренности, диссипации энергии, концентрации переносимых примесей и тонкую пространственную структуру течения в целом [23].

Как и волны, лигаменты характеризуются функциональными связями между временными и пространственными параметрами течений. В опытах лигаменты визуализируются как тонкие высокоградиентные оболочки и волокна (филаменты). Число лигаментов – сингулярно возмущенных решений в каждой точке течения определяется рангом системы, фактически – полнотой уравнения состояния – зависимостью плотности от состава и температуры среды и числом дополнительных уравнений переноса типа Фурье-Фика в полной системе уравнений.

Волны и лигаменты составляют полную решение линеаризованной системы фундаментальных уравнений, описывающее изменение всех входящих в нее физических величин и удовлетворяющее физически обоснованным граничным условиям. Они присутствуют в течениях во всех доступных для наблюдений режимах течений: и наиболее медленных, ползучих (например, наиболее распространенных в природе течениях, индуцированных диффузией на топографии [24]), и наиболее быстрых гиперзвуковых в атмосферах Земли, планет и звезд.

В предположении постоянства плотности система (8) вырождается по сингулярным решениям и в трехмерной постановке становится переопределенной (система уравнений Навье – Стокса для четырех переменных – трех компонент скорости и давления имеет шестой ранг) и неразрешимой.

Полная система уравнений включает нелинейные члены, описывающие взаимодействие базовых структурных компонентов [25], продуктом которого являются новые волны, лигаменты вихри и ударные волны. Лигаменты – линейные предшественники ударных волн, наблюдаются во всех режимах течений.

Из принципа совместности уравнений следует требование одновременного расчета или измерения всех физических величин, входящих в фундаментальную систему. При этом импульс среды может быть определен двумя независимыми способами – по измерениям силового действия потока на стандартное препятствие и определению расхода. Именно последний способ был реализован в классических экспериментах Пуазей-

ля, Хагена и Рейнольдса, однако при интерпретации результатов использовалось понятие скорости в предположении неизменности плотности среды.

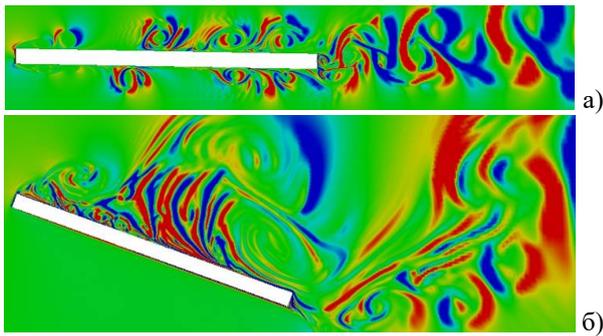
Для обеспечения полноты эксперимента измерения импульса должны дополняться определением термодинамических параметров потока. Достаточно хорошо разработанные методики измерения температуры, концентрации компонентов, плотности и давления должны реализовываться совместно. Одновременные измерения всех инвариантных параметров течений обеспечивает возможность локального сравнения рассчитанных и измеренных полей физических величин с гарантированной оценкой точности.

Характерные макромасштабы компонентов течений – волн, вихрей и лигаментов определяют требования к расчетным кодам и полному физическому эксперименту, в частности числу одновременно регистрируемых параметров, размерам области наблюдения и длительности цикла регистрации, позволяющим идентифицировать все крупные элементы течений и проследить их реструктуризацию, а микромасштабы лигаментов – пространственную и временную разрешающую способность инструментов или параметры дискретизации в численном моделировании. Технические возможности современных экспериментальных установок, и также вычислительных комплексов, методы программирования позволяют в единой постановке анализировать решения фундаментальной системы, описывающие динамику и структуру течений, в широком диапазоне параметров, включающем волновые, вихревые и нестационарные режимы [24, 26].

В типичном примере рассчитанной картины стратифицированного течения около препятствия, представленной на Рис. 1. выделены одновременно образующиеся с крупными волнами, и вихри и высокоградиентные прослойки.

Переналожение структурных компонентов с различными пространственно-временными свойствами в наблюдениях и измерениях проявляется как непрерывная изменчивость физических параметров, содержащая и регулярную, и случайную компоненту в силу иррациональности отноше-

ний собственных масштабов даже в случае установившегося режима движения тела.



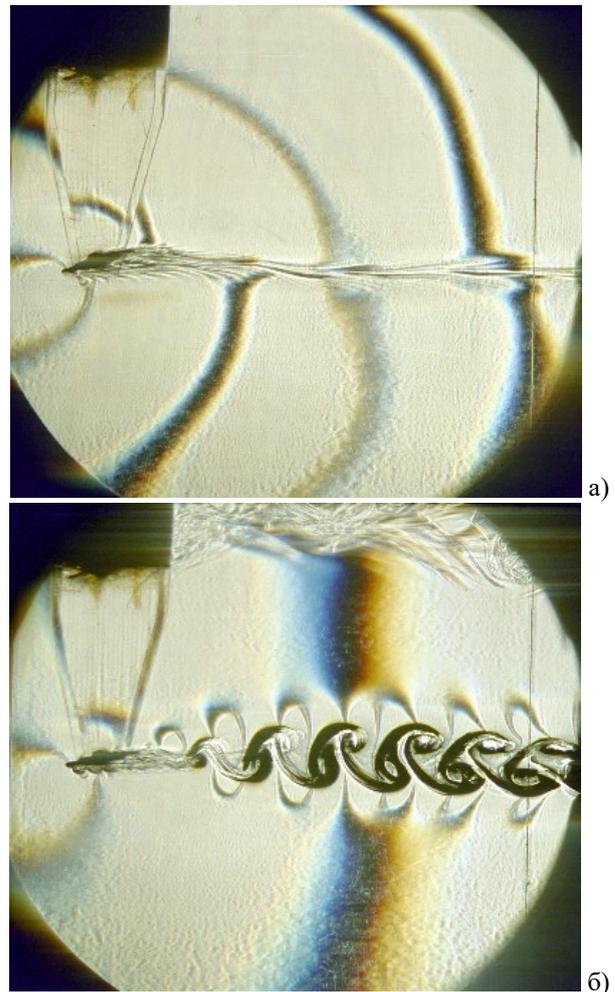
Длина пластины  $L = 10$  см и высота  $h = 0.5$  см, движущейся со скоростью  $U_0 = 100$  см/с в жидкости с частотой плавучести  $N = 1.2$  с<sup>-1</sup>:  
а, б) – угол атаки  $\alpha = 1^\circ, 20^\circ$

Рисунок 1 – Мгновенная картина распределения возмущений горизонтальной компоненты градиента плотности в течении около наклонной прямоугольной пластиной

Все структурные компоненты визуализируются в экспериментах по изучению картины обтекания препятствий стратифицированной жидкостью – прозрачным водным раствором поваренной соли переменной концентрации. Эксперименты проводились на стенде ЛПБ (лабораторном передвижном бассейне), входящем в комплекс Уникальных исследовательских установок УИУ «ГФК ИПМех РАН» с иллюминаторами из оптического стекла, позволяющими использовать высокоразрешающий теневой прибор ИАБ-458 [26].

Методика эксперимента была разработана с учетом результатов масштабного анализа системы фундаментальных уравнений. Максимальные масштабы изучаемых явлений ограничены размером области наблюдения теневого прибора, диаметр которого составляет 23 см. Пространственное разрешение ограничено оптическими характеристиками самого прибора и регистрирующей аппаратуры, качество которой непрерывно улучшается по мере совершенствования оптики и компьютерных технологий. В данных экспериментах разрешение составляет 0,005 см и выше, что позволяет изучать структуру тонких и сверхтонких прослоек, образующихся при обтекании тел и падении капель в жидкость [27].

В типичной картине стратифицированного течения вокруг равномерно движущейся наклонной полосы, представленной на рисунке 2, в разной степени полноты выражены все указанные компоненты течений – при малых скоростях лигаменты (тонкие полосчатые структуры) и внутренние волны, гребням и впадинам которых соответствуют темные и серые полосы на рисунке 2, а. С увеличением скорости лигаменты постепенно перестраиваются в пространственно упорядоченные системы вихрей, типичные для следов за плохо обтекаемыми телами (рисунок 2, б).



а, б) – скорость пластины  $U = 1.4, 3.6$  см/с

Рисунок 2 – Волны, лигаменты и вихри в движущейся наклонной пластины длиной  $L = 2.5$  см  
 $T_b = 7.6$  с, угол атаки  $\alpha = -16^\circ$

Наличие подъемной силы проявляется в изменении структуры фазовых поверхностей внутренних волн (на рисунке 2, б они смещены в верхнем и нижнем полупро-

странствах по сравнению с рисунком 2, а) и асимметрии оболочек вихревых диполей.

На практике в силу сложности полной системы (9) для описания каждого конкретного вида течений все еще составляются индивидуальные модели: редуцированные, основанные на упрощении исходной системы (теории волн, пограничного слоя, конвекции) или конститутивные (теории турбулентности [8]) с собственными законами сохранения. Поскольку вид уравнений определяет смысл входящих в них физических величин, изменение симметрий уравнений меняет содержание входящих понятий, обозначаемых зачастую одинаковыми символами, что затрудняет экспериментальную проверку расчетов, сопоставление выводов различных теорий, накопление данных для последующего анализа и обобщений.

### **Заключение**

Из определений математики, физики и рациональной механики следует необходимость развития теории течений и методик экспериментальных исследований с учетом наблюдаемости базовых величин, набор которых определяются видом инфинитезимальных симметрий систем фундаментальных уравнений, порождающих законы сохранения.

Из вида системы фундаментальных уравнений механики жидкостей следует, что наблюдаемыми, то есть допускающими измерение с одновременной оценкой погрешности, являются импульс течений, а также давление, плотность, температура среды и концентрации растворенных компонент.

Поскольку фундаментальная система уравнений масштабно инвариантна, входящие в базовую классификацию компоненты – волны, вихри и лигаменты – тонкоструктурные прослойки и волокна с высоким уровнем завихренности и градиентов всех физических параметров – существуют во всем диапазоне параметров течений. Базовые компоненты течений визуализируются в численных расчетах и высокоразрешающих лабораторных экспериментах.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке ФАНО России (проект АААА-А17-

117021310378-8 "Разработка согласованных аналитико-численных методов расчета динамики и структуры течений жидкостей и методик сравнения с данными высокоразрешающих экспериментов на стендах УСУ «ГФК ИПМех РАН») и частично РФФИ (грант 18-05-00870).

### **Список литературы**

- 1 Галилей Г. Пробранных дел мастер. М.: Наука. 1987. 272 с.
- 2 Декарт Р. Первоначала философии. Соч. в 2 т.-Т. 1. М.: Мысль. 1989. С. 297-422.
- 3 Лейбниц Г.В. Краткое доказательство примечательной ошибки Декарта... Соч. в 4 том. Т. I. М.: Мысль. 1981. С. 118 -125.
- 4 Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука. 1989. 688 с.
- 5 Бернулли Д. Гидродинамика, или записки о силах и движениях сингулярно возмущенных жидкостей. Л.: Изд. АН СССР. 1950. 551 с.
- 6 D'Alembert J.- R. Réflexions sur la cause générale des vents, Paris; 1744.
- 7 Эйлер Л. Общие законы движения жидкостей // Мех. жидк. и газа. 1999. № 6. С. 26-54.
- 8 Ландау Л. Д. Лифшиц Е. М. Теорет. физика. Т. 6. Гидродинамика. М.: Наука. 2006. 732 с.
9. Fourier J. Théorie analytique de la chaleur. Paris: Firmin Didot Père et Fils. 1822. 639 s.
- 10 Navier C.-L.-M.-H. Mémoire sur les Lois du Mouvement des Fluids // Mém. d l'Acad. des Sciences. 1822. V. 6. P. 389-417.
11. Stokes G.G. On the theories of the internal friction of fluids in motion, and of the equilibrium and motion of elastic bodies // Trans. Cam. Phil. Soc. 1845. V. 8. P. 287-305;
- 12 Ладыженская О.А. Шестая проблема тысячелетия: уравнения Навье–Стокса, существование и гладкость // УМН. 2003. Т .58. № 2. С.45–78. DOI: 10.4213/rm610.
13. Сомсиков В.М. Открытые неравновесные динамические системы // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2017. Т.19 № 2. С. 33 – 47.
- 14 Fick, A. Ueber Diffusion // Annalen der Physik. 1855. V. 94. P. 59–86. doi:10.1002/andp.18551700105.

- 15 Maxwell J.C. Remarks on the Mathematical Classification of Physical Quantities // Proc. L. Math. Soc. 1871. V. 3, S. 1-3. P. 224-233.
- 16 Менделеев Д.И. Об упругости газов. СПб. 1875. 295 с.
- 17 Менделеев Д.И. Исследование водных растворов по удельному весу. СПб. 1887. 520с.
- 18 Гиббс Дж. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука 1982. 584 с.
- 19 Reynolds O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels // Proc. R. Soc. Lond. 1883. V. 35. No. 224-226. P. 84-99. doi: 10.1098/rspl.1883.0018
- 20 Reynolds O. V. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion // Philos. Trans. 1895. V. 186. P. 123-164. DOI: 10.1098/rsta.1895.0004
- 21 Chashechkin Yu. D. Differential fluid mechanics – harmonization of analytical, numerical and laboratory models of flow // Mathematical Modeling and Optimization of Complex Structures. Springer Series “Computational Methods in Applied Sciences” V. 40. 2016. 328 p. P. 61-91. DOI: 10.1007/978-3-319-23564-6-5
- 22 Найфэ А. Х. Введение в методы возмущений. М.: Мир, 1984. 535 с.
23. Chashechkin Yu.D. Waves, Vortices and Ligaments in Fluid Flows of Different Scales // Physics & Astronomy International Journal. 2018. V. 2(2). P. 105–108. DOI: 10.15406/paij.2018.02.00070
- 24 Chashechkin Yu. D., Zagumennyi I. V., Dimitrieva N. F. Unsteady Vortex Dynamics Past a Uniformly Moving Tilted Plate // Proceedings. Topical Problems of Fluid Mechanics 2018, Prague, February 21 – 23, 2018. P. 47 -- 56. DOI: <https://doi.org/10.14311/TPFM.2018.007>
- 25 Кистович Ю.В., Чашечкин Ю.Д. Новый механизм нелинейной генерации внутренних волн // Докл. АН. 2002. Т. 382. № 6. С. 772–776
- 26 Чашечкин Ю.Д. Структура и динамика природных течений: теоретическое и лабораторное моделирование // Актуальные проблемы механики. 50 лет Институту проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН. М.: Наука. 2015. С. 63-78.
27. Ильиных А.Ю., Чашечкин Ю.Д. Гидродинамика погружающейся капли: линейчатые структуры на поверхности венца // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2017. № 2. С. 152–165. DOI: 10.1134/S0015462817020144

**Принято к печати 24.04.2018**

**Ю.Д. Чашечкин**

*Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН, Россия, Москва*

e-mail: [chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru)

## **ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОСНОВ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТЕЙ**

**Аннотация.** Приводится краткое описание истории развития теории течений жидкостей, проводится анализ аксиоматики классической механики жидкости и твердого тела с учетом условия наблюдаемости рассчитываемых величин. Определяющие уравнения представлены в дифференциальной форме законов сохранения вещества, импульса, энергии. Классическая система уравнений механики жидкостей анализируется с учетом условия совместности методами теории сингулярных возмущений. Решения системы уравнений, описывающие волны, вихри и тонкие прослойки – лигаменты, сравниваются с результатами численных расчетов и высокоразрешающего лабораторного моделирования стратифицированных течений.

**Ключевые слова:** аксиоматика, фундаментальные уравнения, полные решения

**Ю.Д. Чашечкин**

*РФА А.Я. Ишлинский атындағы Механика мәселелері институты, Ресей, Мәскеу*  
e-mail: [chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru)

## **СУЙЫҚТЫҚТАР МЕХАНИКАСЫНЫҢ ТУЫНДАУЫ ЖӘНЕ ДАМУЫ**

**Аннотация.** Қысқаша сипаттамасы келтіріледі даму тарихының теориясы ағымдардың сұйықтықтарды талдау жүргізіледі, аксиоматики классикалық механика сұйықтар және қатты дененің ескере отырып, шарттары есептелетін шама. Анықтайтын теңдеу ұсынылған дифференциалды түрде заңдарын сақтау заттың импульстің энергиясы. Классикалық теңдеулер жүйесі механика сұйықтар талданады ескере отырып, шарттары бірлескен әдістерімен теориясы сингулярных қалыптанған. Теңдеулер жүйесін шешудің сипаттайтын толқындар, вихри және жіңішке дәнекерден – лигаменты, нәтижелерімен салыстырылады сандық есептер мен өте дәл зертханалық модельдеу стратифициролық ағымдар.

**Түйін сөздер:** аксиоматика, іргелі теңдеулер, толық шешімдер

**Yu. D. Chashechkin**

*A.Yu. Ishlinskii Institute of mechanics problems, Russia, Moscow*  
e-mail: [chakin@ipmnet.ru](mailto:chakin@ipmnet.ru)

## **THE FOUNDATION AND DEVELOPMENT OF LIQUID MECHANICS BASICS**

**Abstract.** A brief description of the history of the theory of fluid flows development is given, an axiomatic analysis of the classical mechanics of liquids and solids is performed, taking into account the observability condition for the quantities being calculated. The governing equations are represented in the differential form of the laws of conservation of matter, momentum, energy and concentration of impurities. The system of governing equations for the mechanics of liquids is analyzed taking into account the compatibility condition using the methods of the theory of singular perturbations. The solutions of the governing system describing waves, vortices, and ligaments that are thin interfaces are compared with the results of numerical calculations and high resolution laboratory modeling of stratified flows.

**Keywords:** axiomatics, fundamental equations, complete solutions

**Н.Ш. Алимгазина, А.Ж. Наурзбаева, А.Б. Манапбаева, Н.Т. Изтлеуов, С.Б. Икрамова**  
*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан*

## **ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫ ҚҰРЫЛЫМЫН МУЛЬТИФРАКТАЛДЫ ТАЛДАУ**

**Аннотация.** Берілген зерттеу Юпитер атмосферасының фотографиялық суреттерін талдауда жаңа бағытты көрсетеді. Жұмыста алғашқы рет Юпитердің атмосфералық ағыны құрылымын сипаттау үшін мультифракталды талдау-динамикалық хаос теориясы әдісі қолданылды.

Зерттеу объектісі ретінде Кристофер Го астрономы түсірген Юпитер атмосферасының суреттері қолданылды. 1997 жылғы маусым айынан 2015 жылғы желтоқсан айына дейінгі периодтағы 819 суреттер зерттелінді. Юпитер атмосферасы зоналары мен белдіктері құрылымын талдау мақсатында әрбір сурет үшін мультифракталдық және метрикалық сипаттамалар есептелініп, мультифракталдық спектрлер мен энтропиялық диаграммалар құрылды.

Зерттеу нәтижесінде мультифракталдық спектр арқылы есептелген Юпитер атмосферасы суретінің өзқасас энтропиясы азаятыны және 12 жылға ығысқан мәліметтерді талдау кезінде 1997 жылдан 2015 жылға дейінгі аралықта екі өлшемді форма коэффициентінің артуы анықталды. Сонымен қоса, әр жылдар үшін өзқасас энтропияның және екі өлшемді форма коэффициентінің орта айлық мәндерін зерттеу кезінде сипаттама өзгерісінің тенденциясы өзгертін уақыт периодтары анықталды.

Ұсынылған жұмыстағы зерттеу әдісі Юпитер атмосферасы құрылымы өзгерісіндегі заңдылықтарды анықтауға және сандық сипаттаманы жүргізуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** динамикалық хаос, мультифракталды талдау, энтропия, фракталдар.

### **Кіріспе**

2012 ж. 6 қаңтар №528-і «Ғарыш қызметі туралы» ҚР-ның заңына сәйкес ғарыштық кеңістікті, планетаны және күн мен жердің байланысын зерттеу ғарыштық қызметтің ең басым бағыттарының бірі болып табылады. Астрофизикалық зерттеулерде Алып- Планеталар ерекше орын алады. Алып-планета атмосферасын зерттеуге көптеген ғылыми жарияланымдар арналса да, алайда кейбір кезеңдер әлі де болса түсініксіз болып қалған.

Юпитер атмосферасының бетінде әрқашан да планета атмосферасында бұлттық түзілуді көрсететін қара қоңыр жолақтар қатары бақыланады. Бұл жолақтардың түстері, орналасуы, ені, интенсивтілігі бірнеше айлар ішінде едәуір өзгерген. Бұл өзгерістердің себептері, заңдылықтары әлі анықталмаған. Кейбір авторлар жолақ өзгерісі мен күн белсенділігінің арасындағы тәуелділікті табуға тырысты [1-5]. Салыстырмалы түрде өзінің сипаты күрделі емес Юпитер жолағын бақылау, әсіресе, олар жүйелік түрде жүргізілсе ғылыми мәнге ие бола алады. Бұдан бөлек болып жатқан физикалық

процестерді түсінуге үлес қосушылар бақыланатын мәліметтердің дұрыс интерпретациясы және талдау әдістері болып табылады.

Бұл зерттеу Юпитер атмосферасының фотографиялық суреттерін талдауда жаңа бір бағытты көрсетеді. Жұмыста ең алғаш рет Юпитердің атмосфералық ағыны құрылымын сипаттау үшін мультифракталды талдау-динамикалық хаос теориясы әдісі қолданылды.

### **Зерттеу әдісінің теориялық негізі**

Фракталдар мен мультифракталдар теориясы күрделі біртекті емес объектілердің өзқасас қасиеттерін суреттеу үшін қолданылады. Фракталдарға мынадай объектілер жатады: өте жырымдалған түрге ие денелер, сызықтар, кеңістіктер жатады. Олар масштабтардың кең диапазонында кейбір қайталануларды көрсетеді. Қайталану (ұқсастық) толық болуы мүмкін (регуляр фрактал) немесе кездейсоқтылықтың кейбір элементі (кездейсоқ фрактал) бақылануы мүмкін. Аз масштабтағы кездейсоқ фракталдар құрылымы бүкіл объект құрылымына ұқсас болмайды. Алайда,

олардың статистикалық сипаттамалары сәйкес келеді және объектінің статистикалық түрде тәуелсіз іске асырылуды орташалағаннан кейін өзұқсас қасиеті сақталады[6-10].

Фракталдар табиғатта күрделі геометриялық объектілер түрінде ғана кездесуі мүмкін. Олар мультифракталдар деп аталады. Фракталдардағы әр түрлі процестер (физикалық, химиялық және т.б.) стационарлы үлестіруді генерациялай алады. Ол фракталдық өлшем деп аталады. Оның математикалық суреттемесі сингулярлық спектр  $f(\alpha)$  (мультифракталдық спектр функциясы) термині арқылы жүзеге асады.

Егер  $P$  өлшемді үлестіруі бар жиын өлшемі  $\delta$  болатын ұяшықтарға бөлінген болса, онда төмендегі өрнекті аламыз:

$$P_i(\delta) \propto \delta^{\alpha_i}, \quad (1)$$

мұнда  $\alpha_i$  сингулярлық экспонента деп аталады. Онда

$$\alpha_i = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln P_i(\delta)}{\ln \delta}. \quad (2)$$

Теңөлшемді үлестіру кезінде  $\alpha_i = 1$  - ге тең.  $f(\alpha)$  сингулярлық спектрі  $\alpha$  мәніне тең сингулярлық экспонента нүктесіне сәйкес келетін  $N_\alpha$  ұяшық сандарының  $\delta$  сандарына тәуелділігін сипаттайды:

$$N_\alpha(\delta) \propto \delta^{-f(\alpha)}. \quad (3)$$

Жиында өлшемдерді теңөлшемді үлестіру жағдайында  $\alpha = const$  тең және мультифракталды спектр функциясы  $(\alpha, f)$  жазықтығында жалғыз нүктені көрсетеді. Өлшемдерді теңөлшемсіз үлестіру кезінде  $f(\alpha)$  функциясы күрделірек көрініске ие болады[2].

Мультифракталдар теориясында мультифракталдық спектр функциясын есептеу үшін жалпыланған статистикалық суммалар арқылы жалпыланған фракталдық өлшемділік есебіне негізделген тәсіл қолданылады.

$$Z(q, \delta) = \sum_{i=1}^{N(\delta)} P_i^q(\delta), \quad -\infty < q < +\infty \quad (4)$$

Мұнда  $N(\delta)$  –  $\delta$  өлшемді ұяшықтар саны,  $q$  – біртекті еместік параметрі.  $Z$ -тің  $\delta$ -дан тәуелділігі дәрежелік сипатты көрсетеді:

$$Z(q, \delta) \propto \delta^{(q-1)D_q}, \quad (5)$$

мұнда  $D_q$  – жалпыланған фракталдық өлшемділік.

Әдетте келесідей белгілеу қолданылады:

$$\tau(q) = (q-1)D_q, \quad (6)$$

Мұнда  $\tau(q)$  – скейлингтік экспоненталар немесе кезектестік көрсеткіші [11-12].

Монофракталдар (қарапайым) үшін

$D_q = const$  тең, мультифракталды объект үшін  $D_q$   $q$ -дің артуымен монотонды азаяды. Бұл азаюды зерттеліп отырған объектінің біртекті емес фрактал екенін растайтын диагностикалық критерий негізінде қарастыруға болады.

Бұл әдіс шеңберінде  $f(\alpha)$  мультифракталды функция спектрі Лежандр түрлендіруі көмегімен анықталынады:

$$\begin{cases} \alpha = -\frac{d\tau}{dq}, \\ f(\alpha) = q\alpha + \tau(q). \end{cases} \quad (7)$$

Мультифракталдың маңызды өкілдері болып нақты тәжірибеде тіркелген көптеген сигналдар (сәулеленудің уақыттық ағындары, фотографиялық суреттер) жатады. Тәжірибелік есептердің толық қатары үшін сөзсіз құндылықты әр түрлі табиғаты процестердің құрылымдарын талдауға қатаң түрде математикалық амалды қолдану көрсетеді.

Хаостық сигналдың энтропиясын мултфракталды спектралды функция арқылы анықтауға болады [13-14].

$$f(\alpha(q=1)) = \alpha(q=1) = D_{q=1} = S = I_2^*, \quad (8)$$

Мұнда  $q$ -мультифракталдық момент реті,  $\alpha(q)$  – ұяшықтың фракталдық өлшемділігі ( $\delta$  минималды масштабты құрылым),  $f(\alpha(q))$  -  $\alpha(q)$  сипаттамасы бар ұяшықтар жиынтығының фракталдық өлшемділігі,  $D_q$ - жалпыланған мультифракталдық өлшемділік.

(8)-формула бойынша анықталатын  $S = I_2^*$  энтропия ( $q=1$ ) алмасуынсыз біртекті жиындарды сипаттайды. Яғни, өзұқсас күйіне сәйкес келеді.  $q$ -дің келген таңдап алынған мәндері үшін (8)-формуланы мына түрде жазамыз:

$$\frac{f}{f_{\max}} = \frac{\alpha}{\alpha_{\max}} = S = I_1^*, \quad (9)$$

мұндағы  $\alpha_{\max}$  -  $\alpha$ -ның максималды мәні,  $I_1^*, I_2^*$  - эзаффиндік және өзұқсас күйге сәйкес келетін энтропияның бақыланатын мәндері.

Информациялық энтропия метрикалық және топологиялық сипаттама болып табылады. Оның тәуелділігін сандық түрде сипаттау үшін тағы да басқа, мысалы үшін таза метрикалық сипаттаманы қолдану қажетті. Ол үшін қисықтар формасының әр түрлілігін бірегей сипаттайтын ортақ сандық сипаттаманы қолданамыз [15]:

$$K_{x_i, x_j}^{p, q} = \frac{\left( \langle |x_i|^p \rangle \right)^{1/p} \left( \langle |x_j|^q \rangle \right)^{1/q}}{|x_i x_j|}, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1. \quad (10)$$

(10)-формула сигналдың жалпыланған метрикалық сипаттамасы болып табылады. Бұл сипаттама  $p=q=2$  кезінде сигнал формасының екіөлшемді коэффициенті болып табылады.

### Юпитер атмосферасы бойынша бақыланған мәліметтер

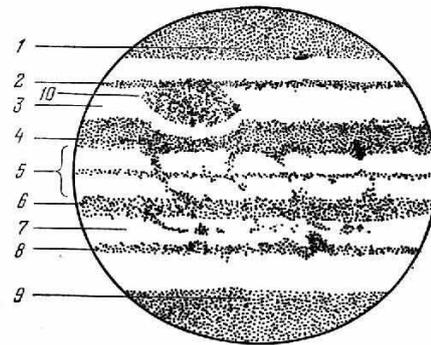
Зерттеуді жүргізу үшін мәліметтер жапондық астроном-бақылаушылардың интернет сайынан алынды [16-18].

Объектілер ретінде Кристофер Го астрономы жасаған фотографиялық суреттері қолданылды. Суреттер Банилада (Себу, Финляндия) Astrophysics AP900GTO де орнатылған Celestron C14 көмегімен түсірілген. Skyris 132M камерасы қолданылады. RGB Starlight Xpress Motorized филтрациялаушы дөңгелегі негізінде Chroma Technology RGB филтрлер жиыны көмегімен жүзеге асырылады.

Метан диапазонының көрінісі Chroma Methane Band (өткізу жолағы 889 нм мен 18 нм аралығындағы) филтр көмегімен алынған. Ультракүлгін бейне Astrodon UV филтр көмегімен жүзеге асырылған. Күшею 2.0X те жұмыс жасайтын Astrophysics

Convertible Barlowды қолдану есебінен, бейнелерді жинау Torsten Edelmann's Firecapture 2.4 программалық қамтамасыз ету көмегімен іске асырылған. Барлық суреттер, бейнелер солтүстікке бұрылған. Skyris 132mUSB пор арқылы Thinkpad T520 көмегімен бақыланады. Өңдеу AutoStakkert! және Registax-ты қолдану көмегімен жүзеге асырылды.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты Юпитер атмосферасында белдеулер мен зоналар құрылымын зерттеу (1-сурет).



1 - S-полярлық қалпақ, 2 - S-қоңыржай жолақ, 3 - S-тропикалық зона, 4 - S-тропикалық жолақ, 5 - экватор зонасы, 6 - N-тропикалық жолақ, 7 - N-тропикалық зона, 8 - N-қоңыржай жолақ, 9 - N-полярлық қалпақ, 10 - Үлкен Қызыл дақ

1-сурет – Юпитердегі жолақ пен зона схемасы

Экваторға параллель орналасқан бұлт жолақтары әрбір момент сайын төмендеуші суық (температура минус 154<sup>0</sup>С маңайында) немесе жоғарылаушы жылы (температура минус 147<sup>0</sup>С маңайында) қандай атмосфера ағындары әсерінен ұшырағандығына сәйкес ашық немесе қоңыр түстерде көрініс табады. Әдетте, ақ жолақтарды зона деп, ал қоңыр жолақтарды белдеулер деп атау енгізілген [19-20].

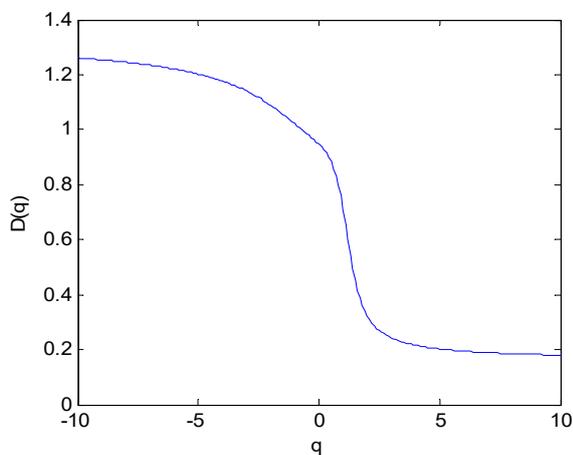
Юпитер атмосферасында зона мен белдеулер үлестіру құрылымын талдау үшін 10 минуттан кем емес экспозиция кезінде жасалынған суреттер пайдаланылды. Себебі, мұндай жағдайда зона мен белдеулер құрылымын айқын ажыратуға болады.

Юпитердің әрбір фотографиялық суреттері MatLab математикалық модельдеу

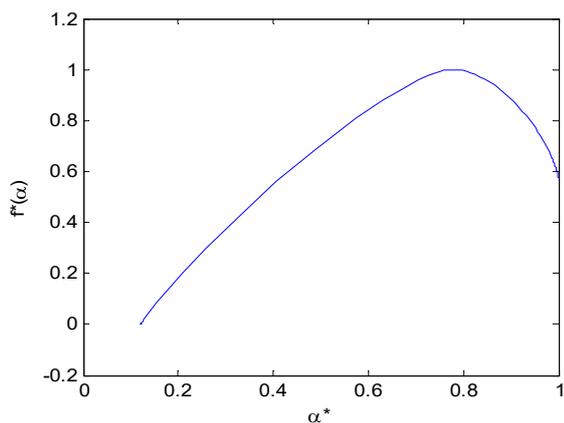
компьютерлік ортасында өңдеуге ыңғайлы болатын форматқа ауыстырылды. Себебі, барлық есептеулер осы ортада жүргізілді.

**Зерттеу нәтижелері**

Біз, барлығы 819 суретті зерттедік. Бұл суреттер 1997 ж. маусым айы мен 2015 жылдың желтоқсан айына дейінгі аралықтағы алынған суреттер. Юпитер атмосферасының зоналары мен белдеулері құрылымдарын талдау үшін әрбір сурет үшін мультифракталдық және метрикалық сипаттамалары есептелінді, мультифракталдық спектрлер (2-сурет, б) және энтропиялық диаграммалар тұрғызылды.



а) мультифракталдық өлшемділіктің біртекті еместік параметріне тәуелділігі;



б) мультифракталдық спектр

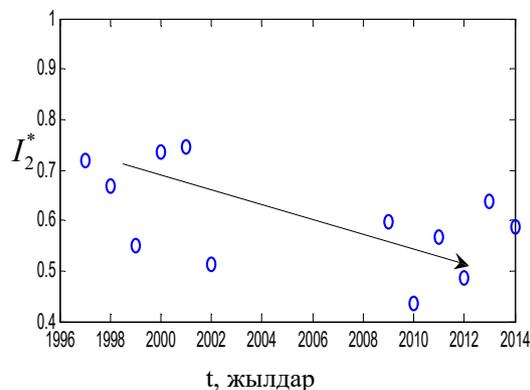
2-сурет – Юпитер атмосферасының суреттерін мультифракталдық талдау

Біз, берілген аумақта нүктенің үлестірілуін сипаттайтын  $D_q$  бейнесінің жалпыланған фракталдық өлшемділігі

анықталды.  $q$  біртекті еместік параметріне тәуелді етіп көрсетілген  $D_q$  функциясы (2-сурет, а) зерттеліп жатқан нүктелер жиынтығының қаншалықты біртекті емес екендігін көрсетеді.  $q \rightarrow +\infty$  кезінде негізгі үлесті  $n_i$  бөлшектердің ең үлкен санын құрайтын және сәйкесінше,  $p_i$  олардың толуының ең үлкен ықтималдылығын сипаттайтын ұяшықтар жүзеге асырады. Керісінше,  $q \rightarrow -\infty$  кезінде негізгі үлесті ең аз толтыру саны  $p_i$  мәніне тең ең сиретілген ұяшықтар құрайды.  $D_q$  функциясы  $q$  арқылы өзгертін болғандықтан қарастырып отырған нүктелер жиыны мультифракталды болып табылады. Сондықтан келесі сипаттама мультифракталдық спектр функциясы арқылы анықталды.

Кейбір уақыт периодтарында зоналар мен белдеулер өзінің орнын өзгертуі мүмкін. Бірақ, уақыт өте қайта қалпына келеді. Біз үшін зерттеуде қызығушылықты тудырған бір уақыт периодында суреттерді зерттеу. Біз, планетаның айналу периодын және жерге қатысты оның орныны ескере отырып әр жылдағы Юпитер суреттері таңдалынып алынды. Зерттеу нәтижесінде мультифракталды спектр бойынша келесіде орташаланған өзқсастық энтропия мәні есептелінді.

Мысалы, 1997 ж. маусым айының бірнеше күндері үшін энтропияның орташа мәні  $I_2^* = 0,719$ -ға, ал 12 жылдан соң дәл сол күндер үшін энтропия мәні  $I_2^* = 0,597$ -ге дейін азайды. Ұқсас картина 12 жылға жылжытылған басқа күндер үшін де бақыланды (3-сурет).

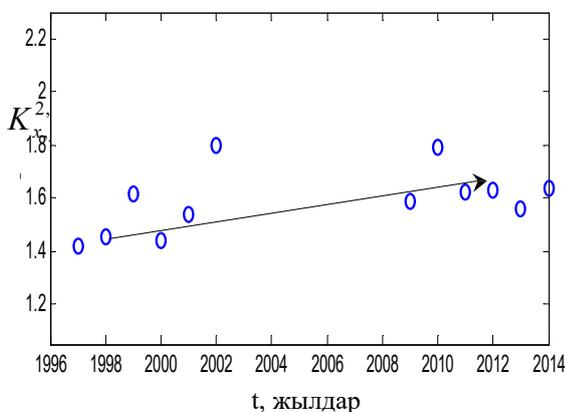


3-сурет – Юпитер атмосферасы суреттерінің өзқсас энтропиясы

Яғни, біз Юпитердің фотографиялық суреттері үшін мультифракталды спектр негізінде есептелген өзұқсас энтропия уақытөте азаятынын көріп тұрмыз. Мұндай азаюдың физикалық себептерінің бірі уақыт өте зона мен белдеу құрылымдарының уақыт өте өзгеруі болуы мүмкін. Мұндай құбылыс бақыланып қойылған, алайда әлі де бір мәнді түсіндірулер жоқ. Гипотезаның біреуі былай болжайды, уақыт өткен сайын ақ түсті бұлттар бейнесіне төменде орналасқан қоңыр түсті бұлттардың бүркеленуі, жасырынуы болады, келесі болжамда газдық ағындарда химиялық өзгерістер болады деп жорамалдайды.

Энтропия азаюының келесі бір себебі ретінде телескоп сипаттамаларының жақсаруы және 90-шы ж. аяғындағы техникамен салыстырып қарағанда оның құрамдасы болуы бола алады. Суреттер нақты бір аумақта және экспозицияда бір ғана бақылаушы көмегімен алынса да шамасы бойынша соңғы жылдардағы суреттерде әрбір бөлшек нақтырақ көрсетілген. Бұл бөлшектер зона мен белдеулер құрылымы жайында көп ақпарат береді.

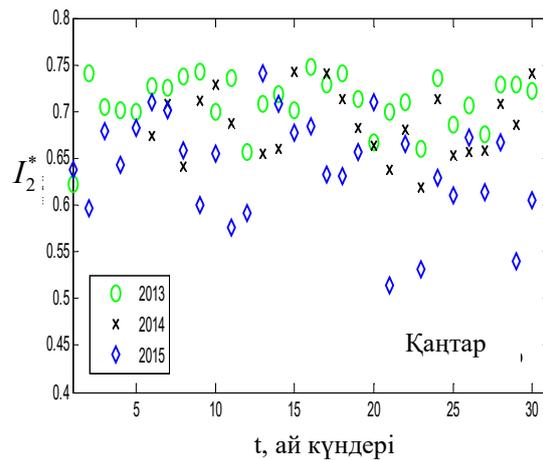
Сондай-ақ, біз түсті таратуды ұяшық бойынша үлестіру қисығы негізінде жалпыланған метрикалық сипаттама анықтадық (әрбір бейне бірдей өлшемді ұяшық аумағына бөлінді). Нәтижесінде келесі алдыңғы периодты алдық (90-шы жыл соңы).  $K_{x,y}^{2,2}$  1,42 маңында орта мәнді иеленеді, ал келесі периодта 1,66-ға дейін артады (4-сурет).



4-сурет – Юпитер атмосферасы суретіндегі түстік таратуды үлестіру қисығының жалпыланған метрикалық сипаттамасы

Бұл, ең дұрысы, Юпитер атмосферасының суреттерінде зона мен белдеу құрылымдарының айқын ерекшеленетініне байланысты.

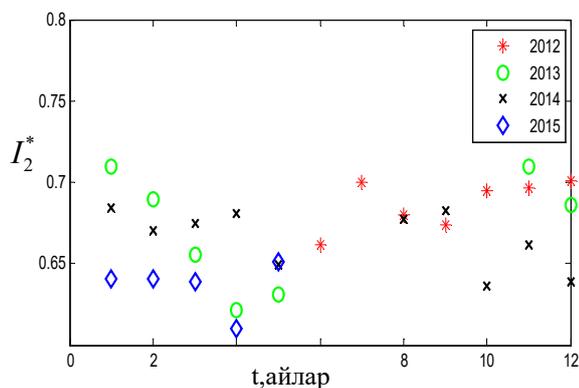
5-суретте 2013,2014,2015 жылдар «Қаңтар» айы ішіндегі өзұқсас энтропия өзгерісі көрсетілген. Біз келесідей картинаны бақыладық: 2013 жыл үшін энтропия мәні 2015 жыл ішіндегі энтропия мәніне қарағанда диаграммада жоғары орналасқан.



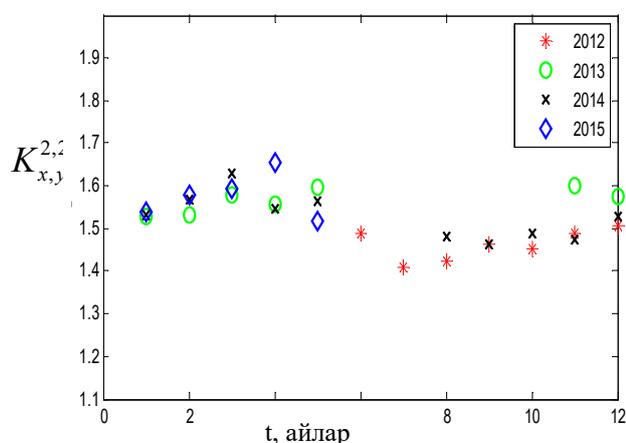
5-сурет – Әр жылдар үшін бір ай ішіндегі Юпитер атмосферасы суреттерінің өзұқсас энтропиясының өзгерісі

Бұл 2 жыл ішінде Юпитердің жерге қатысты өзінің орнын ауыстыруына байланысты. Суреттер планетаның бейнесінде ығысулар болғанын көрсетті. Яғни, Юпитер атмосферасының осыған дейінгі суретке түсірілген жағының тек бір бөлігі ғана көрініп тұрды. Юпитер атмосферасында ағыстар құрылымын қарастыру кезінде басқа айлар ішінде ұқсас картина көрдік. Мұндай нәтиженің сенімділігі үшін әрі қарай үлкен уақыт аралығы үшін толық талқылау жүргізу қажет.

6-7-суреттерде айлардағы әр түрлі жылдар үшін әр түрлі белгілеулері бар сипаттамалардың орташа мәндері есептелген. Екі диаграмма үшін сипаттама өзгерісінде қандай да бір тенденция байқалады: «Сәуір» айына жақын кейбір сынық пайда болады. Өзұқсас энтропия «Қаңтар» айынан бастап «Сәуір» айына дейін азаяды, ал содан кейін жыл соңына қарай ақырындап артады.



6-сурет – Әр жылдағы өзұқсас энтропияның өзгерісі



7-сурет – Әр жылдардағы жалпыланған метрикалық сипаттаманың өзгерісі

Екіөлшемді форма коэффициенті өзінің мәнін ең аз мән «Қаңтар» айынан бастап арту жағына өзгертеді. Содан соң «Сәуір» айынан бастап ақырындап кемиді. Мұнан былай ол қайта артады. Алайда, сенімді түрде нәтижені негіздеу үшін диаграммада осы және басқа да себептерден осы период арасында суреттер өңделмейтіндігін көрсететін мән болмайды.

### Қорытынды

Зерттеудің негізгі мақсаты Юпитердің атмосфералық ағыстары құрылымдарын сандық сипаттау болып табылды. Зерттеу нәтижесінде мультифракталдық спектр арқылы есептелген Юпитер атмосферасы суреттерінің өзұқсас энтропиясының кемитіндігі және 12 жыл аралығындағы мәліметтерді талдау кезінде 1997 ж.-дан 2015 жылға дейінгі екі өлшемді форма

коэффициентінің артатындығы анықталды. Сонымен қоса, энтропияның айлық орта мәндерін және әр жылдағы екіөлшемді форма коэффициентін есептеу кезінде сипаттама өзгерісінің тенденциялары өзгеретін уақыт периоды анықталды. Осылайша, мынадай нәтиже шығаруға болады: жұмыста көрсетілген фотографиялық суреттер арқылы Юпитер атмосферасының құрылымын зерттеу әдісі оның сандық сипаттамасын жүргізуге және оның атмосферасында құрылым өзгерісіндегі заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді.

### Қолданылған әдебиеттер тізімі

- Hockey, T. The search for historical impact sites on Jupiter. Planet. Space Sci., 1996. – 44. – P. 559-564.
- Vidmachenko A. P. Seasonal changes on Jupiter. 1. The factor activity of hemispheres //Kinematics and Physics of Celestial Bodies.— 2016.—32, N 4.—P. 48—58.
- Wolff, C. L., Patrone, P. N.: A new way that planets can affect the Sun. SolarPhysics 266, 227-246, 2010.
- Tattersall, R.: The Hum: Lognormal distribution of Planetary-Solar resonance. PatternRecogn. Phys., 1, 185-198, 2013.
- Tan, B., Cheng, Z.: The mid-term and long-term solar quasi-periodic cycles and the possible relationship with planetary motions. Astrophys Space Sci. 343(2), 511-521, 2013.
- Федер Ф. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
- Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физматлит, 2001. – 296 с.
- Жанабаев З.Ж., Тарасов С.Б., Турмухамбетов А.Ж. Фракталы. Информация. Турбулентность // РИО ВАК РК, 2000. – С. 226.
- Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
- Павлов А. Н., Анищенко В. С. Мультифрактальный анализ сложных сигналов // УФН. – 2007. - Vol. 177:8. - PP. 859–876.
- Klimontovich Yu.L. Statistical Theory of Open Systems // Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 1995. - Vol. 1.
- Zhanabaev Z.Zh. The informational properties of self-organizing systems // Rep.

Nat. Acad. of Science RK. – 1996. – № 5. – P. 14-19.

13 Жанабаев З.Ж. Самоподобие и самоаффинность хаотических систем. Приложение теории. // Матер. 6-й Межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». Астана, 2008. - С. 8-14.

14 Жанабаев З.Ж., Наурзбаева А.Ж., Алимгазинова Н.Ш., Бейсебаева А.С., Жетписбаев К.У. Энтропийный и мультифрактальный анализ космических и геофизических возмущений // Мат. 6-й межд. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент». - Астана, - 2008. - С. 141-145.

15 Жанабаев З.Ж. Обобщенная метрическая характеристика динамического хаоса // 8-ая международная школа «Хаотические автоколебания и образование структур». – Саратов, 2007. - С. 67-68.

16 <http://www.jpl.nasa.gov/solar-system/>

17 <http://www.jpl.nasa.gov/missions/voyager-2/>

18 <http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/indexE.htm>

19 Ксанфомалити Л.В. Парад планет.- М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1997. -256 с.

20 [http://kosmosx.net.ru/photo/sputniki\\_jupitera/35](http://kosmosx.net.ru/photo/sputniki_jupitera/35)

05.04.2018 басылымға қабылданды

**Н.Ш. Алимгазинова, А.Ж. Наурзбаева, А.Б. Манапбаева, Н.Т. Изтлеуов, С.Б. Икрамова**  
*Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан*

## ЮПИТЕР АТМОСФЕРАСЫ ҚҰРЫЛЫМЫН МУЛЬТИФРАКТАЛДЫ ТАЛДАУ

**Аннотация.** Берілген зерттеу Юпитер атмосферасының фотографиялық суреттерін талдауда жаңа бағытты көрсетеді. Жұмыста алғашқы рет Юпитердің атмосфералық ағыны құрылымын сипаттау үшін мультифракталды талдау-динамикалық хаос теориясы әдісі қолданылды.

Зерттеу объектісі ретінде Кристофер Го астрономы түсірген Юпитер атмосферасының суреттері қолданылды. 1997 жылғы маусым айынан 2015 жылғы желтоқсан айына дейінгі периодтағы 819 суреттер зерттелінді. Юпитер атмосферасы зоналары мен белдіктері құрылымын талдау мақсатында әрбір сурет үшін мультифракталдық және метрикалық сипаттамалар есептелініп, мультифракталдық спектрлер мен энтропиялық диаграммалар құрылды.

Зерттеу нәтижесінде мультифракталдық спектр арқылы есептелген Юпитер атмосферасы суретінің өзұқсас энтропиясы азаятыны және 12 жылға ығысқан мәліметтерді талдау кезінде 1997 жылдан 2015 жылға дейінгі аралықта екі өлшемді форма коэффициентінің артуы анықталды. Сонымен қоса, әр жылдар үшін өзұқсас энтропияның және екі өлшемді форма коэффициентінің орта айлық мәндерін зерттеу кезінде сипаттама өзгерісінің тенденциясы өзгеретін уақыт периодтары анықталды.

Ұсынылған жұмыстағы зерттеу әдісі Юпитер атмосферасы құрылымы өзгерісіндегі заңдылықтарды анықтауға және сандық сипаттаманы жүргізуге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** динамикалық хаос, мультифракталдық талдау, энтропия, фракталдар.

**Н.Ш. Алимгазинова, А.Ж. Наурзбаева, Н.Т. Изтлеуов, А.Б. Манапбаева, С.Б.Икрамова**  
*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*  
E-mail: [Nazgul.Alimgazinova@kaznu.kz](mailto:Nazgul.Alimgazinova@kaznu.kz)

## МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРЫ ЮПИТЕРА

**Аннотация.** Данное исследование представляет собой новое направление в анализе фотографических снимков атмосферы Юпитера. В работе впервые был применен метод теории динамического хаоса - мультифрактальный анализ для описания структуры атмосферных течений Юпитера.

В качестве объектов исследования были использованы снимки атмосферы Юпитера, сделанные астрономом Кристофером Го. Было исследовано 819 снимков за период с июня 1997 года по декабрь 2015 года. С целью анализа структур поясов и зон атмосферы Юпитера по каждому снимку были рассчитаны мультифрактальные и метрические характеристики, построены мультифрактальные спектры и энтропийные диаграммы.

В результате исследования было выявлено уменьшение энтропии самоподобия снимков атмосферы Юпитера, вычисленной через мультифрактальный спектр, и увеличение двумерного коэффициента формы за период с 1997 по 2015 годы при анализе данных со смещением в 12 лет. Также при исследовании среднемесячных значений энтропии самоподобия и двумерного коэффициента формы в различные годы, были обнаружены периоды времени, при которых тенденция изменения характеристик меняется.

Представленный в работе метод исследования позволяет произвести количественное описание и выявить закономерности в изменениях структур атмосферы Юпитера.

**Ключевые слова:** динамический хаос, мультифрактальный анализ, энтропия, фракталы.

**N.Zh. Alimgazina, A.Zh. Naurzbaeva, N.T. Iztleuov, A.B. Manapbaeva,  
S.B. Ikramova**

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

E-mail: [Nazgul.Alimgazina@kaznu.kz](mailto:Nazgul.Alimgazina@kaznu.kz)

## **MULTIFRACTAL ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC STRUCTURE OF JUPITER**

**Abstract.** This study represents a new direction in the analysis of photographic images of the atmosphere of Jupiter. The method of the theory of dynamic chaos-multifractal analysis for the description of the structure of the atmospheric currents of Jupiter was first used in the work.

The objects of the study were images of the atmosphere of Jupiter made by the astronomer Christopher Guo. A total of 819 photographs were taken for the period from June 1997 to December 2015. To analyze the structures of the belts and zones of the Jupiter atmosphere, multifractal and metric characteristics were calculated for each image, multifractal spectra and entropy diagrams were constructed.

As a result of the study, a decrease in the entropy of the self-similarity of the images of the Jovian atmosphere calculated through the multifractal spectrum was revealed, and an increase in the two-dimensional shape coefficient over the period from 1997 to 2015 when data were analyzed with a bias of 12 years. Also, when examining the average monthly entropy values of self-similarity and the two-dimensional shape coefficient in different years, periods of time were found in which the trend of the characteristics changes.

The method of investigation presented in this work makes it possible to make a quantitative description and to reveal regularities in the changes in the structures of the atmosphere of Jupiter.

**Keywords:** dynamic chaos, multifractal analysis, entropy, fractals.

МАЛЬЦЕВ А.Д.

Кемерово, 650024, Россия

E-mail: [mltsv126@mail.ru](mailto:mltsv126@mail.ru)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕРИИ И ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос возникновения парадоксальных взглядов в космологии, допускающих нарушение законов сохранения. Сделан вывод что одной из причин этой ситуации стало отсутствие объединяющего фактора в физике. За объединяющие факторы принято время и физическое пространство. Подробнее рассмотрена сущность времени. В природе множество законов сохранения и только одна общая переменная - движение времени. Если время абстрактно, то оно никак не может влиять на реальные явления Природы: массу, объем и энергию. И наоборот: Масса не может влиять на абстрактное Время и его темп и т.д. На основании перечисленного делается вывод, что Время — это реально существующее явление Природы. Рассмотрев, логически и математически, эту возможность, получено теоретическое объяснение регистрации изменяющегося «красного смещения», не требующего наличия в природе «темных» субстанций. Рассмотрена связь непрерывности и бесконечности. Объяснено возникновение логарифмической зависимости процессов в природе.

**Ключевые слова:** Парадоксы, физический вакуум, время, физическое пространство, «красное смещение», бесконечность и непрерывность, взаимная связь материи и физического вакуума.

### Введение

Развитие физики привело к разделению ее на независимые дисциплины. Это приводит к возникновению новых направлений исследований и даже разделов физики. Для их развития требуется расширение рамок уже существующих разделов физики. Поскольку рамки различных разделов физики определяются ограниченностью соответствующих им физических законов, для их расширения приходится выдвигать теории и гипотезы. [1-3], что способствовало не только решению проблем, но и возникновению противоречий. Единство реальной Природы требует обеспечить связь этих дисциплин. Для устранения необходимо найти объединяющий фактор..

Что объединяет все процессы во Вселенной? В квантовой механике ответ пытаются дать теория струн [4]. Классическая механика не дает ответ на этот вопрос. Но два косвенных ответа существуют. Первый ответ заключается в существовании неизвестных компонент, которые все и объединяют. К аналогу этого ответа пришли космологи, отдав 95% Природы, «темным» ее проявления. Второй ответ известен всем. Мы не видим и не чувствуем обыденное. Естественная при-

вычка дышать и... наличие воздуха определяем по сопротивлению при вдохе, появлению в нем запахов или при отсутствии воздуха. Что в физической Природе обыденно и известно всем? Здесь два ответа: физическое Пространство и Время.

Что объединяет и что препятствует объединить? Объединяет подобие и взаимодействие противоположностей. Препятствует объединению наличие внутренних противоречий и различия. Для объединения независимых систем должно соблюдаться «единства независимых систем», т.е. дуальность.

Для соблюдения «единства независимых систем», независимые системы должны объединиться или быть нормалью друг к другу. Объединяются противоположности. Противоположности квалифицируются, как дуальности. Следовательно, существует два варианта описания дуальности. Определимся с терминами. Варианту, описывающему взаимодействие противоположностей оставим название дуальность. Вариант взаимодействия независимых систем по нормали, обозначим термином *комплексность* (от комплексных чисел).

В прямоугольной системе координат, дуальности соответствует линия:  $(x+y)=const$ .

Комплексное число  $i$  соответствует повороту на 90 градусов. Два поворота на 90 градусов создают знак (-) у процесса. Трансформация знака (+) в знак (-) создает единство дуальной пары. Следовательно, для единства противоположностей, должна быть возможность трансформации каждой части дуальной пары в комплексное состояние. Комплексность из линии создает площадь и математически имеет вид  $(-x)(y)=(-y)(x)=const$  или  $xy=(-x)(-y)=const$ , т.е. алгебраическое равенство, в разных квадрантах прямоугольной системы координат. Комплексность создает отрицательную обратную связь, при изменении компонентов. Комплексность, как площадь, создает свободу движения причинно-следственных связей, создавая условия для возникновения парадоксов.

Из алгебраического уравнения комплексности следует, что для возникновения парадокса необходимо игнорировать какую-то реальность, т.е. знак или компонент. Современная наука признает все реальности Природы. Следовательно, игнорируют реальность условно. Условно признавать, это знать, что «Это» есть, и считать «Это» иллюзией. Из существующих реальностей Природы так относятся к пониманию времени. Помимо реляционно-статической концепции времени в теории относительности, исследуются свойства физического, биологического, химического, психологического, геологического, социального, исторического, культурного и других форм времени. Сохраняется интерес к субстанциональным концепциям [5].

Время, как промежуток между событиями, признается всеми. Время, как физическая реальность (аналогичная массе, объему и энергии), почти не воспринимается. Слово «почти» возникло из-за признания реальностью изменения темпа движения времени. «Ничто» не может двигаться и изменять темп движения. Для возникновения движения нужна сила или ее аналог. Сила или ее аналог возникает при разности потенциалов или создается внешним воздействием. При изменении темпа времени, существование

внешнего воздействия не зарегистрировано. Следовательно, время движется из-за наличия разницы потенциалов между прошлым и будущим. Что бы различия в потенциалах существовали, прошлое и будущее должны существовать реально. Вопрос реальности Прошлого и Будущего можно решить, поняв момент «сейчас» - время в котором существует наш мир. Для этого необходимо объединить материальное и время. Единство материи и времени достигается в уравнениях, описывающих энергию движущихся тел - при движении тел происходит изменение темпа времени.

Проведем ряд математических действий. В инерциальной системе отсчета, замедление темпа времени рассматривается относительно одной оси координат. Для движущегося тела, соблюдаются следующие равенства:  $l=l_0(1-\frac{v^2}{c^2})^{1/2}$ ,  $t=t_0(1-\frac{v^2}{c^2})^{1/2}$ ,

$l$  – линейный размер тела при скорости  $v$ , по вектору движения.

$t$  – темп времени тела при скорости  $v$ .

$l_0$  – линейный размер тела в покое.

$t_0$  – темп времени тела в покое.

Разделим, правые и левые части уравнений друг на друга.  $\frac{l_0}{t_0} = \frac{l}{t} = k$  или

$l=kt$ ,  $k$  - коэффициент пропорциональности, описывающий взаимную зависимость линейного размера и темпа времени тела, не зависящий от скорости и систем отсчета.

Используя независимость коэффициента  $k$  от скорости и систем отсчета, рассмотрим прямолинейное движение шара.

При  $l=kt$ , энергия движущегося тела описывается уравнением

$$E = \frac{l_0 M_0 C^2}{l} = \frac{3V_0 M_0 C^2}{4\pi l^2_0} = \frac{3V_0 M_0 C^2}{4k^3 \pi t^2_0}$$

где  $V_0 = 4\pi l_0^3/3$  - объем тела в состоянии покоя

$M_0$  - масса тела в состоянии покоя.

$E$  – кинетическая энергия тела.

В покое уравнение примет следующий вид.

$$M_0 C^2 = E_0 = \frac{3V_0 M_0 C^2}{4k^3 \pi^3_0} = \frac{V_0 M_0 C^2}{k^3 T_0}$$

в уравнении появилось значение времени, как объемной величины. Чтобы убрать длительные рассуждения (темп подразумевает волновую функцию), обратимся к логике.

Чтобы объемный мир мог двигаться во времени, время должно быть объемным. В этом случае «темп времени» показывает «размер» момента «сейчас». Момент «сейчас» является корпускулой и позволяет заменить словосочетание «темп времени» на «время».

$T_0 = 4\pi_0^3/3$  – объемное время тела.

Для упрощения описания анализа уравнения выведем из него постоянные величины: коэффициент  $k$  и скорость света. Выведение из формулы коэффициента  $k$  нарушает размерность частей уравнения. Но ниже в размерностях нет необходимости.

Уравнение примет следующий вид:

$$E_0 = \frac{M_0 V_0}{T_0} \quad \text{или} \quad E_0 T_0 = M_0 V_0$$

В движении, когда все характеристики материального тела претерпевают изменения, уравнение примет вид:

$$E = \frac{MV}{T} \quad \text{или} \quad ET = MV \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что масса, объем, и время тела, являются составными частями энергии тела, при неразрывной связи материи и времени.

В реальности, материя всегда обладает массой и объёмом, следовательно, произведение  $MV$  математически описывает материю. При описании материи формулой  $MV$  показатель  $V$  указывает на форму материи и конкретный размер этой формы. Одновременно в природе существует физическое пространство, в котором присутствует материя и осуществляются природные процессы. Физическое пространство, не имея конкретной формы и размера, обладает всеми свойствами объёма. Если в природе существует самостоятельно объём без формы (пространство), то должна существовать самостоятельно и другая часть формулы описывающей материю, а именно масса  $M$ . На первый взгляд такой составляющей в природе нет. Но в природе существуют «чёрные дыры». «Чёрные дыры» стремятся сжаться в точку при сохранении количества массы. Следовательно, «чёрные дыры» можно назвать материей, не имеющей объёма или массой.

Если материя, масса, форма материи, время и энергия существуют в природе то, что такое  $TE$ ? Если  $TE$  существует реально, то мы должны встречаться с ним. Первый ответ заключается в том, что  $TE$  существует

только в материи и неразрывно связано с материей. Другими словами, свойства материи есть свойство единой системы  $ET = MV$ .

Но если материя представляет собой единую систему, состоящую из двух компонентов, то эта двойная система должна распадаться на составные части. Вопрос "Что такое  $TE$ ?" возникает снова.

Для ответа на этот вопрос рассмотрим дуальную пару "черное – белое". В природе эта пара существует в следующих видах. Чёрный цвет имеют тела, поглощающие все падающие на него фотоны и физический вакуум, пропускающий любое излучение. Белый цвет может быть следствием излучения или отражения. Представим варианты чёрного и белого цвета схемой (рисунок 1).

ЧЕРНОЕ все поглощает	БЕЛОЕ излучает
БЕЛОЕ отражает	ЧЕРНОЕ прозрачно

Рисунок 1 – Схема дуальной пары "черное – белое"

По диагонали получены пары "белое – белое" и "чёрное – чёрное", которые не являются копией друг друга и в то же время не являются дуальными.

Взяв за основу прямоугольную систему координат, материю представим, как произведение двух векторов, расположенных по нормали друг к другу. Данное произведение создаёт квадрант. Аналогично можно представить и произведение  $ET$ . Кинетическая энергия материи описывается уравнением, указывающим на единство в материи всех 4-х составляющих. Единство возможно, если квадранты имеют общую точку. Соединив квадранты, получим схему (рисунок 2).

Уравнение  $ET = MV$  описывает комплексность объединенной системы. Основываясь на комплексности материи и  $TE$ , определим свойства  $TE$  исходя из свойств материи.

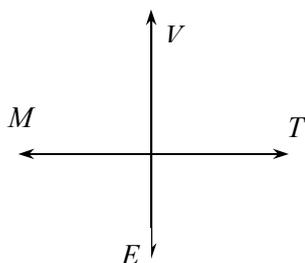


Рисунок 2 – Схема  $ET=MV$

При достаточно большом слое, материя поглощает фотоны. Что при большом слое остаётся прозрачным для электромагнитного излучения? Материя имеет конкретную форму, следовательно,  $TE$  не имеет конкретной формы. Из известных в природе явлений, перечисленными качествами обладает физический вакуум. Физическим вакуумом принято считать физическое Пространство - Пустоту, обладающую свойством быть «средой» для процессов в Природе. Пустота необходима для движения тел и фотонов. «Среда» нужна для существования полей и движения волн. Физический вакуум, имея свойства парадокса, должен состоять из двух компонентов. Разделим по свойствам «среду» и Пустоту. Пустота не может быть средой. Следовательно, физическому вакууму, свойства «среды» придает наличие в нем компонента  $TE$ . Дадим  $TE$  название «Эфир».

Какие свойства у компонентов Эфира? Компонент  $E$  (абсолютная энергия) возникает, когда отсутствует темп времени. Темп времени отсутствует при остановке движения времени. Остановка движения времени происходит при движении со скоростью света [6]. Со скоростью света движутся фотоны в физическом вакууме. Следовательно, абсолютными энергетическими частицами являются фотоны. Компонент  $T$  возникает, когда Эфир не имеет энергии. Нет энергии у Пустоты, т.е. физического вакуума без Эфира. Для материальных частиц, энергия отсутствует при абсолютном минимуме температуры. Для кинетической энергии, отсутствие энергии, возникает в состоянии покоя. Следовательно, компонент  $T$ , един с абсолютным минимумом температуры, состоянием покоя и пространством. Как Время связано с Пространством?

Схема (рисунок 2) указывает на возможность существования образований типа  $TV$  и  $ME$ , но в природе их нет. Следовательно, представленная схема искажает истинное положение вещей. Для уточнения схемы вернёмся к тому, что материя ( $MV$ ) и физический вакуум ( $TE$ ) представляют собой самостоятельные квадранты. Квадрант по своей сути плоскость. Если бы материя и физический вакуум были дуальны друг другу, то квадранты были бы параллельны и имели переходные состояния. Дуальность нарушена отсутствием знака (-) у одной из частей дуальной пары. Для существования комплексности остаётся вариант расположения плоскостей по нормали друг к другу. Две плоскости по нормали друг к другу позволяют создать трёхмерный мир.

Схема приобретает следующий вид (рисунок 3).

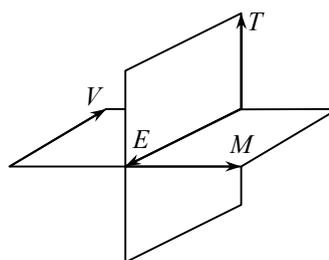


Рисунок 3 – Комплексность схемы

Рассмотрим плоскость  $MV$  на рисунке 3. Плоскость материи имеет общую прямую пересечения с плоскостью физического вакуума в виде кинетической энергии. Следовательно, материя способна изменять свою энергию и совместно с энергией двигаться во времени. На плоскости, описывающей материю, кинетическая энергия может быть представлена вектором или точкой. В виде вектора, кинетическая энергия показывает направление движения. Кинетическая энергия в виде точки характеризует температуру системы.

Следующий вывод из рисункат 3 заключается в том, что в пространстве, время является физической точкой. Время в пространстве, в виде физической точки, является моментом "сейчас" и одинаково во всём пространстве. Для материи время является "стрелой времени". "Стрела времени" задаёт

направление движения времени от "сейчас" к будущему. Во времени, пространство является физической точкой. Практически, основные компоненты природы объединены конкретными диапазонами. Ноль/точка в природе имеет объём, площадь (рисунок 4), что создает «Взаимное присутствие» [7].

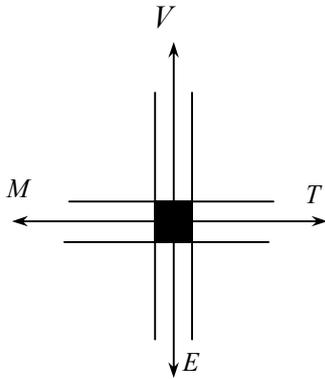


Рисунок 4 – Стрела времени и создает «Взаимное присутствие»

Наличие объемной срединной точки/сферы, между базовыми явлениями природы, позволяет происходить преобразованиям между этими явлениями в природе и косвенно указывает на то, что все природные явления когда-то могли быть в очень сжатом виде. Коридор/сфера, между базовыми явлениями природы, позволяет создавать непрерывность: формы; движения в пространстве; существования во времени.

Почему можно вернуться в ту же точку пространства и нельзя вернуться в ту же точку времени? Ответ даёт *комплексность* свойств времени и физического пространства. Физическое пространство имеет объём и не имеет конкретной формы. Время "взаимно присутствует" в физическом пространстве и, следовательно, так же не имеет конкретной формы. Какое различие может быть между двумя объёмами без формы? Только в виде пары "покой – движение". Физическое пространство — это место, позволяющее присутствовать и перемещаться всему, что в нём находится. Время движется само и позволяет находиться в нем только в момент "сейчас".

Передвижение, внутри движущейся системы, позволяет ускорять и замедлять скорость своего перемещения, относительно системы отсчёта. Почему в природе не обна-

ружен эффект ускорения времени? Способ движения времени отличается от линейного и вращательного движения. Время движется в физическом пространстве, расширяясь или сжимаясь, т.е. время объемно [8-10]. При таком движении всегда сохраняется соотношение пропорций в шаре, при изменении его размеров. Любая точка внутри шара может быть точкой отсчёта стандартного времени. Материальное тело, двигаясь в любом направлении, всегда создаст результирующий темп времени из своего темпа времени и движения времени от расширения или сжатия шара времени. Если шар времени сжимается, то результирующая величина будет показывать ускорение хода времени. Если шар времени расширяется, то результирующая всегда и во всех направлениях будет показывать замедление времени. Но время «растворено» в пространстве, следовательно, речь идёт не о сжатии/расширении времени, а об увеличении/снижении концентрации времени во Вселенной. В природе известен только эффект замедления темпа времени, следовательно, концентрация времени во Вселенной снижается. Процесс снижения концентрации времени возможен двумя способами. Преобразованием времени во "что-то" (превращением будущего в прошлое), или увеличением/расширением физического Пространства. В реальности существуют все компоненты, пропорции разные.

Рассмотрим графическое взаимодействие компонентов уравнения (1). Вектора могут образовывать сумму, которая является результирующим вектором  $R$  и произведение, в виде площади поверхности. Все взаимодействия можно описать на плоскости (рисунок 5).

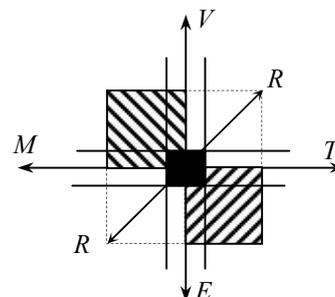


Рисунок 5 - Взаимодействия

На рисунке 5 материя ( $MV$ ) и физический вакуум ( $TE$ ) описываются как площади (произведение векторов). Пары ( $T, V$ ), ( $M, E$ ) являются суммой векторов, указывающей взаимное соотношение компонентов.

Пример: Масса и кинетическая энергия взаимно присутствуют друг в друге, но не образуют взаимозависимую единую систему. Это позволяет менять взаимное соотношение компонентов в паре "кинетическая энергия – масса". Время «сейчас» и физическое Пространство, взаимно присутствуют друг в друге. Это позволяет физическому пространству искривляться (изменять форму) и/или изменять темп движения времени.

### Выводы

1. Для описания реального мира возникли такие понятия, как масса, энергия, пространство и время. Независимые явления в природе можно отобразить комплексными парами, располагающимися по отношению друг к другу по нормали. Такое расположение комплексных пар создаёт условия для образования 3-х мерного мира.

2. Наличие в природе явлений дуальности и комплексности позволяет существовать всему спектру явлений в природе:

- Явление дуальности, в виде пары "чёрное – белое", позволяет человеку видеть все оттенки цвета от чёрного до белого.

- Явление комплексности в виде уравнения  $C = \lambda \nu$  позволяет существовать всей волновой гамме природы.  $C$  – скорость движения волны.  $\lambda, \nu$  – длина волны и частота излучения.

### Математический анализ модели.

1. Для уравнения (1), внешнее воздействие или внутренние причины создают динамику. В динамической природе правые и левая часть уравнения взаимодействуют, создавая изменения (дефект) в величине Явлений Природы.

Возникновение дефекта у любого Явления Природы создает реакцию противодействия в других Явлениях Природы. Реакция направлена на уменьшение первичного дефекта и сохранение стабильности остальных частей единой системы. Стабильность одной переменной создает стабильность второй переменной. Стабильность массы созда-

ет стабильность объема. Стабильность материи создает стабильность Эфира и наоборот. Для сохранения стабильности 3-х Явлений Природы, при возникновении изменений в одном Явлении Природы, в нем возникают два дефекта разных знаков – так возникает явление физической дуальности.

Сумма дуальных дефектов равна нулю. Дефект не может превысить величину Явления Природы. Это требование ограничивает эффект, создаваемый дефектами Явлений Природы.

2. Изменение энергии материальной системы при дефекте темпа времени в системе.

$$-dE_t = \frac{M_0 V_0}{T_0} \times \frac{(T_0 \pm dT)}{T_0} \quad (2)$$

$dE_t$  – изменение энергии материальной системы при дефекте времени «сейчас» в системе.

$dT$  – дефект времени «сейчас» в системе  
 $1/T_0$  – продолжительность природного периода времени «сейчас».

Формула  $M_0 V_0 / T_0$  описывает нахождение материи в периоде времени стандартного размера.

Формула  $dT/dT_0$  описывает изменение темпа времени во времени.

Темп времени изменяют, придав материи скорость/кинетическую энергию или рост кинетической энергии замедляет темп времени. При обратном процессе, происходит ускорение темпа времени и отдача кинетической энергии материальным телом в виде электромагнитной (тепло, свет) энергии. Следовательно, ускорение темпа времени создает процесс выделения материей электромагнитного излучения. Движение времени во времени (момента «сейчас» из будущего в прошлое), является аналогом ускорения темпа времени. Если изменение темпа времени в материи происходит при получении кинетической энергии или сопровождается выделением электромагнитной энергии, то природный ход времени создает в материи аналогичный процесс. В этом случае, массивные материальные тела излучают электромагнитную энергию, а менее массивные имеют внутри себя нагретое или расплавленное ядро. У Земли ядро расплавлено, Сатурн и Юпитер излучают в пространство энергии больше, чем получают от Солнца

[11]. Солнце и звезды излучают электромагнитную энергию. Какая часть энергии, излучаемая звездой, принадлежит энергии от движения звезды во времени?

Из уравнения (2) следует, что количество энергии, излучаемой материей, при движении во времени, равно произведению массы материи на объем элементарных частиц материи. Объем элементарных частиц материи, пропорционален ее массе. Следовательно, выделение энергии звездами, при движении материи во времени, пропорционально квадрату массы звезды или удельное выделение энергии звездами пропорционально массе звезд. Влияние химического состава, на интенсивность излучения, будет рассмотрено при продолжении.

Уравнение (1) описывает материю без физической дуальности. В этом случае элементарной частицей материи должна быть частица, не имеющая электрических и магнитных свойств. Этим условиям удовлетворяет нейтрон. Увеличение плотности нейтронов, с глубиной в звезде, незначительно. Это создает практически равномерное выделение энергии, материей звезд. Равномерность выделения энергии не способна создать большой градиент температуры, между поверхностью и центром звезды.

Регистрируемый эффект «красного» смещения фотонов считается признаком расширения Вселенной. Однако! Из преобразований Лоренца, подобный эффект, возникает при движении времени. Следовательно, для возникновения "красного смещения" есть две возможности. В уравнении (2) показано, что размер момента «сейчас» (темп) непрерывно изменяется и зависит от его размера в предыдущий момент. В возникшем фотоне, фиксируется «размер» момента «сейчас». Уменьшение размера момента «сейчас» в будущем, создает условия, когда фотон, возникший в прошлом, имеет «красное» смещение спектра, относительно фотона возникшего "сейчас". Из этого следует, что регистрируемая скорость расширения Вселенной, является завышенной.

Зарегистрированный эффект увеличения величины «красного» смещения, от расстояния (и времени прихода сигнала), объясняется ускорением расширения Вселенной [12]. При движении времени, темп времени в

будущем, относительно момента «сейчас», описывается уравнением

$$T_f = T_0 (F - xt) / (P + xt),$$

где  $F$  – будущее,  $P$  – прошлое,  $t$  – длительность события.

Данное уравнение показывает, что регистрируемое «красное» смещение, от движения момента «сейчас» из Будущего в Прошлое, должно расти не только с ускорением, но и с *ускорением ускорения (!)*. Рост «красного» смещения с ускорением уже зафиксирован. Осталось зафиксировать ускорение ускорения «красного» смещения спектра. Следовательно, учет эффекта изменения частоты излучения, от естественного хода времени, снижает необходимость наличия в природе «темных» материи и энергии.

### О Пустоте.

Возникновение Пустоты происходит при обнулении суммы компонентов.

На линии, пустотой становится сумма дуальных компонентов. Инвариантность суммы создает взаимную зависимость в виде положительной обратной связи (ПОС).

Дуальность, не единственный вариант описания Пустоты. Единство точки и бесконечности, математически можно описать, как отрицательную обратную связь - ООС. Наличие ООС придает Пустоте стабильность и создает ограничение размеров бесконечности и точки.

Для стабильности Пустоты должен существовать непрерывный компонент. Непрерывность создается движением. Но в Пустоте нет движения. Нечему двигаться в Пустоте. Следовательно, Пустота является нестабильным компонентом. Имеем. Пустота нестабильна, обладает свойствами дуальности и комплексности. Чем является Пустота? Из перечисленных свойств Пустоты, следует, что Пустота является моментом и местом трансформации. Трансформация создает непрерывное движение, которое придает Пустоте определенную стабильность. В этом случае, Пустота и Трансформация, взаимозависимые явления или скорость трансформации задает размер места трансформации. Получается, что Пустота имеет конкретные временные и пространственные размеры. Чем заданы размеры Пустоты? Размеры регламентируются существующими константа-

ми. Вывод. Взаимная компенсация в паре «покой-движение», указывает, что ограниченность скорости света, ограничивает размер бесконечности.

### **Непрерывность и законы сохранения.**

Будучи посредником для трансформации, пустота, из пассивной сцены, становится активным участником процессов - пространством. А как с бесконечностью физического Пространства? На плоскости, свойством бесконечности обладает замкнутая кривая линия, в идеале, круг. Линия — это непрерывность точки. Следовательно, непрерывность точки, создает бесконечность линии. Непрерывность линии создает сферу — аналог бесконечности плоскости. Непрерывность сферы создает шар — аналог бесконечности объема. Непрерывность объема, создает последующую бесконечность. Что является последующей бесконечностью? Для ответа сделаем шаг назад. Точка приобретает свойство бесконечности, при непрерывности пустоты. Здесь описан предел материального мира. Посмотрим, что за ним? Для бесконечности пустоты необходимо иметь непрерывность следующей отметки. Вариантов развития два. Первый это реализация дуальности, в виде существования антимира. Частицы антимира известны, а сам антимир не обнаружен. Поэтому вариант оставим под вопросом, сославшись на философию Инь и Ян — в нашем мире есть черная точка, но черного мира у нас нет. Второй вариант описывается комплексностью. Комплексность создает обратную зависимость компонентов между собой. Взаимная зависимость создает непрерывность и заданные пределы в процессах. Естественно, следующая отметка основана на обоих свойствах. Далее происходят процессы с Явлением Природы, дуально-комплексным пространству. Дуально-комплексно пространству, явление «непрерывная не пустота», т.е. Явление объемно и движется в физическом пространстве. Данной характеристике отвечает Время. Для бесконечности объемного Времени надо иметь непрерывность плоского Времени, далее непрерывность «стрелы» Времени и «точки» Времени. Точка Времени — это момент «сейчас» - период времени, в котором

существует Вселенная. Для бесконечности момента «сейчас» необходимо иметь непрерывность пустоты и далее отметку дуально-комплексную Времени. Дуально-комплексно Времени физическое Пространство. Возник круг взаимной трансформации физического пространства в время. Образно круг можно представить, как два последовательно контактируемых раструба. В плоском виде круг описывается как единство Инь и Ян. Наблюдается контакт точки одного Явления Природы, с бесконечным объемом другого Явления Природы. Для нашей Вселенной это означает, что физическое Пространство бесконечно в моменте «сейчас». Для бесконечного Времени, Вселенная будет корпускулой скромных размеров. Наша Вселенная имеет большие размеры. Похоже, что срок ее существования приближается к моменту трансформации.

Получено кольцо из периодических трансформаций. Две трансформации возвращают систему в исходное состояние. Следовательно, трансформация в круге осуществляется на  $180^0$ . В этом варианте, круг представляет собой ленту Мёбуса, с двумя поворотами. Трансформация происходит, а законы сохраняются. В этом случае должен быть Основной закон. В нашем случае, возникновение законов сохранения, изотропности и непрерывности, следует из функциональности Основного Закона. Основной Закон (Конституция Природы), должен быть без размерностей, по-другому, все законы и свойства не описать. Без размерностей это абстрактно. Все описывает абстрактно математика и философия.

Трансформация подразумевает постоянство суммы компонентов. В противном случае компоненты исчезнут или вырастут до размеров бесконечных характеристик. Что создает постоянство суммы компонентов времени? Вариантов ответа два:

- Существует очередная «темная» компонента, которая движется во Вселенной. Поиск «темноты» — это уход головой в песок — сразу становится темно и спокойно.

- Изменение констант, т.е. в Природе существует взаимная зависимость констант и движения.

Я сторонник второго варианта, считая законы сохранения первичными (*Законы, а не константы! Замечание для читающих по диагонали*). Первичные законы заданы свойствами дуальности и комплексности. Подтверждаю это вопросом от обратного: «Какой закон „не сохранения“ следует из дискретности материи?» Буду рад получить объяснение и даю свое.

Выше рассмотрены две константы  $x+y=const$  (дуальность) и  $x \times y=const$  (комплексность). Дуальность и комплексность создают непрерывность. В то же время, уравнение  $MV=TE$ , описывает материю, являющуюся дискретной системой. Что создает дискретность? Возможности две:

Первая. «Бог создал целые числа. Все остальное от человека». Точность фразы не гарантирую. Автора забыл. Остался смысл — непрерывность создана человеком, дискретность (материя + человек) создана богом.

Вторая. Из непрерывности — больше не из чего.

Для материи, второй вариант есть единство комплексности и дуальности. Дуальность возникает распадом. Распад первичен. Решая систему уравнений  $x+y=const$  и  $x \times y=const$  получаем два вывода  $(-x^2) = const$  и  $(-y^2) = const$ . Для материи, объединение свойств дуальности и комплексности, описано уравнением  $x^2+y^2 = const$ . Это уравнение описывает окружность на плоскости. Наличие трех компонентов создает дискретную сферу. Выше показано, что природа состоит из 4-х явлений. Четвертый компонент, создает из сферы шар, т.е. из поверхности создается объем и дискретность.

Каждый компонент может быть четвертым. В результате возникает дискретная масса, дискретное физическое пространство (объем), дискретная энергия — фотон и дискретное время — момент «сейчас».

### Анализ

Наш мир одновременно дуален и комплексен., следовательно, уравнения  $y=-x$  и  $y=const/x$  описывают основные законы Природы. Соответственно представленным уравнениям, происходят изменения в Природе. Интегрирование (суммирование) комплексных процессов создает логарифми-

ческую зависимость хода процесса. Дифференцирование (разделение) создает ускорение процесса развития систем, а рост системы усиливает процессы разделения. Интегрирование (суммирование противоречий) дуальности создает ускорение хода процесса и способствует возникновению круговорота. Дифференцирование (разделение противоречий) дуальности создает постоянство.

Располагаясь, относительно друг друга по нормали, комплексность и дуальность взаимодействуют как множители. Вариантов умножения два:

$$1. \quad x \times c/x = c \text{ (константа).}$$

Постоянная величина при взаимодействии дуальности и комплексности, задает условия для существования законов сохранения. Другими словами, уравнение  $x \times c/x = const$ . описывает общий закон сохранения взаимодействующих потенциалов Природы. Все в Природе трансформируется, не возникая из ничего и не исчезая бесследно.

Постоянная величина, по своей сути абстракция. Абстракция взаимодействия процессов в Природе, позволяет описывать все эти процессы абстрактным методом — математически. Возможность описывать все процессы в Природе, сделало математику основой для всех наук.

Константа, при взаимодействии дуальности и комплексности, является абстрактной величиной. Получается, что наша Природа возникла из Абстракции/Ничего и Пустота это самое потенциальное, что есть в Природе

$$2. \quad x/(c/x) = x^2/c$$

Квадратная зависимость, при взаимодействии дуальности и комплексности, создает условия ускорения процессов в Природе. Интегрирование, такого вида процессов, создает возможность существования форм и позволяет формам двигаться в физическом Пространстве и Времени. Дифференцирование (разделение) этих процессов, создает линейную зависимость хода процесса. Наличие переменной в уравнении  $y = x^2/c$  показывает, что Пустота — это ноль/сцена, для эволюционных процессов в Природе.

### Заключение.

Возникновение научных противоречий в физике идет с опережающим развитием. Для их исключения прибегают к расширению теорий. Порой это делается исключением ограничений в законах сохранения и регистрируемых эффектах. Ограничения устраняют противоречия в физике, но не способствуют объединению физики. Для объединения физики выполнен анализ противоречий. Описание противоречий, позволило создать модель взаимной связи материи и физического вакуума. В модели, время принято формой движущегося момента «сейчас». Время, в виде корпускулы – момента «сейчас», представляет период трансформации Будущего в Прошлое. Сумма периодов трансформации создает длительность события, не являясь при этом большой корпускулой. Изменение периода трансформации создает изменение размера волновой корпускулы, регистрирующееся, как «ускорение» или «замедление» темпа времени. Модель позволяет предложить решение парадокса физического вакуума, демонстрирует причины возникновения физической дуальности и устраняет необходимость использования «темных» материи и энергии, при объяснении фактов в астрофизике.

### Список литературы:

1. Артеменко О.Л. Гипотеза многомерного времени в контексте проблем современной физики. Часть II: Многомерное время в мик-

ромире Философия науки - № 3 (42). - 2009. - С.100-114.

2. В. Касьянов. Критика теории относительности Эйнштейна

<https://www.proza.ru/2017/03/16/615>

3. Francis, Matthew. First Planck results: the Universe is still weird and interesting. Arstechnica (22 March 2013).

4. Schwarz J.H. Dual models for non-hadrons Nucl.Phys. 1974. Vol. 81, iss. 1. P. 118–144.

5. Козырев, Н.А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении Пулково, 1958.

6. Прохоров А.М. Физика космоса. стр 578 М, Рипол Классик, 2013

7. Титъенс О. Гидро и аэромеханика том 1стр14 М, Рипол Классик, 2013

8. Пуанкаре А Математическое творчество. М. Наука, 1983 – с313.

9. G. Perelman. Title^Finite extinction time for the solutions to the Ricci flow on certain three-manifolds, arXiv/math/0307245

10. G. Perelman. Title:Ricci flow with surgery on three-manifolds, arXiv/math/0303109

11. Dimmer Switch. Cassini’s CIRS Reveals Saturn is on a Cosmic. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/cassini/whycassini/dimmer-switch.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/whycassini/dimmer-switch.html)

12. P. A. R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, M. Arnaud, F.-X. Désert, et al. (226 additional authors not shown) Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. — [arXiv:1303.5076](https://arxiv.org/abs/1303.5076).

*Принята в печать 25.03.2018*

**А.Д. МАЛЬЦЕВ**

*Кемерово, 650024, Россия*

*E-mail: [mltsv126@mail.ru](mailto:mltsv126@mail.ru)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕРИИ И ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА.**

**Аннотация.** Сделан вывод, что возникновения парадоксальных взглядов в космологии, допускающих нарушение законов сохранения, стало возможным из-за отсутствия объединяющего фактора в физике. Рассмотрена возможность времени и пространства быть объединяющим фактором. Подробнее рассмотрена сущность времени. В существующей природе множество законов сохранения и только одна общая переменная - движение времени. Если время абстрактно, то оно никак не может влиять на реальные явления Природы: массу, объем и энергию. И наоборот: Масса не может влиять на абстрактное Время и его темп и т.д. На основании перечисленного делается вывод, что Время —

это реально существующее явление Природы. Рассмотрев, логически и математически, эту возможность, получено теоретическое объяснение регистрации изменяющегося «красного смещения», не требующего наличия в природе «темных» субстанций. Рассмотрена связь непрерывности и бесконечности. Объяснено возникновение логарифмической зависимости процессов в природе.

**Ключевые слова:** Парадоксы, физический вакуум, время, «красное смещение», бесконечность и непрерывность, взаимная связь материи и физического вакуума.

**А.Д. МАЛЬЦЕВ**

*Кемерово, 650024, Ресей*

*E-mail: [mltsv126@mail.ru](mailto:mltsv126@mail.ru)*

## **МАТЕРИЯ МЕН ФИЗИКАЛЫҚ ВАКУУМНЫҢ СИПАТТАМАСЫ МЕН ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ**

**Аннотация.** Сақталу заңдарының бұзылуына жол беретін, космологиядағы парадоксальды көзқарастардың пайда болуы, физикадағы біріктіруші фактордың жоқтығынан мүмкін болды деген қорытынды жасалды. Уақыт пен кеңістіктің біріктіруші фактор болу мүмкіндігі қарастырылды. Уақыттың мәні толығырақ қарастырылады. Қолданыстағы табиғатта көптеген сақталу заңдары бар және тек бір ғана жалпы айнымалы - уақыттың қозғалысы. Егер уақыт дерексіз (абстракты) болса, ол табиғаттың нақты құбылыстары: массасы, көлемі мен энергиясына ешқандай әсер ете алмайды. Және керісінше: масса дерексіз уақытқа, оның жылдамдығына және т.б. әсер ете алмайды. Жоғарыда айтылғандарды негізге ала отырып, Уақыт - Табиғатта шынымен бар құбылыс деген тұжырым жасалды. Бұл мүмкіндікті логикалық және математикалық тұрғыдан қарағаннан кейін, табиғатта «қара» заттардың болуын талап етпейтін өзгертін «қызыл орын ауыстыру» тіркелуінің теориялық түсіндірмесі алынды. Үзіліссіздік пен шексіздік арасындағы байланыс қарастырылады. Табиғаттағы процестердің логарифмдік тәуелділігінің пайда болуы түсіндіріледі.

**Түйін сөздер:** Парадокс, физикалық вакуум, уақыт, «қызыл ауысым», шексіздік және үздіксіздік, материя мен физикалық вакуумның өзара байланысы.

**A.D. Maltzev**

*Kemerovo 650024 Russia*

*E-mail: [mltsv126@mail.ru](mailto:mltsv126@mail.ru)*

## **A MATHEMATICAL MODEL AND INTERACTION OF MATTER AND PHYSICAL VACUUM.**

**Abstract.** The conclusion is made. Paradoxical views in cosmology about the existence of "dark" energy and matter arose because of the lack of a unifying factor in physics. The possibility of time and space to be a unifying factor. The essence of time. In the existing nature of many conservation laws and only one common variable is the movement time. If time is abstract, it cannot affect the real phenomena of Nature: mass, volume and energy. And Vice versa: the Mass has no influence on abstract Time and temp, etc. the conclusion is Time is a real phenomenon of Nature. The analysis logically and mathematically established a theoretical explanation for registering changing of the "red shift" does not require the nature of "dark" substances. The article

examines the relationship of continuity and infinity. Explained a logarithmic dependence of the processes in nature.

**Key words:** Paradoxes, physical vacuum, time, red shift, infinity and continuity the mutual relationship of matter and physical vacuum.

IRSTI 29.27.51

**A.M.Zhukeshov, A.T.Gabdullina, A.U.Amrenova, M.Mukhamedryskyzy, K.Fermakhan**  
*National Nanotechnology Open Laboratory (NNOL), Almaty, Kazakhstan*

## INVESTIGATION OF COATINGS OBTAINED BY VACUUM-ARC DEPOSITION

**Abstract.** The paper presents the results of the application of the vacuum-arc spraying method to obtain coatings on the structural material. Experiments were carried out on the vacuum-arc accelerator VAA-1. The processing parameters were selected in order to achieve the most effective result. The structure and physical and mechanical properties of the surface layer of stainless steel after deposition of copper coatings have been studied by means of x-ray spectral analysis, scanning electron microscopy and metallography. The presented results are an intermediate stage in a series of experiments to obtain coatings by this method. It is established that there is a decrease in the microhardness of the surface layer due to the formation a coating of copper. There is also observed a sealing and smoothing of the surface of the test sample, which should lead to improved performance properties of the material. In addition, deposition by this method leads to good continuity and adhesion of the coating to the substrate.

**Keywords:** vacuum-arc, plasma spraying, copper coating, deposition, smoothing, microhardness.

### Introduction

The actual problems of materials science include the development of technologies for improving surface properties of various structures and products. One of the solutions to the tasks may be coating by plasma spraying.

Plasma spraying is widely used in those branches of industry and technology where necessary to protect the machine parts and products from intensive wear, corrosion, erosion, cavitation, abrasion, heat, thermal shock [1]. Sputtering is performed in vacuum equipment of the type VAA-1. Vacuum-arc accelerators (VAA) are widely used to change the structure of materials and for surface treatment of metals and alloys. By applying a protective layer on the surface of materials using VAA can improve their chemical composition and physical properties [2].

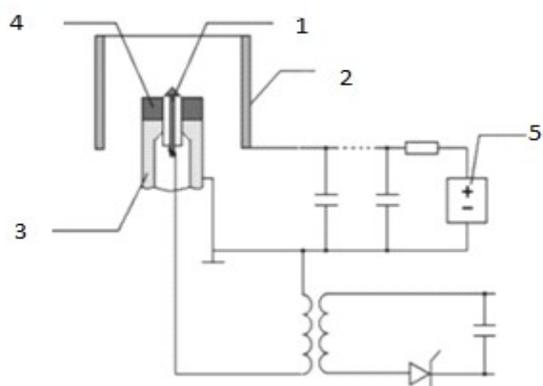
### Experimental setup

In this paper, experiments on the deposition were conducted on experimental installation VAA-1. The operation of pulsed vacuum-arc accelerator (VAA-1) is not different from that of classical coax, as in both cases; there is a coaxial anode and cathode. The difference is that in case of VAA, the plasma is formed as a flow with radially symmetric current distribution, constricted on the surface of the cathode

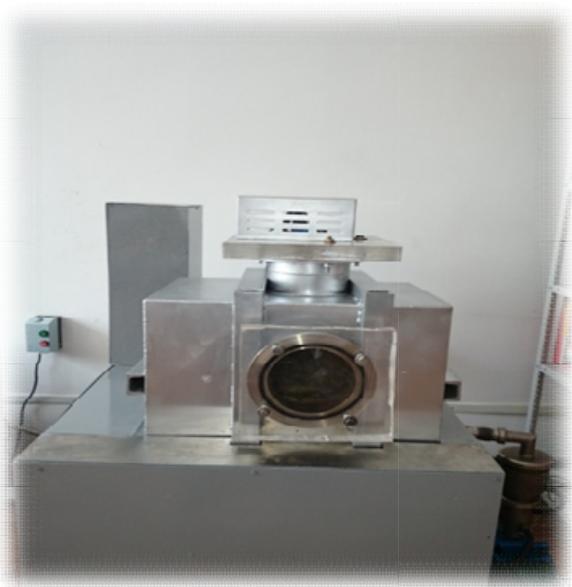
and is ejected in the interelectrode space due to its own magnetic field. Figure 1 shows the electrical scheme and the appearance of the installation VAA-1.

The installation design provides for the possibility of both continuous and pulsed mode arc at a frequency of 0.5÷100 Hz. The vacuum system consists of forevacuum and diffusion pump, which provides the ultimate pressure in a vacuum of  $10^{-6}$  Torr. The admission of the working gas (argon or nitrogen) is carried out using a needle leak valve with the possibility of regulating the gas pressure in the range from  $1,3 \times 10^{-3}$  Pa to  $4 \times 10^{-1}$  Pa. Electrode design is a complex system in which the spraying material is cathode.

Tests have shown stable operation of VAA when the voltage on the anode is above 50 V, and reaching the vacuum of  $2 \cdot 10^{-3}$  Torr. The operation of VAA has been tested at frequencies of 2, 10 and 25 Hz and found that at 50 Hz was achieved saturation [2].



a)



b)

a) 1- burning electrode, 2-cathode, 3-holder, 4-anode, 5-power supply

Figure 1 – Electrical installation scheme of VAA-1 (a), the appearance of the installation VAA-1 (b)

**Experiment details.**

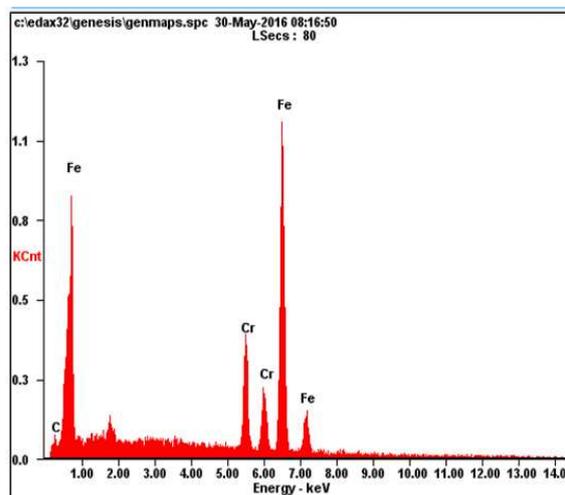
In the experiment, the samples of the test material is loaded into the working chamber at a residual air pressure of  $1,33 \times 10^{-3}$  Pa ( $1 \times 10^{-5}$  Torr). After the gas inflow, electric arc evaporator is powered and sets the arc mode. In order to initiate the arc discharge the evaporator design is provided an ignition electrode made of metal, situated in the shell of insulating material (ceramics), and located near the cathode. The ignition of the arc discharge is ensured by transmission of the ignition pulse with amplitude  $\sim 10$  kV. The film on the cathode under the current action is evaporated and ionized in the area of ignition. Operation of the evaporator based on

the erosive destruction of the surface layer of the cathode that provides stable combustion of a vacuum-arc discharge between the cathode and the anode [3]. In the experiment used pulsed mode of arc burning and the current load of the evaporator was regulated in steps from 5 to 75 A, where the arc voltage is not less than 20 V. The current density in the cathode spots reaches values of  $10^6$ - $10^7$  A/cm<sup>2</sup>, the energy power from  $10^5$  to  $10^8$  W/cm<sup>2</sup>[4].

**Results**

The spray material is deposited on the surface of the stainless steel samples. The selected objects were subjected to all steps of pre-treatment of their surfaces [3,5] and were processed the same number of plasma pulses. The gas pressure in the working chamber was maintained about 10 Pa, the frequency of 5 Hz, the voltage of 470 V, the processing time of 40 min, the cathode is copper. To determine the range and efficiency of spraying samples of stainless steel were placed on a holder and processed simultaneously.

The chemical composition of the surface layer of material was determined by X-ray spectroscopy on Pegasus 2000 (figures 2, 3 and 4, respectively) of the samples before (№7) and after applying a copper coating (№1 and №3).



Element	Wt%	At%
·C·K	2.09	8.93
·Cr·K	16.42	16.20
·Fe·K	81.49	74.87
Matrix	Correction	ZAF

Figure 2– X-ray spectral analysis of the sample №7

X-ray spectral analysis was showed the efficiency of the spraying process, as so in chemical composition of the coating was found up to 71,47% copper (sample №1) and 92,56% (sample №3) respectively. The difference of the percentage content of copper in the samples is explained by the position of the samples on the holder.

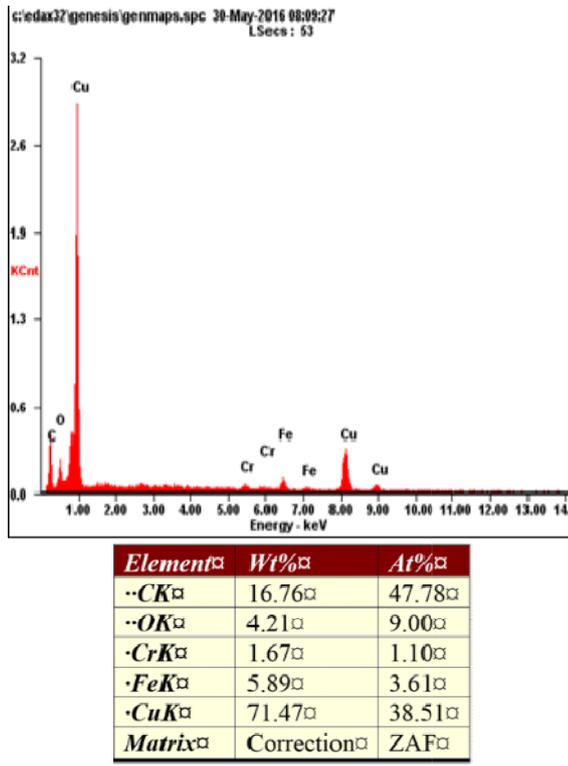


Figure 3 – X-ray spectral analysis of the sample №1

During the experiment sample №3 was placed in the center, which increased the efficiency of the results. In addition, it was found the increase in carbon content from 2,09 to 16,76 % and a decrease in iron and chromium ~ 7 and 10 times, respectively, which is evidence of internal rearrangements of the structure. The carbon apparently comes from the residual air or as a result of erosion of Plexiglas, insulating the electrodes of the accelerator.

The surface morphology (figure 5) and the Vickers hardness of the copper coatings was studied using scanning electron microscopy (SEM) methods.

As can be seen from figure №5 the influence of plasma energy density above 22 J/cm<sup>2</sup> leads to a smoothing of the surface and increase the continuity of coating at submicron

level.

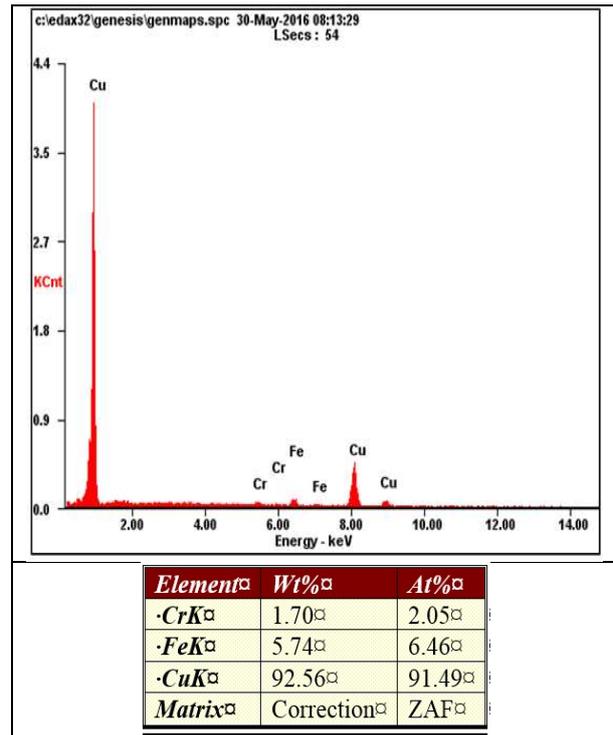


Figure 4 – X-ray spectral analysis of the sample №3

The results of microhardness measurements on metallographic inverted reflected light microscope "METAVAL", at F=300 N, t=10 s (table) show that copper plating the surface leads to its decrease, which agrees well with the analysis of the chemical composition. Copper is known to be a softer material than stainless steel substrate.

Table –The measurement results of microhardness of the samples

Sample	Microhardness, HV
№7	275,1
№1	255,3
№3	261,7

However, these readings of microhardness of the surface is somewhat higher than for the coaxial plasma accelerator CPA-30 received recently.

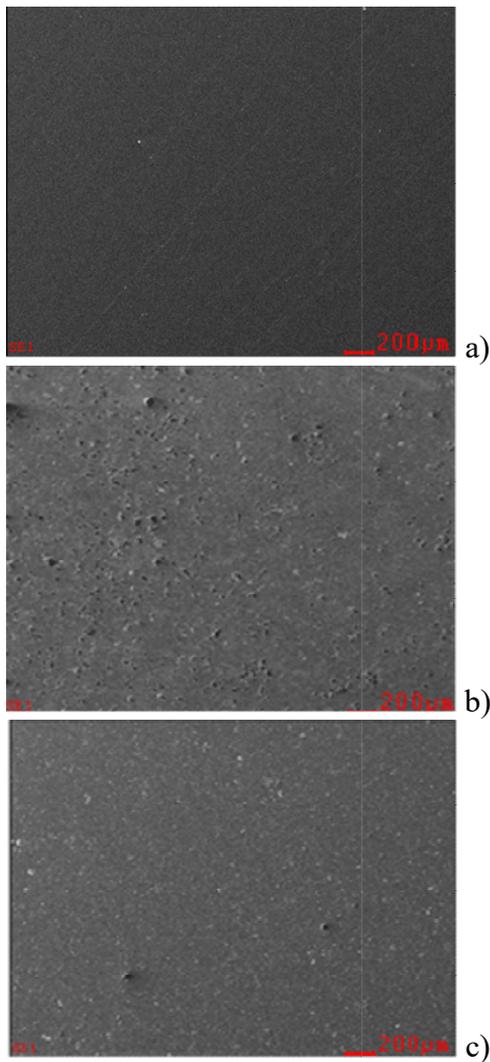


Figure 5 –Surface microstructure of samples a)№7, b)№1 and c)№3

**Conclusions.** Currently, great prospects for development receive technology increases the durability of structural materials and products from them. Proposed in this paper the method for surface modification of metallic materials using equipment of the type VAA-1 allows to obtain metallic coatings on substrates of structural steel with high performance and requires low cost for production.

The change in the internal structure and properties of the surface during plasma treatment were investigated by x-ray spectral analysis and electron microscopy was showed the presence of copper (up to 71,47 % and

92,56%) and increase in carbon percentage 8 times, accompanied by decrease in iron and chromium ~ 7 and 10 times, respectively. This effect may be caused by structural rearrangements. The decrease in hardness of the surface layer shows the efficiency of the spraying process and the possibility of obtaining coatings with high adhesion and continuity.

The results of experimental studies can be applied in the development of vacuum technological installations and technologies for the improvement of physical-mechanical properties of materials.

#### Acknowledgements.

The studies presented in this paper was conducted under the applied research grants №AP05130108 in 2018 year.

#### References

1. V.V. Uglov, N.N. Cherenda, V.M. Anishyk, N.T. Astashinsky *Modifikasya materialov kompressionnimi plazmennimi potokami.* – Minsk BGU, 2013. – 248 p.
2. A.M. Zhukeshov, N.N. Koval, A.U. Amrenova, A.T. Gabdullina, M. Mukhamedryskyzy, Zh.M. Moldabekov, S.K. Beysenbaev *Present status and perspectives of the using pulsed and electron beams for the hardening constructional steels.* *Journal of engineering thermophysics* Volume: 16 Pages: 40–43 Published: DEC. 2007.
3. A.M. Zhukeshov *Plasma diagnostics in a pulsed accelerator used for material processing.* *Journal of physics. Conference series* Volume: 63 Pages: 12-14 Published: OCT. 2007.
4. A.M. Zhukeshov, A.T. Gabdullina, A.U. Amrenova, K. Fermahan, K. Serik, N.N. Ahmetzhanova, Zh.K. Erenbayeva, Zh.R. Rysbekova. *The specifics of coatings by pulsed arc method* *physical science and technology* Volume: 2 (No. 2) Pages: 49-52 Published: NOV. 2015.

*Accepted to print at 30.03.18*

**A.M. Zhukeshov, A.T. Gabdullina, A.U. Amrenova, M. Mukhamedryskyzy, K. Fermakhan**  
*National Nanotechnology Open Laboratory (NNOL), Almaty, Kazakhstan*

## **INVESTIGATION OF COATINGS OBTAINED BY VACUUM-ARC DEPOSITION**

**Abstract.** The paper presents the results of the application of the vacuum-arc spraying method to obtain coatings on the structural material. Experiments were carried out on the vacuum-arc accelerator VAA-1. The processing parameters were selected in order to achieve the most effective result. The structure and physical and mechanical properties of the surface layer of stainless steel after deposition of copper coatings have been studied by means of x-ray spectral analysis, scanning electron microscopy and metallography. The presented results are an intermediate stage in a series of experiments to obtain coatings by this method. It is established that there is a decrease in the microhardness of the surface layer due to the formation a coating of copper. There is also observed a sealing and smoothing of the surface of the test sample, which should lead to improved performance properties of the material. In addition, deposition by this method leads to good continuity and adhesion of the coating to the substrate.

**Keywords:** vacuum-arc, plasma spraying, copper coating, deposition, smoothing, microhardness.

**А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина, А.У. Амренова, М. Мухамедрыскызы, К. Фермахан**  
*Национальная Нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Алматы, Казахстан*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ**

**Аннотация.** Приведены результаты применения метода вакуумно-дугового напыления для получения покрытий на конструкционном материале. Эксперименты проводились на вакуумно-дуговом ускорителе ВДУ-1. Параметры обработки были подобраны с целью достижения максимально эффективного результата. С помощью методов рентгеноспектрального анализа, растровой электронной микроскопии и металлографии исследованы структура и физико-механические свойства поверхностного слоя нержавеющей стали после осаждения медных покрытий. Представленные результаты являются промежуточным этапом серии экспериментов по получению покрытий данным методом. Установлено, что происходит снижение микротвердости поверхностного слоя за счет образования покрытия меди. Наблюдается также уплотнение и сглаживание поверхности исследуемого образца, что должно приводить к улучшению эксплуатационных свойств материала. Кроме того, осаждение этим способом приводит к хорошей сплошности и адгезии покрытия с подложкой.

**Ключевые слова:** вакуумно-дуговой метод, плазменное напыление, медное покрытие, осаждение, сглаживание, микротвердость.

**А.М. Жукешов, А.Т. Габдуллина, А.У. Амренова, М. Мухамедрыскызы, К. Фермахан**  
*Ашық түрдегі ұлттық нанотехнологиялық зертхана, Алматы, Қазақстан*

## **ВАКУУМДЫ-ДОҒАЛЫҚ ӘДІСМЕНАЛЫНҒАН ТҮНДЫРЫЛҒАН ЖАБЫНДЫЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ**

**Аннотация.** Конструкциялық материал жабындыларыналу үшін вакуумды-доғалықтозандатудың әдісін қолданылған нәтижелерікелтірілген. Эксперименттер ВДУ-1 вакуумды-доғалық үдеткіште жүргізілген. Өңдеу параметрлері максималды тиімді нәтижеге жету мақсатында таңдалынып алынған. Мыс жабындыны қондырғаннан кейінгі тот баспайтын болаттың беткі қабатының физика-механикалық қасиеттері рентгендік спектральды талдау, растрлы электронды микроскопия және металлография әдістерінің көмегімен зерттелген. Ұсынылған нәтижелер бұл әдіспен жабындыны алу бойынша

эксперименттер сериясының аралық кезеңі болып табылады. Мыс жабындының пайда болуына байланысты беткі қабатының микроқаттылығы төмендеп өзгергені анықталды. Сондай-ақ, зерттеліп отырған үлгінің беткі қабаты тығыздалғаны және тегістелгені байқалады, бұл материалды қасиеттерін жақсаруына әкелуі тиіс. Сонымен қатар, осы әдіс арқылы тұндыру жақсы тегістеуге және жабынды адгезиясы бар төсеніш алуға болады

**Түйін сөздер:** вакуумды-доғалық әдісі, плазмалық тозаңдау, мыс жабынды, тұндыру, тегістеу, микроқаттылық

Д.А. Афанасьев<sup>1</sup>, Н.Х. Ибраев<sup>1</sup>, А.К. Нурмаханова<sup>1</sup>, А.Т. Едрисов<sup>2</sup>, Е.В. Селиверстова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт Молекулярной Нанофотоники Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Лаборатория солнечной энергетики, NLA, Назарбаев Университет, Астана

E-mail: [a\\_d\\_afanasyev@mail.ru](mailto:a_d_afanasyev@mail.ru), [niazibrayev@mail.ru](mailto:niazibrayev@mail.ru), [atuletaeva@mail.ru](mailto:atuletaeva@mail.ru), [azamat.yedrissov@nu.edu.kz](mailto:azamat.yedrissov@nu.edu.kz), [genia\\_sv@mail.ru](mailto:genia_sv@mail.ru)

## ОБРАЗОВАНИЕ И РЕКОМБИНАЦИЯ ЭЛЕКТРОН-ДЫРОЧНЫХ ПАР В МАТРИЦАХ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИ-N-ЭПОКСИПРОПИЛКАРБАЗОЛА, ДОПИРОВАННЫХ ПОЛИМЕТИНОВЫМ КРАСИТЕЛЕМ

**Аннотация:** Изучены синглетные и триплетные состояния катионного полиметинового красителя в полимерах – производных поли-N-эпоксипропилкарбазола с тяжелыми атомами различной химической природы. Показано, что присутствие тяжелых атомов в структуре полимера приводит к появлению и разгоранию фосфоресценции красителя вследствие роста спин-орбитального взаимодействия в молекуле красителя и увеличении скорости синглет–триплетных переходов. Наличие тяжелых атомов в пленке приводит к уменьшению времени жизни как замедленной флуоресценции, так и фосфоресценции полиметинового красителя. При этом дополнительным каналом релаксации возбужденных состояний красителя в полимерных пленках с дырочным типом проводимости является образование и рекомбинация электрон-дырочных пар, что проявляется в появлении рекомбинационной люминесценции. При измерении длительной люминесценции красителя во внешнем магнитном поле и без него зарегистрировано уменьшение интенсивности рекомбинационной люминесценции. Времязависимый характер магнитного эффекта и его уменьшение его величины с добавлением тяжелого атома связано с конкурирующим влиянием спин-орбитального взаимодействия и внешнего магнитного поля на спин-селективные процессы, протекающие с участием возбужденных триплетных состояний молекул красителя. Наличие тяжелого атома в полимере приводит к уменьшению времени жизни триплетных электронно-дырочных пар в полимерных композитах.

**Ключевые слова:** поли-N-эпоксипропилкарбазол, полиметиновый краситель, пленки, рекомбинационная люминесценция, эффект тяжелых атомов.

### Введение

В последнее время о солнечных батареях на основе тонких органических пленок говорят как об альтернативе солнечным батареям на основе неорганических полупроводников. Несмотря на потенциально высокую квантовую эффективность, у солнечных ячеек на основе тонких полимерных пленок есть ряд недостатков, которые не позволяют начать широкомасштабный промышленный выпуск таких солнечных батарей. Главным недостатком является низкий КПД преобразования солнечной энергии, который обычно не превышает 6%. Однако в последнее время появились сообщения о достижении более высоких значений эффективности работы полимерных солнечных ячеек, достигающих 11% [1]. Невысокий КПД обуслов-

лен низкой эффективностью генерации свободных носителей зарядов при поглощении кванта света, малой длиной диффузии экситонов, а также не оптимальной разностью уровней энергии донора и акцептора носителей заряда.

В органических солнечных ячейках, в основном, используются синглетные экситоны, которые образуются непосредственно при поглощении света [2]. В ряде работ была показана важная роль триплетного состояния в процессах преобразования световой энергии в электрическую органическими фотовольтаическими ячейками [3, 4]. Так, в работе [5] для объяснения увеличения величины напряжения холостого хода и уменьшения тока короткого замыкания, выработываемого солнечной ячейкой на основе

1-(3-(2 этиламин) гексаоксикарбонил) пропи-1-фенил-Lu<sub>3</sub>N-C(80) по сравнению с (6,6)-масляной кислоты метил эфир-фенил-C(61) было установлено, что в новом веществе активно образуются и мигрируют триплетные экситоны, что приводит к изменению фотовольтаических свойств полученных солнечных ячеек.

В работе [6] при использовании органических молекул, применяемых в органических электролюминесцентных устройствах Ir(ppu)<sub>3</sub>, была усилена эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую. Такой эффект объяснялся участием в процессе образования свободных носителей заряда не только синглетных экситонов, но и триплетных. Образование триплетных экситонов было связано с увеличением спин-орбитального взаимодействия, внесенного молекулами Ir(ppu)<sub>3</sub>.

Нельзя исключать работы, в которых проводится анализ возможности использовать процесс триплет-триплетной аннигиляции и ап-конверсионной фотолюминесценции для увеличения эффективности солнечных ячеек (преобразователей солнечной энергии в электрическую) и электролюминесцентных ячеек [3,4]. В этих работах, преимущественно, идет теоретический анализ такой возможности применительно к солнечным ячейкам.

Таким образом, исследование роли триплетного состояния в процессе генерации свободных носителей заряда занимает важное место в проблеме повышения КПД органических солнечных ячеек.

Одним из активных элементов, участвующих в образовании и рекомбинации электронно-дырочных пар (ЭДП) в органических солнечных ячейках, являются красители. В этой связи важным становится природа спинового состояния молекулы красителя, в котором она оказывается после фотовозбуждения [7 – 10].

Синглетное состояние полиметиновых красителей хорошо изучено и является модельным для проведения квантово-химических методов расчета электронного состояния. Триплетное состояние и физико-химические процессы, связанные с ним, вызывают интерес исследователей в настоящее время. Полиметиновые красители, не со-

державшие тяжелый атом в своем составе, обладают высоким квантовым выходом транс-дисфотоизомеризации в синглетном возбужденном состоянии и малым квантовым выходом в триплетное состояние [7]. Однако заселение триплетного состояния полиметиновых красителей можно добиться за счет увеличения спин-орбитального взаимодействия (СОВ) в молекуле красителя под действием внешнего тяжелого атома, который включен в структуру полимерной молекулы. Предполагается, что тяжелые атомы в полимерном соединении будут усиливать СОВ в молекулах красителя [11]. Это приведет к росту концентрации долгоживущих триплетных молекул красителя и позволит увеличить вероятность образования электронно-дырочных пар в полупроводниковой полимерной матрице. Использование таких композитных материалов может существенно поднять эффективность органических солнечных ячеек, светодиодов. В работах [10, 12] освещена роль спиновых возбужденных состояний полиметиновых красителей в фотопроводимости окрашенных фотопроводящих полимерных композитов на основе поливинилбутираля (ПВБ) и поли-N-эпоксипропилкарбазола (ПЭПК). Было показано, что добавление примеси КI в полимерную пленку ПЭПК – катионный полиметиновый краситель ПК (рисунок 1) приводит к снижению величины магнитного эффекта на рекомбинационной люминесценции (РЛ) в миллисекундном временном диапазоне [10, 12]. Также для пленки ПЭПК+ПК+KI на начальном участке кривой РЛ наблюдается положительный магнитный эффект.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния тяжелого атома на образование и рекомбинацию электрон-дырочных пар в нанокompозитах «поли-N-эпоксипропилкарбазол/ полиметиновый краситель».

### Эксперимент

В качестве объектов исследования выбран катионный полиметиновый краситель (ПК), структурная формула которого показана на рисунке 1.

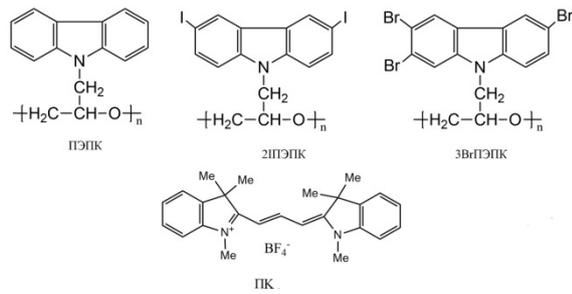


Рисунок 1 – Структурные формулы красителя ПК и полимеров

Фотоника этого красителя и механизмы образования ЭДП в ПЭПК исследованы и обсуждены в работах [10, 12].

Полимерными матрицами служили ПЭПК и полимерные соединения с различным числом тяжелых атомов – 2ПЭПК и 3BrПЭПК. В качестве не фотопроводящей среды использовался поливинилбутираль (ПВБ). Концентрация красителя в полимерных пленках составляла 1% по отношению к массе полимера. Окрашенные полимерные пленки получены в результате высушивания раствора красителя и соответствующего полимера на стеклянных подложках.

Спектры поглощения и быстрой флуоресценции образцов измеряли на спектрометре Cary-300 и Eclipse (Agilent), соответственно. Спектрально-кинетические измерения длительной люминесценции проводили в вакуумируемом оптическом криостате. Фотовозбуждение образцов производили второй гармоникой неодимового лазера LCS-DTL-374QT. Измерение интенсивности ( $I$ ) свечения производили через 10 мкс после выключения возбуждающего света для проведения измерений в микросекундном в диапазоне времен свечения. На каждом временном интервале происходило накопление сигнала в виде числа электронных импульсов, пришедших с фотоэлектронного умножителя. Для получения удовлетворительного сигнала кинетики с образца проводили суммирование сигнала не менее 500 накоплений, в среднем накапливалось 1000 импульсов. Кроме того, кинетика затухания люминесценции пленок красителей в наносекундном временном интервале была измерена на импульсном спектрофлуорометре регистрацией в режиме время-

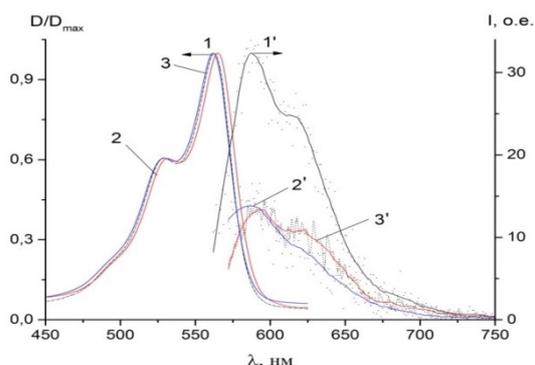
коррелированного счета фотонов (Becker&Hickl, Germany). Время жизни люминесценции в композитных пленках определялось с помощью программного обеспечения для сбора и анализа данных SPCM Image.

Кинетические измерения проводили как без внешнего магнитного поля, так и в магнитном поле. Для проведения измерений при разных температурах исследуемый образец помещали в вакуумируемый оптический криостат. Контроль температуры проводили при помощи медь-константановой термопары. Напряженность внешнего магнитного поля ( $B$ ) изменяли в диапазоне 0 – 0,5 Тл. Величину магнитного эффекта оценивали по относительному изменению интенсивности свечения в магнитном поле и в отсутствие поля по формуле  $g(B) = (I_B - I_0)/I_0$ , где  $I_B$  и  $I_0$  – интенсивности длительной флуоресценции в поле и без поля соответственно.

### Результаты и их обсуждение

В работе [12] было показано, что в этанольном растворе спектры поглощения и флуоресценции красителя ПК представлены интенсивными полосами с максимумами на 540 нм для поглощения, 570 нм для флуоресценции. В спектре поглощения ПК наблюдается дополнительный пик, сдвинутый в коротковолновую область спектра. Для флуоресценции также наблюдается пик, сдвинутый в длинноволновую область. Измеренные спектры поглощения и флуоресценции красителя в полимерных пленках представлены на рисунке 2.

Из рисунка видно, что максимум спектра поглощения красителя ПК в ПЭПК приходится на 560 нм с коротковолновым плечом около 530 нм. Полоса флуоресценции проявляет максимум около 587 нм с плечом на 617 нм. В полимерных пленках с тяжелым атомом происходит незначительный батохромный сдвиг полос поглощения и флуоресценции (таблица 1).



1, 1' – ПЭПК; 2, 2' – 2ПЭПК; 3, 3' – 3ВrПЭПК

Рисунок 2 – Спектры поглощения (1 – 3) и флуоресценции ( $\lambda_{\text{в}}=550$  нм, 1' – 3') красителя ПК в различных полимерах

При этом интенсивность флуоресценции красителя в пленках 2ПЭПК и 3ВrПЭПК почти в 2 раза меньше интенсивности свечения в ПЭПК. Такое тушение интенсивности может быть результатом усиления интерконверсии в триплетное состояние красителя за счет увеличения СОВ в полимерных композитных пленках содержащих тяжелый атом [11, 13]. Времена жизни флуоресценции красителя практически не зависят от типа полимера и равны  $1,4 \pm 0,2$  нс, как для ПЭПК, 2ПЭПК, 3ВrПЭПК, так и для ПВБ.

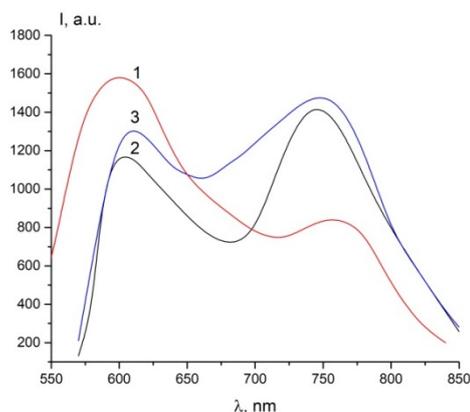
Таблица 1 – Спектральные характеристики ПК в полимерных пленках

Полимер	ПЭПК	2ПЭПК	3ВrПЭПК
$\lambda_{1 \text{ max}}$ , нм	561	565	562
$\lambda_{2 \text{ max}}$ , нм	528	530	528
$\Delta\lambda_{1/2}^a$ , нм	57	58	58
$\lambda_{\text{max}}$ , нм	587	590	587
$\lambda_{\text{max}}^f$ , нм	617	617	617
$\Delta\lambda_{1/2}^f$ , нм	66	68	68
$\tau$ , нс	1,3	1,5	1,4

При импульсном фотовозбуждении пленок ПЭПК, допированных ПК, при температуре  $T=100$  К наблюдается длительная люминесценция красителя, спектр которой состоит из двух полос. Коротковолновая полоса с максимумом на 600 нм спектрально совпадает со спектром быстрой флуоресценции при стационарном фотовозбуждении (рисунок 3) и обусловлена с излучательным переходом из синглет-возбужденного со-

стояния  $S_1$  в основное  $S_0$ -состояние [10, 12]. В пленках 2ПЭПК и 3ВrПЭПК с красителем ПК максимум свечения смещен на 5 – 10 нм в длинноволновую область спектра.

Также в спектре длительной люминесценции присутствует широкая полоса свечения в области 700 – 850 нм с максимумом около 750 нм, которая является полосой фосфоресценции (ФОС) красителя.



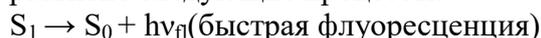
1 – ПЭПК; 2 – 2ПЭПК; 3 – 3ВrПЭПК.  $T = 100$  К

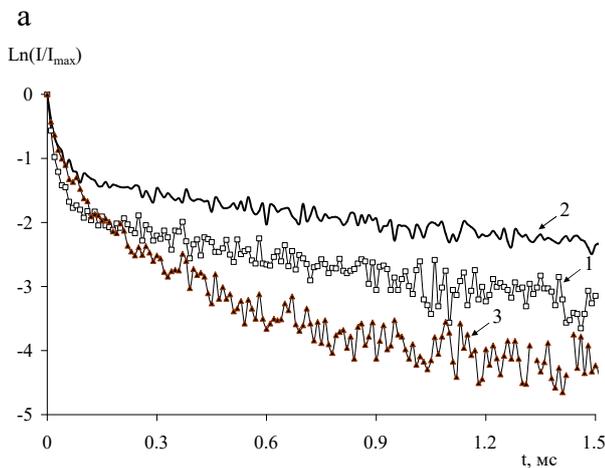
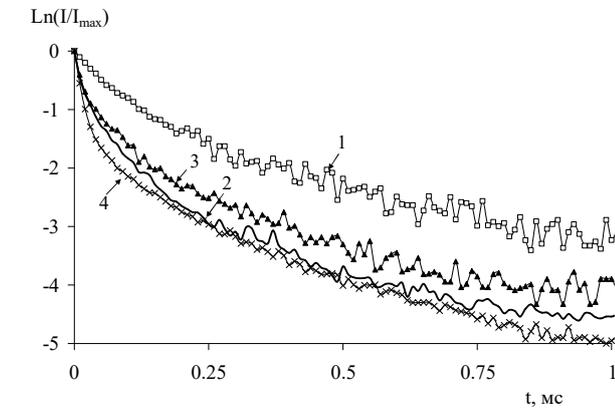
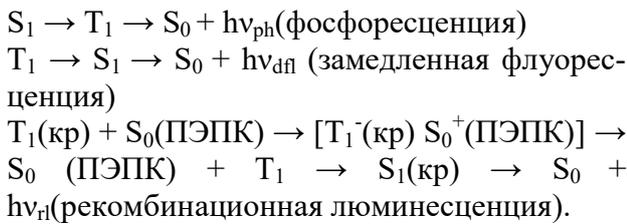
Рисунок 3 – Спектры длительной люминесценции красителя ПК в полимерных пленках:

При измерении кинетики затухания свечения с  $\lambda_{\text{max}}=600$  нм было обнаружено, что в матрице ПЭПК свечение затухает медленнее, чем в ПВБ (рисунок 4).

Время жизни, вычисленное из долговременного участка кинетической кривой затухания, для ПК в ПВБ, равно 0,5 мс, что меньше времени жизни свечения красителя в пленках ПЭПК (таблица 2). Как показано в работе [12], наблюдаемое различие длительности свечения ПК в указанных полимерах связано с присутствием в суммарном свечении доли РЛ наряду с замедленной флуоресценцией (ЗФ)  $S_1 \rightarrow S_0$ . Природа ЗФ связана с интерконверсией молекул красителя из  $T_1$  в состояние  $S_1$  [10, 12]. Более медленная РЛ связана с образованием ЭДП катион-радикала карбазольного фрагмента ПЭПК и электро-нейтрального радикала ПК.

Таким образом, в результате фотовозбуждения ПК в матрице ПЭПК получают развитие следующие процессы:





б  
1 – ПЭПК; 2 – 2ПЭПК; 3 – 3ВrПЭПК, 4 – ПВБ. T = 80 К

Рисунок 4 – Кинетики затухания (а) длительного свечения ПК ( $\lambda_{рег} = 600$  нм) и (б) фосфоресценции ( $\lambda_{рег} = 750$  нм) пленках

Для полимера 3ВrПЭПК кривые ЗФ и фосфоресценции практически накладываются друг на друга. Как видно из данных таблицы 3, в полимере 3ВrПЭПК времена жизни ЗФ и фосфоресценции практически равны, что позволяет сделать вывод, что ЗФ красителя в 3ВrПЭПК преимущественно связана с интеркомбинационным переходом из  $T_1$  состояния в  $S_1$  и последующим испусканием кванта света. Доля РЛ в интегральной интенсивности длительного свечения в

ряду полимеров: ПЭПК, 2ПЭПК и 3ВrПЭПК уменьшается.

Таблица 2 – Максимумы спектров и времена жизни свечения ПК в полимерных пленках

Полимер	ПВБ	ПЭПК	2ПЭПК	3ВrПЭПК
$^1\lambda_{max}$ , нм	585	587	590	587
$^3\Phi\lambda_{max}$ , нм	590	600	605	600
$\tau_{ДЛ}$ , мс	0,5	0,9 – 1,0	0,8 – 0,7	0,7
ФОС $\lambda_{max}$ , нм	755	750	740	750
$\tau_{ФОС}$ , мс	-	1,2	0,9	0,8
$I_{ДЛ}/I_{ФОС}$	-	1,80	0,83	0,89

Вывод об уменьшении доли рекомбинационной составляющей в интегральной интенсивности ЗФ пленок может быть более точно установлен при изучении влияния внешнего магнитного поля на интенсивность свечения. Поскольку известно, что внешнее магнитное поле не влияет на интенсивность термоактивированной ЗФ из  $T_1$  в состояние  $S_1$  [14 – 16], то увеличение или уменьшение величины магнитного эффекта позволит определить характер влияния эффекта тяжелого атома на РЛ.

Для установления роли триплетного состояния в образовании и рекомбинации ЭДП красителя ПК были проведены исследования РЛ красителя в пленках полимеров с различными тяжелыми атомами при температуре кипения жидкого азота. Пониженные температуры замедляет процесс рекомбинации ЭДП до временного разрешения используемой нами системы регистрации свечения. Кроме того, согласно [11], уменьшение температуры должно ослаблять вклад термоактивированной ЗФ в суммарную интенсивность свечения.

Вид зависимости магнитного эффекта приведен на рисунке 5а. Величина  $g(B)$  падает в ряду: ПЭПК– 2ПЭПК– 3ВrПЭПК –

ПЭПК+KI (рисунок 5). Для красителя в матрице ПЭПК наблюдался отрицательный магнитный эффект, и для  $B \sim 0.5$  Тл  $g = 26\%$ . В матрицах 2ПЭПК и 3ВrПЭПК влияние магнитного поля меньше. Значение  $g$  уменьшается от 10 до 6 % при значении  $B \sim 0.5$  Тл с ростом числа тяжелых атомов в полимерном звене. В пленке ПЭПК с добавкой внешнего тяжелого атома (соль KI) величина магнитного эффекта составила 5%.

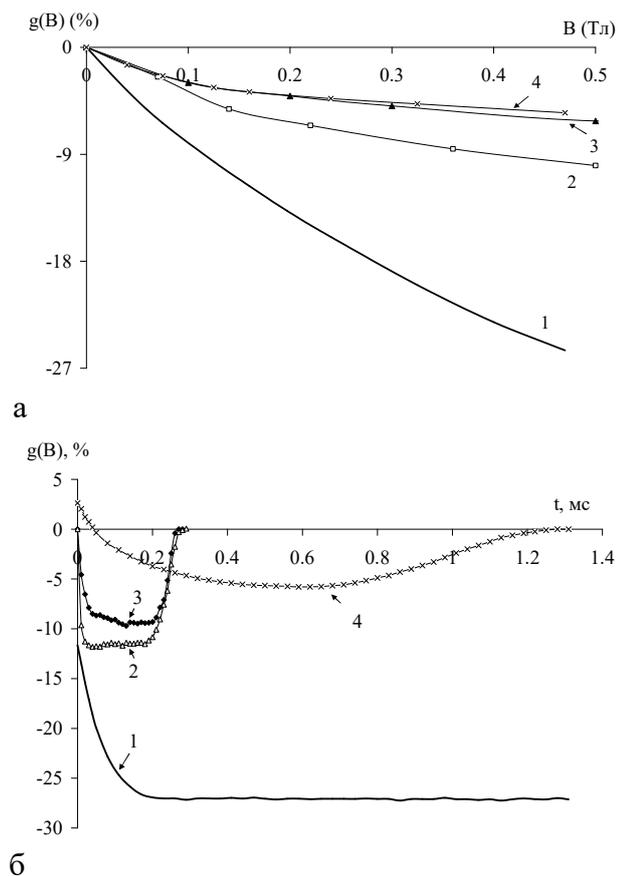


Рисунок 5 – (а) – Влияние магнитного поля на длительную люминесценцию ( $\lambda_{\text{пер}}=600$  нм) ПК в полимерных пленках. (б) – Временная зависимость магнитного эффекта: 1 – ПЭПК; 2 – 2ПЭПК; 3 – 3ВrПЭПК; 4 – ПЭПК+KI

Также в полимерных пленках 2ПЭПК и 3ВrПЭПК на временном диапазоне после 200 мкс происходит уменьшение величины  $g(B)$  с дальнейшим увеличением времени (рисунок 5б, кривые 2 и 3). Для пленки ПЭПК+KI уменьшение величины  $g(B)$  происходит в другом временном диапазоне, начиная с 0,6 мс и значение  $g(B)$  становится близким к 0 при  $t_{\text{пер}} \sim 1,2$  мс. Для пленки ПЭПК с полиметиновым красителем

уменьшение величины  $g(B)$  в доступном для регистрации диапазоне времен не зафиксировано.

Как известно магниточувствительной стадией является синглет-триплетная (S-T) конверсия ЭДП [15, 16]. Уменьшение интенсивности РЛ в магнитном поле показывает, что образование ЭДП в основном идет по триплетному каналу ( $S_1 \rightarrow T_1 \rightarrow T_{\text{ЭДП}}$ ). Магнитное поле уменьшает вероятность аннигиляции триплетных ЭДП и увеличивает вероятность их диссоциации на свободные носители заряда. ЭДП пара образована катион-радикальным фрагментом ПЭПК и электро-нейтральным радикалом ПК. Носитель заряда (электрон), оставшийся на молекуле красителя, находится в неподвижном состоянии, в то время как дырка может перемещаться по полимерной цепи ПЭПК. При преодолении кулоновского барьера дыркой связанная ЭДП может сформировать свободные носители заряда. В противоположном случае произойдет рекомбинация носителей заряда с последующим испусканием кванта света. Как показали измерения временной зависимости магнитного эффекта (рисунок 5б) наличие тяжелого атома в полимере приводит к уменьшению времени жизни триплетных ЭДП. В случае наличия внешнего тяжелого атома (ПЭПК+KI) время жизни триплетных ЭДП больше, чем в пленках 2ПЭПК и 3ВrПЭПК. Таким образом, именно процессы, протекающие в полимерном звене, оказывают определяющую роль на время жизни ЭДП.

Уменьшение величины  $g(B)$  с добавлением тяжелого атома в образец связано с конкурирующим влиянием СОВ и внешнего магнитного поля на спин-селективные процессы, протекающие с участием возбужденных триплетных состояний молекул красителя. Тяжелый атом приводит к росту концентрации триплетов в образце и повышает вероятность как переходов с синглетного состояния в триплетное, так и наоборот. Это в свою очередь снижает степень влияния внешнего магнитного поля на переходы ЭДП из одного спинового состояния в другое. На временах свыше 200 мкс возможно происходит уменьшение концентрации ЭДП и уменьшение вклада рекомбинационной

флуоресценции в интенсивность суммарного свечения.

### **Заключение и выводы**

Таким образом, в полимерных матрицах с тяжелым атомом наблюдается тушение как флуоресценции, так и коротковолнового длительного свечения. При этом в полимерных матрицах происходит bathochromный сдвиг спектров поглощения и флуоресценции красителей почти на 15 – 20 нм по сравнению с растворами, однако какой-либо деформации полос поглощения и флуоресценции зарегистрировано не было. Полуширина спектров остается также постоянной. Наблюдаемые спектральные сдвиги могут быть связаны с нуклеофильной сольватацией ионов красителей и полярных групп полимеров [8].

Присутствие тяжелых атомов в структуре полимера приводит к появлению и разгоранию фосфоресценции красителей вследствие роста СОВ в молекуле красителя и увеличении скорости синглет–триплетных переходов в присутствии полимера с большим числом тяжелых атомов.

В полимерных пленках с дырочным типом проводимости и катионным красителем ПК дополнительным каналом релаксации возбужденных состояний является образование и рекомбинации ЭДП, что проявляется в появлении РЛ, которая дополняет интенсивность суммарного свечения. Во внешнем магнитном поле интенсивность РЛ уменьшается. Магнитный эффект имеет времязависимый характер вследствие конкуренции между синглетным и триплетным каналами образования ЭДП.

### **Список литературы**

1 Wenchao Zhao, Deping Qian, Shaoqing Zhang, Sunsun Li, Olle Inganäs, Feng Gao, Jianhui Hou. Fullerene-free polymer solar cells with over 11% efficiency and excellent thermal stability // *Advanced Materials*. – 2016. – Vol. 28, Issue 23. – P. 4734–4739  
 2 Chikamatsua M., Ichino Y., Takada N., Yoshida M., T. Kamata, K. Yase. Light up-conversion from near-infrared to blue using a photoresponsive organic light-emitting device // *J. Appl. Phys.*, 2002, V.92, №4, P.769-771.

3 Singh-Rachford T.N., Castellano F.N.. Photon upconversion based on sensitized triplet–triplet annihilation // *Coordination Chem. Rev.*, 2010, V.254, №21-22. P.2560-2573.

4 Mezyk J., Tubino R., Mech A., Meinardi F. Effect of an external magnetic field on the up-conversion photoluminescence of organic films: The role of disorder in triplet–triplet annihilation // *Phys. Rev. Lett.*, 2009, V.102, №8, P.087404(1-4).

5 Greenham N.C., Samuel I.D.W., Hayes G.R., Phillips R.T., Kessener Y.A.R.R., Moratti S.C., Holmes A.B., Friend R.H.. Measurement of absolute photoluminescence quantum efficiencies in conjugated polymers // *Chem. Phys. Lett.*, 1995, V. 241(1-2), P.89–96.

6 Liedtke M., Sperlich A., Kraus H., Baumann A., Deibel C., Wirix M.J.M., Loos J., Cardona C.M., Dyakonov V. Triplet Exciton Generation in Bulk-Heterojunction Solar Cells based on Endohedral Fullerenes // *J. Am. Chem. Soc.*, 2011, V.133, P.1-8.

7 Davidenko N.A., Ishchenko A.A. Spin conversion and electric field effect on photoluminescence in amorphous molecular semiconductors doped with ionic dyes. // *Chem. Phys.*, 1999, v.247, p.237-243. ;

8 Davidenko N.A., Ishchenko A.A., Pavlov V.A. Photogeneration of charge carriers in the films of amorphous molecular semiconductors doped with a squarilium dye. // *Sci. Appl. Photo.*, 1999, v.41(2), p.169-174.]

9 Ibraev N.Kh, Seliverstova E.V., Tenhurina A.R., Ishchenko A.A., Shargaeva A.Yu. Structure and physicochemical properties of cation polymethine dyes in Langmuir–Blodgett films // *Rus. J. Phys. Chem. A*. – 2013. – Vol. 87, № 12. – P. 2082–2088.

10 Ibrayev N.Kh., Afanasyev D.A., Ishchenko A.A., Davidenko N.A. Role of Triplet States of Polymethine Dyes in Photogeneration of Electron–Hole Pairs in Poly(N-epoxypropylcarbazole) Films // *High Energy Chemistry* – 2013. – Vol.47, № 2. – P. 41–45.

11 Мак–Глинн С., Адзуми Т., Киносита М. Молекулярная спектроскопия триплетного состояния. М.: Мир. – 1972. – 448 с.

12 Ibrayev N.Kh., Afanasyev D.A., Ishchenko A.A., Davidenko N.A. Specific features of the radiative relaxation of excited states of polymethine dyes of different ionicity in films

of photoconductive and nonphotoconductive polymers // Optics and Spectroscopy. – 2013. – Vol.114, No.1. – P. 66–71.

13 Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии. М.: Мир, 1986. – 496 с.

14 Pope M., Svenberg C. Electronic Processes in Organic Crystals. Trans. with English. - Moscow: Mir. – 1985. – P. 544. (In Russian)

15 Салихов К.М. 10 лекций по спиновой химии. -Казань: УНИПРЕСС, 2000, - 152 с.

16 Франкевич Е. Л., Зорянский Г.Э., Трибель М.М., Чабан А.Н., Блюмдштенгель С., Кобрянский В.М. Магнитный спиновый эффект на фотолюминесценции полимеров с системой сопряженных связей: поли-п-фенилен и поли-п-фенилен винилен // Журн. хим. физ. –1999. –Т. 18. – №9. – С. 27-34.

*Принято к печати 30.03.18*

**Д.А. Афанасьев<sup>1</sup>, Н.Х. Ибраев<sup>1</sup>, А.К. Нурмаханова<sup>1</sup>, А.Т. Едрисов<sup>2</sup>, Е.В.Селиверстова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт Молекулярной Нанопотоники Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*

<sup>2</sup>*Лаборатория солнечной энергетики, NLA, Назарбаев Университет, Астана*

*E-mail: [a\\_d\\_afanasyev@mail.ru](mailto:a_d_afanasyev@mail.ru), [niazibrayev@mail.ru](mailto:niazibrayev@mail.ru), [atuletaeva@mail.ru](mailto:atuletaeva@mail.ru), [azamat.yedrissov@nu.edu.kz](mailto:azamat.yedrissov@nu.edu.kz), [genia\\_sv@mail.ru](mailto:genia_sv@mail.ru)*

## **ОБРАЗОВАНИЕ И РЕКОМБИНАЦИЯ ЭЛЕКТРОН-ДЫРОЧНЫХ ПАР В МАТРИЦАХ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИ-N-ЭПОКСИПРОПИЛКАРБАЗОЛА, ДОПИРОВАННЫХ ПОЛИМЕТИНОВЫМ КРАСИТЕЛЕМ**

**Аннотация.** Изучены синглетные и триплетные состояния катионного полиметинового красителя в полимерах – производных поли-N-эпоксипропилкарбазола с тяжелыми атомами различной химической природы. Показано, что присутствие тяжелых атомов в структуре полимера приводит к появлению и разгоранию фосфоресценции красителя вследствие роста спин-орбитального взаимодействия в молекуле красителя и увеличении скорости синглет-триплетных переходов. Наличие тяжелых атомов в пленке приводит к уменьшению времени жизни как замедленной флуоресценции, так и фосфоресценции полиметинового красителя. При этом дополнительным каналом релаксации возбужденных состояний красителя в полимерных пленках с дырочным типом проводимости является образование и рекомбинация электрон-дырочных пар, что проявляется в появлении рекомбинационной люминесценции. При измерении длительной люминесценции красителя во внешнем магнитном поле и без него зарегистрировано уменьшение интенсивности рекомбинационной люминесценции. Вреязависимый характер магнитного эффекта и его уменьшение его величины с добавлением тяжелого атома связано с конкурирующим влиянием спин-орбитального взаимодействия и внешнего магнитного поля на спин-селективные процессы, протекающие с участием возбужденных триплетных состояний молекул красителя. Наличие тяжелого атома в полимере приводит к уменьшению времени жизни триплетных электронно-дырочных пар в полимерных композитах.

**Ключевые слова:** поли-N-эпоксипропилкарбазол, полиметинового краситель, пленки, рекомбинационная люминесценция, эффект тяжелых атомов.

Д.А. Афанасьев<sup>1</sup>, Н.Х. Ыбраев<sup>1</sup>, Ә.Қ. Нұрмаханова<sup>1</sup>,  
А.Т. Ыдрысов<sup>2</sup>, Е.В. Селиверстова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>І.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университетінің молекулалық  
нанофотоника институты, Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup>Күн энергетикасының зертханасы, NLA, Назарбаев университет, Астана

## ПОЛИМЕТИНДІК БОЯҒЫШТАР ЕНГІЗІЛГЕН ГАЛОГЕН БАР ТУЫНДЫ ПОЛИ-N-ЭПОКСИПРОПИЛКАРБОЗОЛ РЕКОМБИНАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫ

**Аннотация.** Әртүрлі химиялық табиғаты бар ауыр атомды поли- N-эпоксипропилкарбазол полимерінен шыққан катиондық полиметиндік бояғыштың синглеттік және триплеттік күйлері зерттелген. Полимердің құрамында ауыр атомдардың болуы, бояғыштардың молекулаларында спин-орбиталдық әсерлесудің артуы және синглет-триплеттік ауысулардың жылдамдығы артуы нәтижесі бояғышта фосфоресценцияның пайда болуы мен сөнуіне әкеледі. Сонымен қатар электрондық-кемтіктік жұптардың рекомбинациясы, кемтіктік типті өткізгіштігі бар полимерлік қабықшалардағы бояғыштардың қоздырылған күйінің қосымша релаксация каналы болып табылады, ол рекомбинациялық люминесценция кезінде байқалады. Сыртқы магнит өрісіндегі және өріс болмағандағы бояғыштардың ұзақ люминесценциясын өлшеу кезінде рекомбинациялық люминесценцияның қарқындылығының бәсеңдеуі тіркелген. Магниттік эффектін уақытқа тәуелді сипаттамасы синглеттік және триплеттік каналдар арасындағы ЭКЖ жарыса түзілу нәтижесі болып табылады.

**Түйін сөздер:** поли-N-эпоксипропилкарбазол, полиметиндік бояғыш, қабықша, рекомбинациялық люминесценция, ауыр атомдардың эффектісі.

D. Afanasyev<sup>1</sup>, N. Ibrayev<sup>1</sup>, A. Nurmakhanova<sup>1</sup>, A. Yedrissov<sup>2</sup>, E. Seliverstova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Molecular Nanophotonics, Buketov Karaganda State University,  
Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup>Laboratory of solar energy, NLA, Nazarbayev University, Astana

## THE FORMATION AND RECOMBINATION OF ELECTRON-HOLE PAIRS IN THE MATRICES HALOGENATED DERIVATIVES POLY-N-EPOXYPROPYLCARBAZOLE DOPED WITH POLYMETHINE DYE

**Abstract.** Singlet and triplet states of the cationic polymethine dye in polymers – derivatives of poly-N-epoxypropylcarbazole with heavy atoms of different chemical nature are studied. It is shown that the presence of heavy atoms in the structure of the polymer leads to the appearance and buildup of the dye phosphorescence due to the growth of the spin-orbit interaction in the dye molecule and an increase in the rate of singlet-triplet transitions. An additional channel of relaxation of excited states of the dye in polymer films with a hole type of conductivity is the formation and recombination of electron-hole pairs, which is manifested in the appearance of recombination luminescence. Decrease in the intensity of recombination luminescence was recorded at measuring of the long-lived luminescence of a dye in an external magnetic field and without it. The time-dependent nature of the magnetic effect is the result of competition between the singlet and triplet channels of the formation of the electron-hole pairs.

**Keywords:** poly-N-epoxypropylcarbazole, polymethine dye, films, recombination luminescence, heavy atom effect.

Ю.В. Архипов<sup>1</sup>, А. Аскарулы<sup>1</sup>, А.Б. Ашикбаева<sup>1</sup>,  
 Д.Ю. Дубовцев<sup>1</sup>, Н. Мурсал<sup>1</sup>, С.А. Сызганбаева<sup>1</sup>, И.М. Ткаченко<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;  
<sup>2</sup>Валенсийский политехнический университет, Валенсия, Испания

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ МОДЕЛЬНОЙ НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ

**Аннотация.** В работе рассчитаны динамические структурные факторы (ДСФ) модельной двухкомпонентной водородной плазмы, которые хорошо согласуются как количественно, так и качественно с данными численных экспериментов других исследователей [1,2]. Эти характеристики позволяют исследовать как дисперсию волн, распространяющихся в плотной неидеальной плазме, так и их диссипацию [3]. Авторами использован метод моментов, не требующий использования малых параметров для решения задач. Математические основы этого метода позволяют использовать его для различных эффективных потенциалов межчастичного взаимодействия в равновесной плазме. Особенностью данного подхода является необходимость знания выражения для так называемой параметр-функции Неванлинны, которая входит в расчетные соотношения. В данной работе в качестве этой величины использовано соотношение, предложенное ранее в [4].

Важным достоинством данного подхода является возможность определения динамических характеристик системы заряженных частиц по рассчитанным статическим. Последние найдены из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении с помощью потенциалов указанных в работе.

**Ключевые слова:** статический структурный фактор, динамический структурный фактор, метод моментов, формула Неванлинны, параметр-функция Неванлинны, функция потерь, флуктуационно-диссипативная теорема.

### Введение

Экспериментальные исследования неидеальной плазмы очень затруднительны из-за трудностей с созданием и диагностикой такой кулоновской системы. Поэтому современные исследования, в частности динамических характеристик неидеальной плазмы, проводятся путем численного моделирования [2]. При этом, в основном, применяются классические методы численного моделирования такие как, например, метод молекулярной динамики, где квантовые свойства системы учитываются путем введения эффективных потенциалов взаимодействия между частицами.

В данной работе используются три вида потенциалов:

1) потенциал Дойча, в котором учитываются квантово-механические эффекты дифракции

$$\Phi_{ab}(r) = \frac{e_a e_b}{r} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{r}{\lambda_{ab}}\right) \right], \quad (1)$$

2) модифицированный потенциал Кулона I, определенный с помощью функции ошибок

$$\Phi_{ab}(r) = \frac{e_a e_b}{r} \operatorname{erf}\left(\frac{r}{2\lambda_{ab}}\right), \quad (2)$$

3) модифицированный потенциал Кулона II, не обращающийся в бесконечность при  $r \rightarrow 0$

$$\Phi_{ab}(r) = \frac{e_a e_b}{\sqrt{r^2 + \lambda_{ab}^2}}. \quad (3)$$

Здесь  $e_a, e_b$  – заряды частиц сорта  $a$  и  $b$  соответственно, находящихся на расстоянии  $r$  друг от друга,  $\lambda_{ab} = \sqrt{\frac{\beta \hbar^2}{2\pi\mu_{ab}}}$  – длина волны де

Бройля,  $\mu_{ab} = \frac{m_a m_b}{m_a + m_b}$  – приведенная масса.

Одна из главных целей работы – получить и сравнить динамические характеристики двухкомпонентной плазмы с данными компьютерного моделирования других авторов [2]. Для расчетов ДСФ использован метод моментов, позволяющий проводить

вычисления в плотных непertубативных системах заряженных частиц.

Динамический структурный фактор «заряд-заряд» в классическом приближении напрямую связан с обратной продольной диэлектрической функцией плазмы посредством флуктуационно-диссипативной теоремы как:

$$S_{zz}(k, \omega) = \frac{L(k, \omega)}{\pi\beta\phi(k)b(\beta\hbar\omega)}, \quad (4)$$

где  $\beta^{-1} = k_B T$  - температура системы в энергетических единицах,  $k_B$  и  $\hbar$  - постоянные Больцмана и Планка соответственно,  $\phi(k) = 4\pi e^2 / k^2$  - Фурье-образ кулоновского потенциала, функция  $b(x) = (1 - \exp(-x)) / x$  положительна.

С помощью формулы Неванлинны, известной в классической теории моментов [3,4], выразим функцию отклика

$$\varepsilon^{-1}(k, z) = 1 - C_0(k) - \frac{E_3(k, z) + Q(k, z)E_2(k, z)}{D_3(k, z) + Q(k, z)D_2(k, z)}, \quad (5)$$

через функцию класса Неванлинны  $Q = Q(k, z)$ .

После ряда преобразований связанных с полиномами  $D_n(k, z)$  и  $E_n(k, z)$  см. [5, 6], получается выражение для динамического структурного фактора:

$$S_{zz}(k, \omega) = \frac{\omega_p^2}{\pi\beta\phi(k)b(\beta\hbar\omega)} \times \frac{[\omega_2^2(k) - \omega_1^2(k)] \text{Im} Q(k)}{|\omega(\omega^2 - \omega_2^2(k)) + Q(k)(\omega^2 - \omega_1^2(k))|^2}. \quad (6)$$

здесь

$$\omega_1^2 = C_2(k) / C_0(k),$$

$$\omega_2^2 = C_4(k) / C_2(k),$$

и функция класса Неванлинны

$$Q(k) = \frac{i}{\sqrt{2}} \frac{\omega_2^2(k)}{\omega_1(k)}, \quad (7)$$

полученная в [4].

Выражения  $C_\nu(k)$  определены как степенные частотные моменты четной функции потерь (правила сумм):

$$C_\nu(k) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^{\nu-1} \text{Im} \varepsilon^{-1}(k, \omega) d\omega. \quad (8)$$

Вычисление их позволяет записать выражения в виде

$$C_0(k) = \frac{k_{De}^2}{k^2} S_{zz}(k), \quad k_{De}^2 = 4\pi n_e e^2 \beta,$$

$$C_2 = \omega_p^2, \quad (9)$$

$$C_4(k) = \omega_p^4 (\zeta_{ab}(k) + K(k) + U(k) + H).$$

Здесь

$$K(k) = \frac{\langle v_e^2 \rangle^2 k^2}{\omega_p^2} + \left( \frac{\hbar}{2m} \right)^2 \frac{k^2}{\omega_p^2},$$

$$H = \omega_p^4 \left( -\frac{1}{6\pi^2 n_e} \int_0^\infty q^2 S_{ei}(q) \zeta_{ei}(q) dq \right),$$

$$U(k) = \omega_p^4 \left( \frac{1}{16\pi^2 n_e} \int_0^\infty q^2 (S_{ee}(q) - 1) \left( Z_{ee}(k, q) - \frac{8\zeta_{ee}(q)}{3} \right) dq \right),$$

$$Z_{ee}(k, q) = \int_{q-k}^{q+k} \zeta_{ee}(p) (q^2 - k^2 - p^2)^2 \frac{dp}{qk^3 p}.$$

Здесь  $S_{zz}(k) = Z_e^2 S_{ee}(k) + Z_i^2 S_{ii}(k) - 2Z_i S_{ei}(k)$ ,

где  $Z_e = -1$ , а  $S_{ab}(k)$  - статические структурные факторы, которые могут быть найдены, например, из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении

$$[7], \quad \Phi_{ab}(q) = \frac{4\pi e^2}{q^2} \zeta_{ab}(q) - \text{Фурье-образ эф-$$

фективного потенциала,  $\langle v_e^2 \rangle = 3 \frac{\theta}{m\beta} F_{3/2}(\eta)$  -

средний квадрат тепловой скорости электронов,  $m$  - их масса,  $F_\nu$  - интеграл Ферми, который определяется как

$$F_\nu(\eta) = \int_0^\infty \frac{x^\nu}{\exp(x - \eta) + 1} dx,$$

где  $\eta = \beta\mu$  - безразмерный химический потенциал системы, он определяется из условия нормировки:

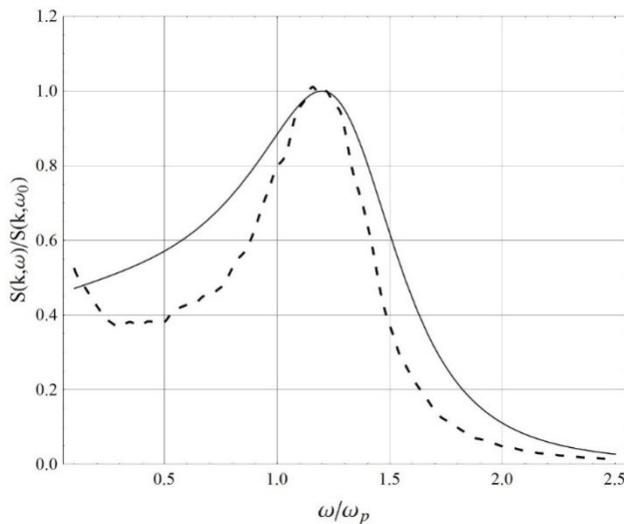
$$F_{1/2}(\eta) = \frac{2}{3} \theta^{-3/2}.$$

Функция - параметр  $Q(k, \omega)$  влияет как на положение, так и на ширину ленгмюровской линии в спектре коллективных возбуждений системы, что проявляется в соответствующей функции потерь или динамическом структурном факторе «заряд - заряд».

Выражение для динамического структурного фактора (6) с функцией параметром

Неванлинны определенной (7), ведет к правильному статическому значению динамического структурного фактора и удовлетворяет всем трем правилам сумм (9).

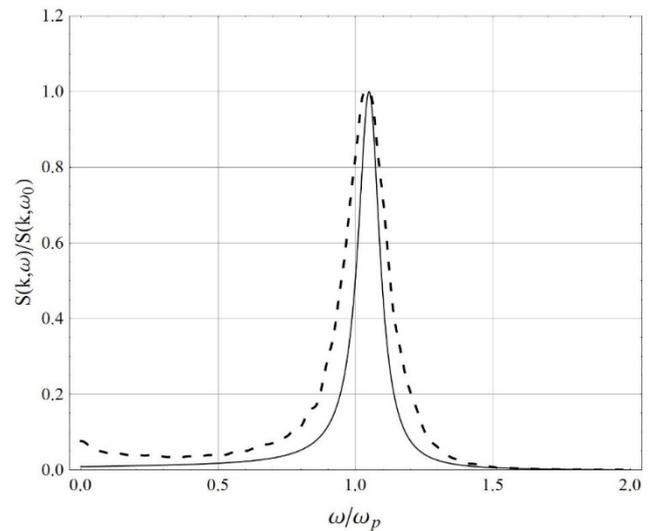
Ниже на рисунках 1-3 показаны приведенные к безразмерному виду ДСФ  $S(k, \omega) / S(k, \omega_0)$  ( $\omega_0$  - максимальное значение) в зависимости от безразмерной частоты  $\omega / \omega_p$  при фиксированных значениях безразмерного волнового числа  $q = ka$  и при различных значениях параметра связи  $\Gamma$  и плотности плазмы  $r_s$ .



Непрерывная линия получена методом моментов для потенциала (1), штриховая линия соответствует результатам моделирования [2].  $\Gamma = 1, r_s = 3.98, ka = 0.7795$ .

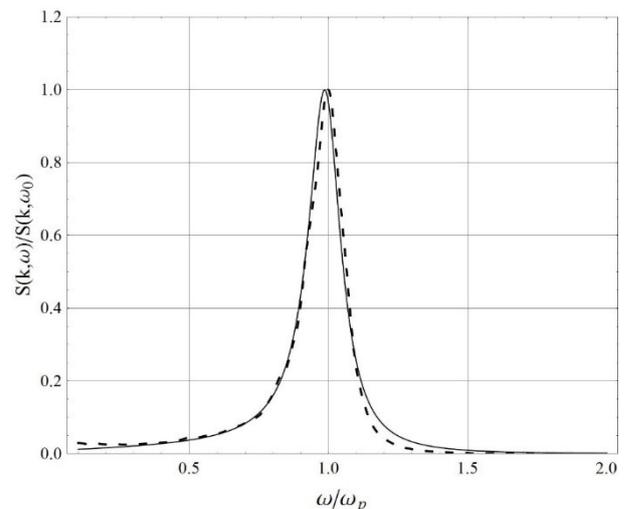
Рисунок 1 – Динамический структурный фактор в сравнении с данными численного моделирования

Результаты сравнивались с данными компьютерного моделирования [2] и хорошо с ними согласуются.



Непрерывная линия получена методом моментов для потенциала (2), штриховая линия соответствует результатам моделирования [2].  $\Gamma = 2, r_s = 2, ka = 0.3898$ .

Рисунок 2 – Динамический структурный фактор в сравнении с данными численного моделирования



Непрерывная линия получена методом моментов для потенциала (3), штриховая линия соответствует результатам моделирования [2].  $\Gamma = 4, r_s = 1, ka = 0.3898$ .

Рисунок 3 – Динамический структурный фактор в сравнении с данными численного моделирования

### Заключение

Как видно из рисунков, метод моментов позволяет с большой точностью количественно и качественно воспроизводить имеющиеся данные численного моделирования, в рамках которых были определены динамические структурные факторы, при использовании различных эффективных потенциалов (1) – (3).

Таким образом, продемонстрирована возможность продуктивного использования классического метода моментов для анализа данных численного моделирования динамических свойств плотных кулоновских систем.

Как известно, динамические структурные факторы позволяют определять электродинамические характеристики системы. К примеру, зная положения пиков динамического структурного фактора или функции потерь на оси абсцисс (при фиксированных значениях волнового числа  $k$ ) нетрудно определить дисперсию волн, а ширина динамического структурного фактора на полувысоте пропорциональна декременту диссипации этих волн.

### Благодарности

Работа поддержана грантом Министерства образования и науки Республики Казахстан № AP05132333.

### Список литературы

1. Morozov I., Reinholz H., Röpke G., Wierling A. and Zwicknagel G. Molecular dynamics simulations of optical conductivity of dense plasmas // Phys. Rev E. – 2005. – Vol.71. – P. 066408 – 066420.
2. Pschiwul T. and Zwicknagel G. Numerical simulation of the dynamic structure

factor of a two – component model plasma. // Journal of Physics A: mathematical and general. Contrib. PlasmaPhys. - 2003. – Vol. 43, №. 5- 6. – P. 393-397.

3. Архипов Ю.В., Аскарулы А.А., Ашикбаева А.Б., Буртебаева А., Грушевская Е.А., Дубовцев Д.Ю., Лябухина К.О., Нурсейтова М., Сызганбаева С.А., Х. Ара, Ю. Колома, Ткаченко И.М. О коллективных процессах в плотной кулоновской однокомпонентной плазме // Журнал проблем эволюции открытых систем. – 2017. – Вып.19, Т. 1. – С.42-46.

4. Yu. V. Arkhipov, A. Askaruly, A. E. Davletov, D.Yu. Dubovtsev, Z. Donkó, P. Hartmann, I. Korolov, L. Conde, I. M. Tkachenko Direct Determination of Dynamic Properties of Coulomb and Yukawa Classical One-Component Plasmas // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 119 – P. 045001.

5. Akhiezer N.I. The Classical Moment Problem. - New York: Hafner, 1965. – 253 p.

6. Igor M. Tkachenko, Yu.V. Arkhipov, A. Askaruly. The Method of Moments and its Applications in Plasma Physics (Lambert, Saarbrücken, 2012) 125 pp.

7. Arkhipov Yu.V., Ashikbayeva A.B., Askaruly A., Voronkov V.V., Davletov A. E., Tkachenko I.M. Static structural properties of nonideal plasmas // Международная научная конференция «Актуальные проблемы современной физики», - Алматы, 2013. - С. 171.

*Принято в печать 10.05.2018*

Ю.В. Архипов<sup>1</sup>, А. Аскарулы<sup>1</sup>, А.Б. Ашикбаева<sup>1</sup>,  
Д.Ю. Дубовцев<sup>1</sup>, Н. Мурсал<sup>1</sup>, С.А. Сызганбаева<sup>1</sup>, И.М. Ткаченко<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;  
<sup>2</sup>Валенсийский политехнический университет, Валенсия, Испания

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ МОДЕЛЬНОЙ НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ

**Аннотация.** В работе рассчитаны динамические структурные факторы (ДСФ) модельной двухкомпонентной водородной плазмы, которые хорошо согласуются как количественно

но, так и качественно с данными численных экспериментов других исследователей [1,2]. Эти характеристики позволяют исследовать как дисперсию волн, распространяющихся в плотной неидеальной плазме, так и их диссипацию [3]. Авторами использован метод моментов, не требующий использования малых параметров для решения задач. Математические основы этого метода позволяют использовать его для различных эффективных потенциалов межчастичного взаимодействия в равновесной плазме. Особенностью данного подхода является необходимость знания выражения для так называемой параметр-функции Неванлинны, которая входит в расчетные соотношения. В данной работе в качестве этой величины использовано соотношение, предложенное ранее в [4].

Важным достоинством данного подхода является возможность определения динамических характеристик системы заряженных частиц по рассчитанным статическим. Последние найдены из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении с помощью потенциалов указанных в работе.

**Ключевые слова:** статический структурный фактор, динамический структурный фактор, метод моментов, формула Неванлинны, параметр-функция Неванлинны, функция потерь, флуктуационно-диссипативная теорема.

**Ю.В. Архипов<sup>1</sup>, Ә. Асқарұлы<sup>1</sup>, Ә.Б. Ашықбаева<sup>1</sup>,  
Д.Ю. Дубовцев, Н Мұрсал<sup>1</sup>, С.А. Сызғанбаева<sup>1</sup>, И.М. Ткаченко<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>*Аль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан;*  
<sup>2</sup>*Валенсия политехникалық университеті, Валенсия, Испания*

## **ИДЕАЛДЫ ЕМЕС ҮЛГІЛІК ПЛАЗМАНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ФАКТОРЛАРЫ**

**Анотация.** Бұл жұмыста басқа зерттеушілердің сандық экспериментінен алынған нәтижелермен саны жағынан да және сапасы жағынан да жақсы үйлесетін үлгілік екікомпонентті сутекті плазманың динамикалық құрылымдық факторлары (ДҚФ) есептелінген [1, 2]. Бұл сипаттамалар идеалды емес тығыз плазмада таралған толқындардың дисперсиясын, оған қоса, олардың диссипациясын зерттеуге мүмкіндік береді [3]. Авторлар тапсырманы есептеу үшін қажетті кіші параметрлердің қолданылуын талап етпейтін моменттер әдісі қолданған. Бұл әдістің математикалық негіздері оны тепе-тең плазмадағы әртүрлі бөлшекаралық эффективті өзараәсерлесу потенциалдары үшін қолдануға мүмкіндік береді. Берілген әдістің ерекшелігі есептеу қатынастарына енетін Невалинна параметр-функциясына арналған өрнектерді білу қажеттілігі болып табылады. Бұл жұмыста осы шама ретінде жоғарыда көрсетілген қатынас қолданылған [4].

Берілген әдістің маңызды ерекшелігі зарядталған бөлшектер жүйесінің динамикалық сипаттамаларын есептелінген статикалық факторлары бойынша анықтау мүмкіндігі болып табылады. Олар гиперцепті жуықтаумен алынған Орнштейн-Цернике тендеулерінің шешімдерінен жұмыста берілген потенциалдардың көмегімен табылған.

**Түйін сөздер:** статикалық құрылымдық фактор, динамикалық құрылымдық фактор, моменттер әдісі, Невалинна өрнектері, Невалинна параметр-функциясы, шығын функциясы, флуктуациялық-диссипативті теорема.

**Yu.V. Arkhipov<sup>1</sup>, A. Askaruly<sup>1</sup>, A.B. Ashikbayeva<sup>1</sup>,  
D.Yu. Dubovtsev<sup>1</sup>, N. Mursal<sup>1</sup>, S.A. Syzganbayeva<sup>1</sup>, I.M. (Tkachenko)<sup>2</sup>**  
*<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Almaty, Kazakhstan;  
<sup>2</sup>Polytechnic university of Valencia, Valencia, Spain*

## **DYNAMIC STRUCTURAL FACTORS OF THE MODEL NONIDEAL PLASMA**

**Abstract.** In this work, dynamic structural factors (DSFs) of the model two-component hydrogen plasma were calculated. They are in good agreement both quantitatively and qualitatively with the data of numerical experiments of other researchers [1, 2]. These characteristics make it possible to investigate both the dispersion of waves propagating in a dense nonideal plasma and their dissipation [3]. The authors used the method of moments, which does not require the use of small parameters for solving problems. The mathematical foundations of this method make it possible to use it for various effective interparticle interaction potentials in an equilibrium plasma. A special feature of this approach is the necessity to know the expression for the so-called Nevanlinna parameter-function, which is included in the calculation relations. In this paper, the ratio used is the one, which was proposed earlier in [4].

An important advantage of this approach is the ability to determine the dynamic characteristics of a system of charged particles using the calculated static characteristics. The latter were found from the solution of the Ornstein-Zernike equation in the hyper-netted chain approximation using the potentials indicated in this

**Keywords:** static structure factor, dynamic structure factor, method of moments, Nevanlinna formula, Nevanlinna parameter-function, loss function, fluctuation-dissipative theorem.

**В.В. Проняев**

ООО «Цвет» (издательская и научная деятельность), г. Воронеж, Россия  
e-mail: [orion22@box.vsi.ru](mailto:orion22@box.vsi.ru)

## К ВЗАИМОСВЯЗИ ОТКРЫТЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ОНДС) С МАТЕМАТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В АСПЕКТЕ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

**Аннотация.** В статье с целью ответов на некоторые вопросы квантовой механики (в первом приближении), например, почему сейчас во Вселенной обнаруживается вещества больше чем антивещества?; почему гравитация является такой слабой силой? и др. — предлагается для рассмотрения модельное предложение исходящее из некоторой связи векторных расслоений и классов Чженя и Тодда над схемой  $X$  во взаимосвязи с теоремой Гротендика-Римана-Роха с известной теорией Гамильтона в контексте рассмотрения закономерностей возникновения и эволюции открытой неравновесной динамической системы (ОНДС) при условии баланс потоков энергии, вещества и энтропии. При этом положено, что детерминизм (а не вероятностные аспекты) играет главную роль. Рассматриваются такие области математики как каноническая теория возмущений, восходящая к Н.Н. Нехорошеву с диффузией В.И. Арнольда, статистическая механика, теорема об «острие клина» Н.Н. Боголюбова, квантовая механика (собственно, как хотя бы частично прийти к её законам с позиции ОНДС), КЦК Р. Пенроуза и др. Это предложение может позволить в дальнейшем эффективно, на основе взаимопроникновения этих областей есть основной структурный элемент нашей природы.

**Ключевые слова:** схема, Гамильтон, класс, топология, взаимопроникновение, динамика, уравнения, Д-энтропия, ОНДС.

### Введение

В последнее время идёт довольно активное взаимопроникновение идей, методов, достижений в различных физико-математических областях и это в первую очередь должно найти применение в различных областях знаний, например, для решения различных математических задач, задач квантовой механики, нанотехнологиях и т.д. В аналогичном аспекте ранее, на страницах данного журнала была опубликована статья [1], где обосновывается связь Д-энтропии (характеризующей изменение внутренней энергии системы при совершении над ней работы по её перемещению и обладающей иерархией) с некоторыми задачами тысячелетия. Данная статья является в некотором роде её продолжением с учётом изучения материи с позиции ОНДС (открытой неравновесной динамической системы), в которой утверждается позиция детерминизма в построении физической картины мира на страницах данного журнала в статье [2]. При этом имеем гармонию с внешними ограничениями, которая достигается благо-

даря балансу для ОНДС потоков энергии, вещества и энтропии. Здесь важно, что законы системы определяется законами динамики их элементов с учётом принципа перехода от «простого к сложному» с дальнейшим построением физической картины мира. Поэтому для эффективного построения физической картины мира необходимо соответствующее математическое «наполнение» из различных областей математики, что отчасти и постараемся здесь реализовать. Остальные известные положения из статьи [2], будут приводиться по ходу изложения материала.

Заметим, что, известная теория Гамильтона обеспечивает связь с объединением в единые целые концепции классической физики с квантовой механикой. Также напомним, что в статье [3], при рассмотрении квантовой теории поля и матрицы рассеяния Н.Н. Боголюбова, в уравнения движения частиц, вместо плотности гамильтониана  $H$  рассматривается только четыре эрмитовых оператора  $H^*$ , которые в частности играют роль энергии. Вспомним известный приём

— законы подобия, используемые например А.Н. Колмогоровым (как аналог), для описания свойств развитой турбулентности, ренормгруппы (методы статистической механики и квантовой теории поля).

В общем данная статья и «навсегда» вышеуказанными подходами с целью как прийти, хотя бы частично, к законам квантовой механики. Как известно, из университетского курса теоретической механики [4], теория Гамильтона «соседствует» рядом с основной теоремой устойчивости Ляпунова. Здесь напомним всего лишь один самый главный «фрагмент» этой теоремы, это: «...что можно найти знакоопределённую функцию  $V$ , производная которой  $V'$  в силу этих уравнений была бы или знакопостоянной противоположного знака с  $V$  или тождественно равной нулю,...

**Лемма:**

Основные уравнения теории Гамильтона связаны с некоторыми математическими объектами из теории пересечений восходящей к У. Фултону зависимостью (8) — см. ниже.

**Доказательство**

Напомним из теории пересечений, восходящей к У. Фултону [5] следующую точную последовательность векторных расслоений над схемой  $X$ (многообразием) -

$$0 \rightarrow E' \rightarrow E'' \rightarrow \dots \rightarrow E''' \rightarrow 0 \quad (1).$$

Заметим, что «фрагмент» схемы (1) — " $E' \rightarrow E'' \rightarrow \dots \rightarrow E'''$ ", здесь однозначно (условно) можно рассматривать как некоторое возмущённое движение (состояние), но понятно именно в контексте устойчивого состояния системы (количество "E" здесь может быть от 3 и более), ведь имеем нули справа и слева (см. выше "фрагмент" теоремы устойчивости Ляпунова — "тождественно равной нулю"). Также имеем:  $dV/dt = T + U$ ;  $dV/dt = -H(t, q_1, \dots, q_k, dV/dq_1, \dots, dV/dq_k)$ ;  $H = T - U$ ;  $dpi/dt = -dH^*/dq_i$  (2), здесь:  $q$  — координаты,  $T$  и  $U$  — соответственно кинетическая и потенциальная энергия,  $H$  — полная энергия системы,  $p$  — импульсы,  $(H^* - H)$  — есть возмущающая сила. Дифференциальное уравнение (2) — есть уравнение Гамильтона.

Для точной последовательности векторных расслоений над схемой  $X$ , где строят

операции классов Чженя, имеем многочлен Чженя:

$$ci(E) = ci(E')ci(E''),$$

$$\text{также } ci(E) = \prod(1 + ai), \quad i=1$$

где  $a_1, \dots, a_r$  называют корнями Чженя расслоения  $E$ .

Также имеем, при векторном расслоении  $E$  ранга  $r$ :

$$ch(L E) = cr(E)1/td(E) \quad (3),$$

здесь  $ch(L E)$  — характер Чженя с учётом двойственного расслоения  $E$  и внешней степени,  $td(E)$  — класс Тодда, при этом

$$ch(E) = exp(ai) \quad (4)$$

и в частности  $ch(E) = ch(L E)$ .

Если  $X$  — неособое, т.е. гладкое над основным полем  $n$ -мерное многообразие с касательным расслоением  $T_x$ , то существует класс Тодда многообразия  $X$  — это  $td(T_x)$ , или иногда пишут  $Td(X)$  вместо  $td(T_x)$ , а если  $j : X' \sim X$  — собственный бирациональный морфизм, являющийся изоморфизмом вне  $Z$  входящим в  $X$ , то

$$Td(X) = jTd(X') + y \quad (5),$$

где  $y$  расположен на  $Z$ . В частности,

$$Tdk(X) = jTdk(X') \quad (6),$$

для  $k > \dim Z$ .

Заметим, что

$$ci(E) = 0 \quad (7),$$

если  $i > rank(E)$ .

Как уже отмечалось  $V' = 0$  (см. "фрагмент" теоремы устойчивости Ляпунова), а при сопоставлении(сравнении) с выражением (7) имеем сравнение:  $V' \sim ci(E)$ ; также можно провести другие сопоставления(сравнения): из (2) и (7) имеем:

$$ci \sim -H(t, q, \dots, q_k, dV/dq, \dots, dV/dq_k) = 0 \quad (7').$$

Далее характер Чженя — выражение (4) с корнями Чженя вполне можно сопоставить с координатами  $q_i$  в контексте уравнения (2). Вообще имеем сопоставление(сравнение):

$$dq_i \sim ch(L E) \quad (7''),$$

и далее с учётом выражений (3), (7') и (7'') очевидно, что

$$dpi/dt = -dH^*/dq_i \sim td(E) \quad (8).$$

Лемма доказана.

Здесь первые несколько членов класса Тодда таковы:

$$td(E) = 1 + 1/2c_1 + 1/12(c_1c_1 + c_2) + 1/24(c_1c_2) + 1/720(-c_1 + 4c_1c_1c_2 + 3c_2c_2 + c_1c_3 - c_4) + \dots \quad (9).$$

Ещё раз напомним, что вышеуказанные выкладки, кроме выражений, связанных с теорией Гамильтона, используются в известной теории пересечений восходящей к У. Фултону.

При этом заметим, что члены выражения (9) связаны с числами Бернулли  $B_k$ .

### Модельное предложение:

Предлагается вместо известных зависимостей теории Гамильтона, использовать связанные с ней исследования векторных расслоений над схемой  $X$ , классов Чженя и Тодда, теоремой Гротендика-Римана-Роха (в дальнейшем "ГРР") как "инструментарий" — например выражение (8), для альтернативного рассмотрения некоторых положений из математических областей (см. ниже) во взаимосвязи с ОНДС для эффективного решения многих задач.

### Доказательство

Здесь отметим, что при доказательстве не ставится задача более глубокого и детального анализа при рассмотрении различных областей математики (эти темы должны более детально рассматриваться в других статьях) в контексте взаимопроникновения идей и методов, а всего лишь намечаются некоторые "реперные точки" для исследования согласно нижеперечисленным пунктам (в основном представлены работы Н.Н.Боголюбова(ст.)) и всё это во взаимосвязи с ОНДС в контексте задействования основных положений квантовой механики.

1. Здесь напомним из [2] следующую цепочку (систему) ОНДС:  $MT \rightarrow SC \rightarrow HC \rightarrow OHC$ , где первые три составляющие этой цепочки соответственно есть материальные точки, структурированные частицы и неравновесные системы. Энергия внешнего поля идёт как на изменение энергии движения ОНДС, так и на изменение энергии относительных движений  $HC$  и их  $SC$  (с иерархией энергии).

Эту цепочку с ОНДС очевидно как модель можно сопоставить с "фрагментом возмущения" схемы (1) в контексте теории устойчивости Ляпунова, т.е. к цепочке с ОНДС справа и слева можно добавить нули.

Заметим, что рекуррентное уравнение для энергии, характеризующее ОНДС представляют как:

$ER = ER \{ER-1 \{ER-2 \dots \{E_0\}\}\}$ , где  $R$  есть координаты МТ.

При этом также имеем для ОНДС,  $HC$ ,  $SC$ ,  $MT$  цепочки, приращения её энергии и энтропии, причём приращение энергии очевидно возможно сопоставить с выражением (8) и (9).

2. Напомним далее из [6], что одним из важных методов квантовой механики по части приближённого решения уравнения Шрёдингера является метод теории возмущений. Это, когда оператор Гамильтона представляется в виде:  $H = H^* + V$ , где  $H^*$  — невозмущённый оператор и  $V$  — оператор возмущения (с учётом симметрии).

Далее, исходя из выражения (8), имеем в чисто условной записи следующее базовое соотношение (скорее "собирающее"):

$$td(E) = f(H) \quad (10),$$

где  $f$  — некоторая функция. Здесь в принципе " $H$ " может быть заменено на  $H$ .

В статье [2] отмечается (с приведением соответствующих источников), что модель ОНДС хорошо согласуется и с возможным объяснением природы Эйнштейна-Подольского-Розена парадокса. В смысле — если материя делима до бесконечности, то элементы распада любой частицы будут обладать внутренней энергией с невозможностью точным измерением координат и импульсов любого элемента распада. В этом контексте того, что стохастический и детерминированный механизмы нелокальной эволюции не могут рассматривать квантовую частицу, как материальную точку, а должны рассматривать её, как материальное поле, чтобы не противоречить здесь СТО, т.е. законы микро- и макромира согласованы (кстати сами числа Бернулли  $B_k$  уходят в бесконечность).

В этом аспекте, для дальнейшего исследования, например с вышеизложенным и совместно по части известной неопределённости Гейзенберга и квантово-волнового дуализма, предлагается следующая тема для более глубокого анализа с попутно ставящимися новыми задачами. В выражении (9) представлены чередование разных "фрагментов" положительных и отрицательных ("аналоги" импульсов, координат, времени и энергии "интегрированных" между собой), т.е. некое весьма динамичное и по-

стоянно меняющееся взаимодействие микрообъектов, которое и приводит вообще к смещению координат. Понятно, что энергетическое "наполнение" частиц — разное и меняющееся, т.е. следуя известному высказыванию В.А.Фока — в зависимости от внешних условий существует потенциальная возможность проявлять себя либо как волна, в нашем случае беря во внимание например относительно большой "фрагмент" ("большое" материальное поле), или их будет несколько. Либо как частица ("малое" материальное поле) — понятно "фрагмент" поменьше.

Заметим, что в выражении (9), присутствующие там в несколько "интегрированном" виде числа Бернулли, которые сами по себе "просочились" (положительные и отрицательные) довольно из известной рекуррентной формулы из теории чисел, т.е. можно сделать вывод, что в нашем Мироздании все микрообъекты также "просочились" и "ведут" себя определённым образом. Из выражения (9) следует, что числа Бернулли (в "интегрированном" виде) постепенно становятся сложнее, т.е. если рассматривать его как некую модель, то это согласуется с одним из важных вопросов космологии — о низкой энтропии вначале образования Вселенной и далее постепенно повышающейся. А положительным и отрицательным "фрагментам" выражения (9) возможно объяснить, например, причину чередований сильного и слабого тока при образовании молнии (физика атмосферы).

Приведём здесь некоторое фундаментальное уравнение динамики системы ОНДС (с остальными более подробно можно ознакомиться в статье [2]), характеризующее движение системы:

$MNV'N = -F - aNVN$ , его можно переписать в виде:  $MNV'N + F + aNVN = 0$ , где  $MN$  — масса числа ( $N$ ) МТ в системе;  $VN$  — скорость ЦМ (центра масс);  $F$  — сила, приложенная к ЦМ системы;  $aN$  — коэффициент, определяющий изменение внутренней энергии.

Заметим, что числа Бернулли как известно применяются в различных областях математики, в т. ч. и алгебраической топологии: вспомним известную спектральную последовательность Адамса с её веществен-

ным и комплексным аналогами (в некотором роде связь геометрических и алгебраических объектов). А это "выход" на измерения пространства-времени (какое их количество с учётом всех теорий, в т.ч. и М-теории по прежнему остаётся открытым. Необходимы весьма сложные экспериментальные подтверждения, например 11- мерности Вселенной). Пока из выражения (9) возможно всего лишь предположить, что эти связанные между собой измерения в динамическом аспекте с учётом модели ОНДС и участвуют в "рождении" частиц.

Вопрос1: Возможно ли задействуя выражения (5) и (6), усилить известное высказывание В.А.Фока(см.выше) по части нахождения конкретной связи с известным неравенством Белла(теоремой Белла)? Оно возникает при анализе эксперимента типа эксперимента Эйнштейна -Подольского-Розена из предположения, что вероятностный характер предсказаний квантовой механики объясняется неполным описанием, т.е. наличием каких-то скрытых параметров.

3. Далее, рассмотрим известную каноническую теорию возмущений восходящую к результатам Н.Н.Нехорошева и В.И.Арнольда [7], где резонансы рассматривают не как препятствие, а как "подспорье". При этом за основу берётся гамильтониан в виде:

$$H(p, q) = h(p) + gf(p, q),$$

где  $(p, q)$  — обозначают переменные действия,  $g$  — малый параметр,  $h, f$  — функции.

При рассмотрении этой теории с гамильтонианом, имеют дело с тремя главными параметрами:  $T, s$  и  $r$ , связанные соответственно с периодом линейного потока на торе, временем применимости оценки устойчивости и радиусом зоны влияния тора.

Схема (1), а также цепочка ОНДС может расширить дальнейшие исследования в этой теории. Например, эту схему возможно рассматривать как топологический объект с резонансной —  $E$  траекторией и  $E', E''$  и т.д. — траекториями перехода, или "переключения", т.е. не резонансными. С помощью параметров выражения (9) —  $c_1, c_2, c_3, \dots$  в контексте параметров  $T, s, r$  (см. Выше), возможно "подобрать" нужную модель для рассмотрения. Здесь имеет место известная диффузия В.И. Арнольда с рассмотрением

шара  $V$  с центром, радиусом  $r$  и минимальным периодом  $T$  лежащим внутри этого шара с рациональной точкой. У этой модели как известно есть многие "дефекты". По выражению П. Лошака из [7], например, нет описания "дрейфа" в нерезонансную область. Используя векторные расслоения схемы (1) —  $E'$ ,  $E''$  и т.д., которые в принципе возможно обосновать как поверхности "переключения", т.е. "дрейф" в нерезонансную область, можно будет построить довольно стройную картину движения частицы внутри шара и всё это в аспекте ступеней иерархической лестницы материи с использованием фундаментальных уравнений динамики ОНДС, например, с рассмотрением свойств динамики системы потенциально взаимодействующих одинаковых МТ. Ранее для выражения (9) уже сообщалась информация, когда возможно рассматривать в контексте высказывания В.А. Фока, что можно считать за частицу. О переходе к шару будет рассмотрено в дальнейшем изложении.

Известная теорема ГРР, где присутствует комбинация характеров и классов Чженя и Тодда соответственно для собственного морфизма  $f: X \sim Y$  неособых многообразий с касательными расслоениями  $T_y$  и  $T_x$  имеет:

$$ch(f^*a)td(T_y) = f^*(ch(a)td(T_x)) \quad (11),$$

для любого элемента "a" группы Гротендика векторных расслоений или когерентных пучков над  $X$ . Здесь геометрия деформации к нормальному конусу и приводит к доказательству этой теоремы. Эта теорема ГРР оказала огромное влияние на многие разделы математики, например, известная К-теория явилась следствием этих работ. Это к тому, что взаимопроникновение может существенно продвинуть решение многих проблем, например, по части известной диффузии В.И. Арнольда.

Далее представим некоторые соображения по части того, как перейти от векторных расслоений над схемой  $X$  (помятуя при этом деформацию к нормальному конусу) — к шару. Ведь в каноническая теория возмущений с диффузией В.И. Арнольда рассматривается шар.

Для обоснования перехода схемы  $X$  (это напомним конечная формальная сумма

неприводимых подмногообразий с целыми коэффициентами) с вышеуказанным его условно скажем — "топологическим наполнением" к шару — самое время напомнить известную теорему Н.Н. Боголюбова об "острие клина" [8].

Вкратце, это когда, имеют обобщённые функции медленного роста, из которых одна запаздывающая, а другая опережающая, т.е.

$$Fr(x) = 0 \text{ вне } V^+; Fr(x) = 0 \text{ вне } V^-;$$

здесь  $V^+$  и  $V^-$  — световые конуса, а их преобразование Фурье  $Fr(p)$  и  $Fa(p)$  — совпадают в шаре  $|p| < R$ , то тогда существует функция  $F(z)$ ;  $z = (z_0, z_1, z_2, z_3)$  голоморфная в объединении некоторых областей связанными с вещественными числами. Эта теорема появилась при обосновании дисперсионных соотношений в квантовой механике.

Заметим, что есть обобщения теоремы об "острие клина" Н.Н. Боголюбова, где, например, строят в пространстве комплексных переменных оболочки голоморфности  $H(D)$ . И самое главное шар можно заменить на любое открытое множество и вместо световых конусов можно взять открытые конуса:  $S^+$  и  $S^-$  —  $S^+$  с изменением некоторых условий (более подробно — см. [8]). Короче, здесь есть возможность построения некой взаимосвязи (взаимопроникновения) перехода, например, от шара к схеме  $X$  и наоборот. Очевидно, что здесь можно записать выражение с учётом уравнения динамики ОНДС:

$$Fr(x) = MNV'N + F + aNVN,$$

а далее возможно перейти к функции  $F(z)$  с учётом того, что члены определяющее внешнее поле сил ОНДС, нелинейные и переменные в них не разделяются с условием закона сохранения энергии.

И всё это с учётом ступеней иерархической лестницы материи согласно уравнениям динамики ОНДС как модели, которая здесь вполне применима для построения физической картины мира.

Теорема ГРР, как упоминалось ранее, рассматривается в контексте геометрии деформации к нормальному конусу, т.е. в принципе здесь можно построить некоторые аналогии (зависимости) с "взаимопроникновением" с теоремой "об острие клина", где рассматривают аналогичные световые и от-

крытые конуса. А если учесть, что теорема ГРР предлагает весьма "насыщенное" математическое "наполненные" (см. выше), да ещё с уравнениями динамики ОНДС, то это позволит решать в дальнейшем разные задачи (см. ниже).

4. Ранее, по тексту упоминалась квантовая теория поля с матрицей рассеяния, где вместо плотности гамильтониана  $H$  рассматривают четыре эрмитовых оператора. Одним из приёмов, используемых Н.Н. Боголюбовым, был приём разложения формального оператора  $S$  в ряд и далее с выделением ещё одного оператора  $Q$  при рассмотрении обобщённого гамильтониана.

Но, у нас существует свой ряд, это — (9), при этом памятуя, что матрица рассеяния строится в рамках теории возмущения где присутствует лагранжиан взаимодействия. Но схема (1) с выражением (9), теоремой ГРР и уравнением для энергии НС (более подробно в статье (2)) помогут дать более "наполненную" картину, ведь динамично меняющиеся "фрагменты" (положительные и отрицательные) в (9) — возможно также рассматривать как "взаимодействия". А вышеупомянутые числа Бернулли  $B_k$  можно рассматривать как некий фактор "просачиваемости" конкретных процессов в контексте ступеней иерархической лестницы материи представляющей собой ОНДС.

5. Данный подход возможно применить к задачам нелинейной механики, например при рассмотрении теории возмущения устойчивых квазипериодических решений неконсервативных систем дифференциальных уравнений, траектории которых образуют обмотку аналитического тора (это класс динамических систем — динамические потоки, образующие обмотку, где любые траектории на торе есть замкнутые периодические орбиты) во взаимосвязи с методом интегральных многообразий с работами для гамильтоновых систем [9], совместно с рассмотрением действия тора на многообразиях [10]. Ведь используя выражение (10), от классов Тодда возможно перейти к роду Тодда, например при рассмотрении действия тора на многообразиях в т. ч. и в контексте рассмотрения кобордизмов (более подробно в [10]), понятно с переносом проблем нелинейной механики в

топологию и комбинаторику (в контексте торических действий) с задействованием уравнений для энергии ОНДС.

6. Но более всего теория Гамильтона представлена в исследованиях статистической механики, например, процесс установления статистического равновесия в системе, связанной с термостатом [11]. Термостат — это совокупность весьма большого числа гармонических вибраторов с соответствующим уравнением Гамильтона. И здесь представляется возможным рассмотреть гамильтониан взаимодействия системы  $S$  и термостата  $T$ , (см. [11]), через систему пересечений с выражением (10), с векторными расслоениями и деформациями для более детального исследования статистического равновесия.

В кинетической теории и гидродинамике, где Н.Н. Боголюбов рассматривает совокупность  $N$  одинаковых одноатомных классических молекул и здесь как нельзя кстати будет уместно задействование вышеупомянутого уравнения ОНДС из статьи (2) потенциально взаимодействующих одинаковых  $MT$ , заключённых в некотором конечном макроскопическом объёме  $V$ , где динамическая эволюция системы определяется известными каноническими уравнениями с гамильтонианом  $H$ , рассматриваемом как сумму индивидуальных энергий молекул  $T$  и взаимных потенциалов пар молекул  $\Phi$  (см. [11]). По ходу рассмотрения этого подхода, уравнения гидродинамики описывают столкновения микрообъектов на динамическом уровне именно с заменых координат с рассмотрением "медленного" и "быстрого" процесса изменений функций. Через выражение (9) и (10), где представлены "динамические взаимодействия", можно связать эту кинетическую теорию (с гидродинамикой) с теорией пересечения, векторными расслоениями и деформациям, где основную роль играет теорема ГРР с уравнениями динамики ОНДС для более детальных исследований.

7. При исследовании проблем квантовой статистической механики и построении кинетических уравнений на квантовый случай слабого взаимодействия, также за основу берётся гамильтониан, в т.ч. и при рассмотрении сверхтекучести в контексте раз-

вития устойчивости взаимодействия (см. 11]). Всё это можно также исследовать с помощью теории пересечений с весьма устойчивой схемой (1), где векторные расслоения с деформациями с выражениями (9) и (11), а также уравнения динамики ОНДС с входящими туда объектами будут играть роль отталкивания и притяжения между бозонами, т.е. можно будет получить более "насыщенное" математическое "наполнение".

8. С явлением сверхпроводимости связан известный модельный гамильтониан Фрелиха:

$$H = H_e + HF + HDF \quad (12),$$

где в правой части представлены гамильтонианы, образуемые ферми-операторами, бозе-операторами, объёмом, энергией фотона и электрона с константой связи в конкретных комбинациях (см. [11]). Всё это послужило в дальнейшем развитию направлению "аппроксимирующего" гамильтониана. В связи с тем, что как известно математическое изучение гамильтониана Фрелиха весьма сложно, поэтому как и в предыдущих пунктах предлагается явление сверхпроводимости рассмотреть с позиции теории пересечений, поскольку применение теоремы ГРР с выражением (11) имеет довольно широкое использование в разных разделах математики, см. подробнее в [3] и здесь "взаимопроникновение" с объектами выражения (12), памятуя о выражении (10) и уравнениях динамики ОНДС, возможно даст значительный эффект в решении этой проблемы.

9. Р. Пенроуз в своей КЦК (Конформной Циклической Космологии) [12], ищет путь, как от постепенно повышающейся энтропии очередного эона, снова перейти к минимальной энтропии. Эон — это "история" очередной расширяющейся Вселенной (если принять во внимание, что Вселенных было множество). Схема (1) с цепочкой ОНДС в принципе даёт решение этого вопроса. Ведь эти схему и цепочку можно представить для этого случая как:

$$E_{\min} \sim E' \sim E \sim E'' \sim \dots \sim E_{\min},$$

где  $E_{\min}$  — минимальная энтропия, т.е. почти нули справа и слева, остальные  $E$  — промежуточные энтропии очередного эона.

Вопрос 2: Можно ли воспользоваться приведёнными здесь теоретическими изы-

сканиями в решении некоторых проблем нанотехнологий? Основная проблема нанотехнологий — как заставить молекулы группироваться определённым способом (в смысле самоорганизовываться) для получения материалов с нужными свойствами. И здесь несомненно именно иерархия ОНДС с её уравнениями динамики должны сыграть свою ведущую роль. Поскольку в природе эта иерархия сил ОНДС выстраивается в соответствии с молекулярными, атомными и другими силами. Ведь однозначно в успехе развития нанотехнологий лежит более глубокие наработки в теоретических изысканиях квантовой механике и сопутствующих областях знаний.

### Заключение.

Выводы приведены в контексте известных многочисленных проблем квантовой механики (конечно в первом приближении и с попыткой их объяснить) с позиции сопоставления с математическими объектами и вышеизложенных логических обоснований:

а) решения некоторых проблем излагается в пунктах 2 и 9 (см. выше), в остальных пунктах приводится необходимая информация для проведения дальнейших изысканий по другим проблемам;

б) из модельного предложения, где одну из основных ролей играют числа Бернулли  $B_k$ , которые как известно участвуют в "формировании" простых иррегулярных и регулярных чисел, при этом примерно, из статистических данных, иррегулярных чисел процентов на 20 меньше чем регулярных, а они "косвенно" ("опосредованно"), в смысле "как подразумевается", всё-таки присутствуют во "фрагментах" выражения (8) и более развёрнуто в (9), а также беря во внимание "энергетические наработки" Д-энтропии и ОНДС — подтверждается, что действительно во Вселенной вещества больше чем антивещества. Ведь на "формирование" иррегулярных простых чисел "энергии" затрачивается больше чем на регулярные простые числа (сложнее условия этого "формирования"). А самое главное в Д-энтропии и ОНДС — это выполнение закона сохранения энергии. Поэтому и наблю-

дается во Вселенной такой дисбаланс вещества и антивещества.

в) в выражении (9) с моделью ("цепочкой") ОНДС, определяющей наиболее общие динамические характеристики материи, определённые "фрагменты" связаны между собой знаками "+" и "-", а именно сами "фрагменты" проблематично "разделить" («малое» материальное поле), т.е. здесь имеем соответственно, что гравитации действительно присуща относительно слабая сила, а в расстоянии планковского масштаба, т.е. где проблематично "разделить фрагменты" — там присутствуют силы значительно больше.

### Список литературы

1. В.В. Проняев, К взаимосвязи Д-энтропии с двумя задачами тысячелетия: P/NP и уравнения Навье-Стокса с позиции частичного системного подхода, ж/ПЭОС, Т. 19, вып.2(июль-дек.), 2017, с. 88 ... 98.
2. В.М. Сомсиков, Открытые неравновесные динамические системы, ж/ПЭОС, Т.19, вып.2(июль-дек.), 2017, с. 33 ... 47.
3. В.В. Медведев, "Н.Н. Боголюбов и матрица рассеяния", ж/УМН, 1994, Т.49, вып.5(299), сентябрь-октябрь, с. 86.
4. Н.Г. Четаев, Теоретическая механика, М., Наука, 1987, с. 237...246.

5. У. Фултон, Теория пересечений, перевод с англ. В.И. Данилова, М., Мир, 1989, с. 64...78, 354...375, 442, 443.

6. М.И. Петрашень, Е.Д. Трифонов, Применение теории групп в квантовой механике, М., Эдиториал УРСС, 2000, с.214.

7. П. Лошак, Каноническая теория возмущений, ж/ УМН, 1992, Т.47, вып.6(288), ноябрь- декабрь, с.59...128.

8. В.С. Владимиров, В.В. Жаринов, А.Г. Сергеев, Теорема об "острие клина" Боголюбова, её развитие и применения, ж/УМН, 1994, Т.49, вып.5(299), сентябрь-октябрь, с. 47...60.

9. А.М. Самойленко, "Н.Н. Боголюбов и нелинейная механика", ж/УМН, 1994, Т.49, вып.5(299), сентябрь-октябрь, с. 120,

10. В.М. Бухштабер, Т.Е. Панов, Топологические действия в топологии и комбинаторике, М., МЦНМО, 2004, с. 127, 142, 143, 236...239.

11. Н.Н. Боголюбов(мл.), Д.П. Санкович, "Н.Н. Боголюбов и статистическая механика", ж/УМН, 1994, Т.49, вып.5(299), сентябрь-октябрь, с. 22...26, 30, 31, 34...42.

12. Р. Пенроуз, Циклы времени, новый взгляд на эволюцию Вселенной, перевод с англ. А.В. Хачояна, М., Бином, 2014, с. 18, 19, 209

*Принято в печать 13.03.2018*

**В.В. Проняев**

ООО «Цвет» (издательская и научная деятельность), г. Воронеж, Россия  
e-mail: [orion22@box.vsi.ru](mailto:orion22@box.vsi.ru)

## **К ВЗАИМОСВЯЗИ ОТКРЫТЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ОНДС) С МАТЕМАТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В АСПЕКТЕ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА**

**Аннотация.** В статье с целью ответов на некоторые вопросы квантовой механики (в первом приближении), например, почему сейчас во Вселенной обнаруживается вещества больше чем антивещества?; почему гравитация является такой слабой силой? и др. — предлагается для рассмотрения модельное предложение исходящее из некоторой связи векторных расслоений и классов Чженя и Тодда над схемой  $X$  во взаимосвязи с теоремой Гротендика-Римана-Роха с известной теорией Гамильтона в контексте рассмотрения закономерностей возникновения и эволюции открытой неравновесной динамической системы (ОНДС) при условии баланс потоков энергии, вещества и энтропии. При этом положено, что детерминизм (а не вероятностные аспекты) играет главную роль. Рассматриваются такие области математики как каноническая теория возмущений, восходящая к Н.Н. Нехорошеву с диффузией В.И. Арнольда, статистическая механика, теорема об «острие клина» Н.Н. Боголюбова, кван-

товая механика (собственно, как хотя бы частично прийти к её законам с позиции ОНДС), КЦК Р. Пенроуза и др. Это предложение может позволить в дальнейшем эффективно, на основе взаимопроникновения этих областей знаний, решать различные проблемы, например, проблемы нанотехнологий, ведь ОНДС есть основной структурный элемент нашей природы.

**Ключевые слова:** схема, Гамильтон, класс, топология, взаимопроникновение, динамика, уравнения, Д-энтропия, ОНДС.

**В.В. Проняев**

ООО «Цвет» (издательская и научная деятельность), г. Воронеж, Ресей

e-mail: [orion22@box.vsi.ru](mailto:orion22@box.vsi.ru)

## **ӨЗАРА, ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ТЕПЕ-ТЕНДІКСІЗ АШЫҚТЫҒЫ (ДЖТА) ФИЗИКАЛЫҚ ӘЛЕМ БЕЙНЕСІН ДАМУ АСПЕКТІСІ РЕТІНДЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ОБЪЕКТІЛЕРІМЕН**

**Аннотация.** Мақала мақсатында кванттық механиканың кейбір мәселелерінің жауаптары (бірінші жақындақта), мысалы, неге қазір Әлемде анықталған заттарға қарағанда кері әсерлі заттарға көп?; неліктен гравитация әлсіз күш болып табылады? және т. б. — кластық және векторлық қабаттану байланысы белгілі бір модельдік шығыс ұсынысын қарастыру үшін ұсынылып, X схемасында үстінен Чженя және Тодда Гротендика-Риман-Роха өзара байланыс теоремасымен Гамильтон белгілі теориясы, контекстінде пайда болу заңдылықтарын қарау және динамикалық жүйелердің тепе-тендіксіз ашықтығы(джта) эволюциясының балансы энергияның ағын жағдайы, заттар мен энтропия. Бұл ретте тиісті, детерминизм (аспектілер ықтималдылығы) басты рөл атқарады. Мұндай математикалық ауқымдағы канондық тарату ұйытқу теориясы қаралады, В. И. Арноль диффузиясы Н.Н. Нехорошев жаңаланған статистикалық механика, «нақыл клина» туралы теорема Н.Н. Боголюбов, кванттық механика (тегінде, ең болмағанда ішінара келіп, ДЖТА оның заңдар тұрғысынан), КЦК Р. Пенроуза және т. б. Бұл ұсыныс одан әрі тиімді мүмкіндігін беріп, өзара кіру негізінде осы салаларыны білімі, әр түрлі мәселелерді шешуге, мысалы, нанотехнологиялар мәселелері, өйткені ДЖТА біздің табиғатта құрылымдық элементі негіздері бар.

**Түйін сөздер:** схема, Гамильтон, клас, топология, өзара ену, динамикасы, теңдеулер, Д-энтропия, ДЖТА.

**V. V. Pronyaev**

*Open Company "Colour" (publishing and scientific activity), Voronezh, Russia*

e-mail: [orion22@box.vsi.ru](mailto:orion22@box.vsi.ru)

ph. +7 (473) 275-12-90

## **TO CORRELATION OF OPEN NONEQUILIBRIUM DYNAMIC SYSTEMS (ONDS) WITH MATHEMATICAL PLANTS IN ASPECT OF DEVELOPMENT OF THE PHYSICAL PICTURE OF THE WORLD**

**Abstract.** In the give paper from aim answer in some questions quantum mechanic (in first approximation), for example, why at World discover substance bigged better antisubsttance?; why gravitation come that kind weak force? And ect the modelling sentence start with some connection of vectorial stratifications and classes of Chzhenya and Todd over the scheme of X in correlation with the theorem of Grotendika-Riman-Rokh with the known theory of Hamilton in a context of reviewing of regularities of origin and evolution of open nonequilibrium dynamic system (ONDS) in which we had balance of streams of an energy, substances and entropies, thus a determinism are offered for reviewing (instead of probability aspects) stared. Such areas of mathematics as the canonical theory of perturbations back to N.N. Nekhoroshev with V.I.Arnolda's diffusion, a statistical mechanics, the theorem about "an edge of a wedge" N.N.Bogolyubov, a quantum mechanics (it are

characteristic as at least partially to come to are more its to laws with a position of ONDS), KTsk of the R. Penrose was consider, etc. In the author's opinion it are a sentence will probably allow further effectively, on the basis of interosculation of these fields of knowledge to solve various problems, for example problems of nanoprocess engineerings, after all ONDS are the basic structural element of our nature. The give paper are prolongation of a similar theme in paper earlier publish on pages of the give magazine.

**Keywords:** scheme, Hamilton, class, topology, interosculation, dynamics, equations, D-entropy, ONDS.

**Р.А. Чиженкова**

*Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино, Россия, Московская область*

## **БУТИРИЛХОЛИНЭСТЕРАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ СТРУКТУР МОЗГА ПРИ СВЧ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**Аннотация.** На крысах установлено, что СВЧ облучение, вызывающее перестройки электрической активности коры больших полушарий, приводит к выраженным изменениям со стороны холинэстеразной активности, в частности БХЭ. Повышение уровня активности БХЭ возникает в первые минуты воздействия. Затем эффект определяется длительностью воздействия и элементами адаптации. Сделан вывод об участии БХЭ в развитии электрических реакций мозга на СВЧ облучение.

**Ключевые слова:** электромагнитное облучение, активность мозга, электрическая реакция мозга.

### **Введение**

Интерес к биологическому действию неионизирующей радиации существует у человечества не одно столетие и даже тысячелетие. Однако именно вторая половина XX-ого века ознаменовалась, можно сказать, "информационным бумом" научных исследований данного направления, что специально рассмотрено в недавно вышедшей нашей монографии [6].

Особый интерес при изучении биологических эффектов неионизирующей радиации представляет анализ ее влияния на деятельность головного мозга. В наших приоритетных исследованиях на основе операционных вмешательств и регистрации потенциалов от разных структур головного мозга было доказано, что ведущее значение в развитии электрических реакций мозга на действие данных проникающих факторов принадлежит прямому их влиянию на его структуры [3].

В последующих также приоритетных исследованиях мы обнаружили, что неионизирующая радиация, в частности поле СВЧ, вызывает не столько частотные изменения, сколько структурные перестройки фоновых импульсных потоков центральных нейронов [7, 8, 11-15]. Последнее непосредственно связано с функционированием определенных нейронных контуров ("neuronal circuits"), ответственных за осуществление когнитивных функций [4, 5].

Предполагается, что не только возникновение патологических состояний, но и организация нормальной деятельности нервной

системы сопровождается соответствующими сдвигами медиаторных процессов, в том числе со стороны холинэстеразных (ХЭ) ферментов. Известно, что стимуляция разных модальностей приводит в сенсомоторной коре к повышенному выделению ацетилхолина (АХ) [4, 5]. Подробности данных эффектов в сенсомоторной коре подробно рассмотрены в нашей монографии [4].

Существуют две основные группы холинэстераз. Одна из них представляет ацетилхолинэстеразу, специфическую или истинную холинэстеразу, или ацетилгидролазу ацетилхолина (АХЭ). Другая - бутирилхолинэстеразу, неспецифическую или ложную холинэстеразу, или ацетилгидролазу (БХЭ). С их участием протекают процессы инактивации АХ. При этом АХЭ активнее, чем БХЭ, инактивирует АХ в области постсинаптической мембраны, а БХЭ быстрее, чем АХЭ, разрушает медиатор, вынесенный диффузией в межклеточное пространство и в кровь.

В связи с несомненной ролью ХЭ ферментов в деятельности нервной ткани возник вопрос о их состоянии в структурах мозга при действии неионизирующей радиации. Перестройки активности АХЭ под влиянием воздействия поля СВЧ нами уже были рассмотрены [9]. Задача данной работы заключалась в анализе активности БХЭ при СВЧ облучении. Для этого были выбраны параметры СВЧ воздействия, вызывающие уже известные, изученные нами, изменения ЭЭГ и нейронной активности [7, 8, 11-15]. Полу-

ченные сведения были опубликованы лишь в тезисном варианте [10].

**Методика**

Работа проведена на 48 крысах (самцах) линии Вистар массой 140 г. Животных помещали в одиночные плексигласовые камеры с отверстиями для вентиляции. Облучение проводили полем СВЧ с длиной волны 37.5 см и ППМ 40 мВт/см<sup>2</sup>. Продолжительность облучения составляла у I группы животных 5 мин., у II группы - 15 мин. и у III - 45 мин. В контрольных исследованиях животных помещали в те же камеры и на те же интервалы времени, но без СВЧ облучения. Все 6 групп (3 с облучением и 3 контрольных) включали по 8 животных. Особенности использованной методики подробно изложены в других работах [2].

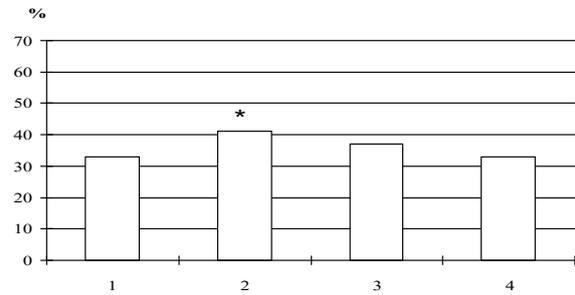
Крыс забивали посредством декапитации непосредственно после истинного или ложного облучения. Кусочки мозга от подопытного и контрольного животного помещали на одном столике замораживающего микротомы и готовили срезы толщиной 15 мкм, которые в идентичных условиях обрабатывали гистохимическим методом по Карновскому-Рутс. Для оценки уровня активности ХЭ применялся "визуально-ранговый" метод. Достоверность сдвигов активности на срезах определяли на основе критерия знаков.

**Результаты экспериментов**

Использовали структурный подход для изучения БХЭ, аналогичный таковому при рассмотрении АХЭ, что было необходимо для сопоставления получаемых результатов. Активность БХЭ исследовали в двигательной коре (поля 4 и 6), соматосенсорной коре (поля 1 и 2) и лимбической (поля 24 и 29) полушарий мозга и в ряде подкорковых образований: вентромедиальном гипоталамусе и стриопаллидуме, в частности базальном ядре Мейнерта - отделе безымянной субстанции. Активность ХЭ в коре определялась в зонах наибольшей их концентрации: в V слое двигательной и соматосенсорной коры, во II слое поля 24 и в слитном слое II-IV поля 29 поясной извилины.

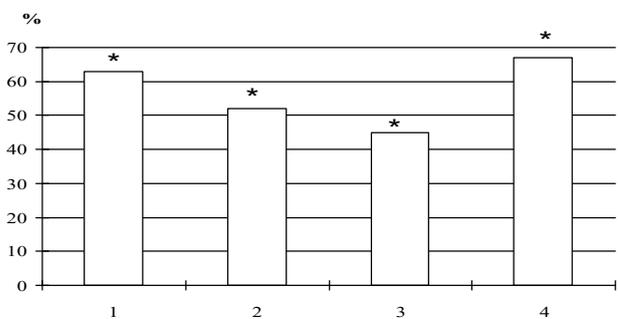
Излагаемые здесь материалы касаются влияния СВЧ облучения различной длительности на состояние БХЭ. Продолжитель-

ность облучения соответствовала той, которая ранее была применена при изучении АХЭ. Полученные сведения объединены по длительности облучения и представлены на рисунках 1, 2 и 3.



1 – моторная кора; 2 – сенсорная кора; 3 – передняя подобласть лимбической коры; 4 – задняя подобласть лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 1 – Влияние СВЧ облучения в течение 5 минут на БХЭ:

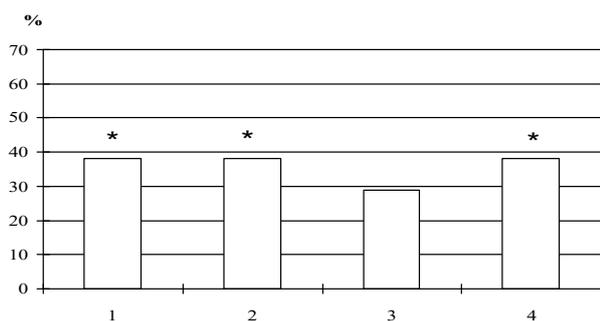


1 – моторная кора; 2 – сенсорная кора; 3 – передняя подобласть лимбической коры; 4 – задняя подобласть лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 2 – Влияние СВЧ облучения в течение 15 минут на БХЭ.

При воздействии поля СВЧ в течение 5 мин. имело место повышение БХЭ активности во всех исследованных структурах мозга. Однако статистически достоверного уровня оно достигало лишь в сенсорной коре (рисунок 1).

При 15-минутном СВЧ облучении развивалось выраженное повышение активности БХЭ, статистически значимое для всех исследуемых структур мозга, особенно представленное в моторной коре и задней подбласти лимбической коры (рисунок 2)



1 – моторная кора; 2 – -сенсорная кора; 3 – передняя подбласти лимбической коры; 4 – задняя подбласти лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 3 – Влияние СВЧ облучения в течение 45 минут на БХЭ.

При 45-минутном СВЧ облучении повышение БХЭ активности также возникало во всех исследованных структурах мозга. Однако его интенсивность была несколько ниже, чем при 15-минутном воздействии и достоверна лишь в 3 из 4 случаев (Рис. 3).

Таким образом, исследования ХЭ ферментов показали, что общее воздействие СВЧ поля на крыс вызывает уже в первые минуты повышение уровня активности БХЭ в широком диапазоне структур мозга, включающем различные отделы коры больших полушарий и лимбические образования. Затем эффект несколько повышает интенсивность и, кроме того, изменяет свое распределение по структурам мозга. Но в более

поздние сроки развивается понижение интенсивности указанного эффекта.

Во время проведения экспериментов на животных необходимо учитывать возможные влияния самой экспериментальной ситуации, в частности, места нахождения подопытных. В данных опытах крысы помещались в плексигласовые камеры на время от 5 до 45 минут, что сказывалось на температуре внутри этих камер. В связи с этим были рассмотрены температурные отклонения в камерах. Было обнаружено, что они были одинаковы как в контрольных исследованиях, так и при облучении и зависели только от времени нахождения в них животных (Таблица 1).

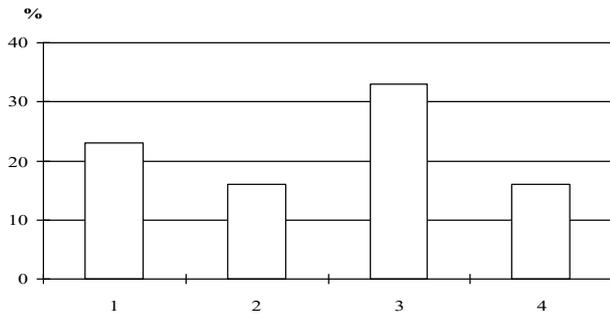
Таблица I. Температурные показатели в камере при воздействии на крыс поля СВЧ и в контроле.

Продолжительность воздействия	Группы животных	
	СВЧ	контроль
5 мин	26 <sup>0</sup> С	26 <sup>0</sup> С
15 мин	27 <sup>0</sup> С	27 <sup>0</sup> С
45 мин	29 <sup>0</sup> С	29 <sup>0</sup> С

Таблица была использована в предыдущей статье [9]

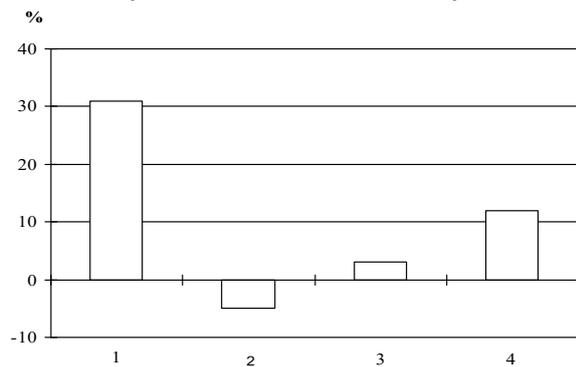
В предыдущей нашей работе [9]] было рассмотрено влияние СВЧ облучения на состояние ацетилхолинэстеразной активности структур мозга. В настоящей работе описывается изменения бутирилхолинэстеразной активности при СВЧ воздействии. Поскольку данные ферменты относятся в одной и той же ХЭ группе, имела место необходимость сравнения выявленных эффектов. Было установлено, что реакции указанных ХЭ ферментов на СВЧ облучение были не однозначны. Различия перестроек активности рассматриваемых ферментов приводятся на рисунках 4, 5 и 6.

Воздействие поля СВЧ в течение 5 мин. приводило к однонаправленному сдвигу обоих ХЭ ферментов в сторону усиления активности. Но этот эффект был значительно выражен со стороны БХЭ. Различия достигали 16-33% (рисунок 4).



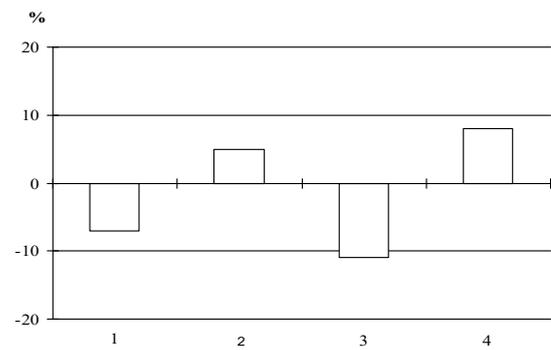
1 – моторная кора; 2 – сенсорная кора; 3 – передняя подобласть лимбической коры; 4 – задняя подобласть лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 4 – Разность процентного увеличения БХЭ и АХЭ при действии СВЧ облучения в течение 5 минут.



1 – моторная кора; 2 – сенсорная кора; 3 – передняя подобласть лимбической коры; 4 – задняя подобласть лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 5 – Разность процентного увеличения БХЭ и АХЭ при действии СВЧ облучения в течение 15 минут.



1 – моторная кора; 2 – сенсорная кора; 3 – передняя подобласть лимбической коры; 4 – задняя подобласть лимбической коры. Высота столбцов – сумма положительных и отрицательных сопоставлений активности БХЭ, выраженная в % от общего числа сопоставлений. Звездочкой отмечены статистически достоверные сдвиги активности при ( $p < 0.01$ ).

Рисунок 6 – Разность процентного увеличения БХЭ и АХЭ при действии СВЧ облучения в течение 45 минут.

Воздействие поля СВЧ в течение 15 мин. вызывало также перестройки активности обоих ХЭ ферментов в сторону усиления их активности. Преобладание реакции БХЭ наиболее было выражено в моторной коре (рисунок 5).

Воздействие поля СВЧ в течение 45 мин. также усиливало активность обоих ХЭ ферментов. Однако сочетание реакций АХЭ и БХЭ носили иной характер. Они, по сравнению с вышеописанными, были менее выражены и не однонаправленными (рисунок 6).

Описанные различия изменений активности АХЭ и БХЭ при СВЧ облучении имели, на первый взгляд характер тенденции. Тем не менее, при объединении результатов опытов со всеми тремя длительностями воздействия была установлена несомненная статистическая достоверность преобладания усиления активности со стороны БХЭ относительно АХЭ ( $p < 0/01$ ).

### Обсуждение

Результаты представленных здесь исследований и данные предыдущей нашей работы показали, что реакция основных ферментов ХЭ мозга не только относительно

быстро развивается при СВЧ облучении, но и широко захватывает кору больших полушарий и другие структуры мозга. Глобальный характер изменений ХЭ активности свидетельствует о неспецифичности изменений. В некоторой степени данный эффект имеет отношение к неспецифичности и самих ЭХ, поскольку у АХЭ, и БХЭ, помимо холинэстеразной, обладают амилазной и пептидазной активностью.

Можно полагать, что выявленные изменения перестройки АХЭ и БХЭ активности в результате СВЧ воздействий представляют компоненты адаптационных перестроек. Следует отметить, что отклонения со стороны БХЭ наступают в более ранние периоды и относительно быстро "затухают" по сравнению с таковыми АХЭ несмотря на продолжение воздействия. Не исключено, что именно с БХЭ в большей степени могут быть связаны адаптационные процессы.

Существует определенная роль ХЭ в происхождении и регулировании спонтанной и вызванной активности нейронов коры больших полушарий [1, 5], а также в организации временной связи в нейронных популяциях коры больших полушарий [4, 5]

В некоторой мере нами уже изучены адаптационные процессы при действии СВЧ облучения на импульсную активность нейронов коры больших полушарий [7, 8, 11-15]. Представленные здесь сведения могут служить доказательством участия в адаптационных перестройках электрических процессов мозга отклонений со стороны уровня ХЭ ферментов (АХЭ и особенно БХЭ). Помимо этого следует предположить, что эта ферментативная система может принимать участие в организации иных адаптационных процессов в мозге, описанных, в частности, для таламо-кортикального взаимодействия [16].

#### **Список литературы:**

- 1 Исакова А.В., Медникова Ю.С. Сравнительная роль ацетилхолина и норадреналина в регулировании спонтанной активности корковых нейронов // Журнал высш. нерв. деят. - 2006. - т. 56. - № 5. - С. 664-673;
- 2 Чернышевская ИА. Гистохимия холинэстераз коры головного мозга. М.: Изд. "Наука", 1983. - 104 с.;
- 3 Чиженкова Р.А. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем: Автореф. дис. канд. мед. наук. - М., 1966. - 22 с.;
- 4 Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). - М.: Наука, 1986. - 241 с.;
- 5 Чиженкова Р.А. Электрические следовые процессы в нейронных популяциях сенсомоторной коры: Автореф. дис. док. мед. наук. - М., 1991. - 30 с.;
- 6 Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX-ого века. - М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. - 88 с.;
- 7 Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при низкоинтенсивном импульсном СВЧ-облучении: межспайковые интервалы // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2014. - Т. 54. - № 4. - С. 393-404;
- 8 Чиженкова Р.А. Перестройки пачечной активности корковых нейронов при СВЧ облучении (0.2-0.3 мВт/см<sup>2</sup>): зависимость от ее исходных характеристик // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований - 2016. - №7. - С. 59-62;
- 9 Чиженкова Р.А. Холинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействии // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2017.- Т. 1. - № 19. - С. 129-133.
- 10 Чиженкова Р.А. , Чернышевская И.А. Влияние электромагнитного излучения СВЧ на холинэстеразную активность коры больших полушарий // Симпозиум "Механизмы биологического действия электромагнитных излучений. Тезисы докладов. - Пушкино: Научный центр биологических исследований АН СССР. 1987. - Стр. 77-78;
- 11 Chizhenkova, R.A. Slow potentials and spike unit activity of the cerebral cortex of rabbits exposed to microwaves // Bioelectromagnetics. - 1988. - V. 9. - No. 4. - P. - 337 - 345;
- 12 Chizhenkova, R.A. Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave ex-

posures of different intensity // Bioelectrochemistry. - 2004. - V. 63. - No. 1/2. - P. 343-346;  
13 Chizhenkova R.A. Impulse trains generated by populations of cortical neurons of rabbits exposed to low-intensity extrahigh-frequency electromagnetic radiation: bursting activity // Neurophysiology. - 2008. - V. 40. - No. 5/6. - P. 350-357;  
14 Chizhenkova R.A. Flows of populations of cortical neurons under microwave irradiation; burst activity // Biophysics. - 2010. - V. 55. - No. 6. - P. 1085-1093;

15 Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. Effect of low-intensity microwaves on the behaviour of cortical neurons // Bioelectrochemistry and Bioenergetics.- 1993. - V. 30. - No. 1.- P. 287-291;  
16 Mease R.A., Kriger P., Groh A. Cortical control of adaptation and sensory relay mode in the thalamus // PNAS - 2014. - V. 111. - No. 5. - P. 3339-3344.

**Принято в печать 16.10.2017**

**Р.А. Чиженкова**

*Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино, Россия, Московская область*

### **БУТИРИЛХОЛИНЭСТЕРАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ СТРУКТУР МОЗГА ПРИ СВЧ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**Аннотация.** На крысах установлено, что СВЧ облучение, вызывающее перестройки электрической активности коры больших полушарий, приводит к выраженным изменениям со стороны холинэстеразной активности, в частности БХЭ. Повышение уровня активности БХЭ возникает в первые минуты воздействия. Затем эффект определяется длительностью воздействия и элементами адаптации. Сделан вывод об участии БХЭ в развитии электрических реакций мозга на СВЧ облучение.

**Ключевые слова:** электромагнитное облучение, активность мозга, электрическая реакция мозга.

**Р.А. Чиженкова**

*Жасуша биофизикасы институты РФА, Пущино, Мәскеу облысы, Ресей*

### **МИКРОТОЛҚЫНДЫ СӘУЛЕЛЕР ӘСЕРІНЕН МИ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ БУТИРИЛХОЛИНЭСТЕРАЗДЫ БЕЛСЕНДІЛІГІ**

**Аннотация.** Мидың үлкен жарты шарларының қабығында электрлік белсенділіктің қайта құрылымдалуына себепші болатын микротолқынды сәулелену, холинэстеразаның белсенділігіне, әсіресе БХЭ-ге айқын өзгерістер әкелетіндігі егеуқұйрықтарда анықталған. БХЭ белсенділігінің деңгейінің жоғарылауы экспозицияның алғашқы минуттарында орын алады. Эффект әсер етудің ұзақтығы мен бейімделу элементтері арқылы анықталады. Қысқа толқынды сәулеленуге электр миының реакцияларын дамытуға БХЭ қатысуы туралы қорытынды жасалды.

**Түйін сөздер:** электромагниттік сәулелену, ми белсенділігі, мидың электрлік реакциясы.

**R.A. Chizhenkova**

*Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino, Moscow region,*

*Russia, 142290 District "V", 22, Apt. 56*

*e-mail: chizhenkova@mail.ru; phone offic. (4977)739-196; home (4977)73-30-53*

## **BUTYRYLCHOLINESTERASE ACTIVITY OF STRUCTURES OF THE BRAIN UPON MICROWAVE RADIATION**

**Abstract.** On rats it established, that microwave radiation, evoked rearrangements of electrical activity in the neocortex, leads to pronounced alterations of cholinesterase activity, specifically BCHE. Rise of level of activity of BCHE arises during first minutes of influence of microwaves. Afterwards effect depends on duration of influence and elements of adaptation. Conclusion about participation of BCHE in development of electrical reactions of the brain upon microwave radiation was done.

**Keywords:** electromagnetic radiation, brain activity, the brain's electric reaction.

Р.А. Чиженкова

*Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Московская область, Россия***БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗДАТЕЛЬСКИХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ ПО ОБЛАСТИ ЗНАНИЯ "ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ" ПО РФФИ**

**Аннотация.** Рассмотрена финансовая поддержка издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" Российским Фондом Фундаментальных Исследований за 20-летний период его деятельности. Проанализированы числа выделенных грантов и предварительно подаваемых заявок, а также процентная вероятность поддержки проектов по данной области знания. Число заявок относительно проектов по этой области знания составляло 3.22% от общего числа заявок по издательским проектам. На число грантов приходилось 3.06% в общем числе грантов по издательским проектам. При этом было поддержано 53.23% проектов, что несколько выше соответствующей величины (47.36%) в суммарном массиве инициативных проектов. Рассмотрена динамика выбранных показателей. Установлено, что наибольшие числа заявок и грантов по данной области знания среди издательских проектов отмечались во вторую часть исследуемого временного периода.

**Ключевые слова:** Д-энтропия, пересечение, взаимопроникновение, погружения, спуск, подъём, регулятор.

**Введение**

К середине XX-ого века в развитых странах сформировалось представление о фундаментальной науке как о необходимом условии не только развития, но и самого существования человеческого общества [2, 3, 5]. Такое новое отношение к научным изысканиям привело к формированию специальных фондов поддержки научных коллективов и отдельных ученых. Впервые данный процесс был начат в США [4], инициатором которого явились выдающийся американский физик Ваннивар Буш и сенатор Харли Килгор. В ряде наших работ уже предпринимался анализ состояния науки в современном мире, в том числе и в России [12].

Российский Фонд Фундаментальных Исследований (РФФИ) был создан в 1992 г. [1]. Деятельность РФФИ по случаю его 20-летнего юбилея РФФИ отражена в специальном выпуске журнала "Вестник РФФИ". Тем не менее, в открытых публикациях так и не был сделан анализ научных направлений проектов, поддержанных Фондом, что послужило причиной проведения наших библиометрических исследований [8-12].

Лидирующим видом конкурса РФФИ является конкурс инициативных проектов для финансовой поддержки проведения ис-

следований [8, 11, 12]. Помимо осуществления самих исследований существует также необходимость публикации их результатов. Поэтому дополнительно был создан конкурс издательских проектов. Конкурс издательских проектов, как и инициативных, касался восьми областей знания [9, 11].

Среди рассматриваемых областей знания была представлена область "Информационные технологии и вычислительные системы". Данное название области знания в Информационных бюллетенях (ИБ) РФФИ фигурирует с 2006 г. В 1993-1996 гг. аналогичная область знания носила название - "Информационные системы и базы данных", в 1997-2003 гг. - "Создание и развитие информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов", а в 2004-2005 гг. - "Информационные, вычислительные и телекоммуникационные ресурсы". В 2001 и 2002 гг. было выделено еще одно направление "Программное обеспечение суперЭВМ", которое можно рассматривать в качестве составной части указанной выше рубрики. В 2011 г. у рассматриваемой области знания почему-то было использовано название "Коммуникационные технологии и вычислительные системы", что не меняло ее сути.

Суммарные материалы относительно конкурсов издательских научных проектов

по всем областям знания уже были опубликованы в наших работах [9, 11]. Настоящие исследования посвящены детальному библиометрическому анализу издательских проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы", поддержанных РФФИ в течение 20-летнего периода.

### Материалы и методы

Представленные здесь сведения основываются на данных, опубликованных в Информационных бюллетенях (ИБ) РФФИ, выходящих раз в год и освещающих итоги прошедшего конкурса, что позволяет рассмотреть количественные данные его результатов по разным областям знания.

Для каждого года выделялись количественные сведения относительно конкурсов издательских проектов по всем областям знания, в том числе и по области "Информационные технологии и вычислительные системы", в виде чисел выделенных грантов и поданных заявок. На основе этого вычислялась процентная вероятность поддержки проектов. Проводили объединение результатов по анализируемым рубрикам за весь временной период и вычисляли статистическую значимость различия величин, составляющих совокупности. Для статистического анализа использовали сравнение двух выборочных долей вариант. Кроме того, применяли корреляционный анализ.

### Результаты и обсуждение

Издательские проекты самостоятельно были представлены в РФФИ с 1995 г. В 1993 и 1994 гг. они включались в единую рубрику совместно с инициативными проектами. Однако, что касается научного направления "Информационные технологии и вычислительные системы", среди издательских проектов оно стало рассматриваться только с 1998 г.

Число поддержанных РФФИ издательских проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" за 15 лет составляло 113, что составляло 3.06% от общего числа по всем издательским проектам за эти годы - 3698. Динамика чисел грантов по области знания "Информационные технологии и вычисли-

тельные системы" за рассматриваемый период отражена на рис. 1

Выделенных грантов приходилось на один год от 2 до 14 и в среднем равнялось 7.53. Из рис. 1 следует, что имели место весьма резкие колебания чисел поддержанных проектов при выраженном их увеличении во второй половине исследуемого периода. Наименьшие числа были в 1998-2001 гг. Пиковые их значения приходились на 2008-2011 гг.

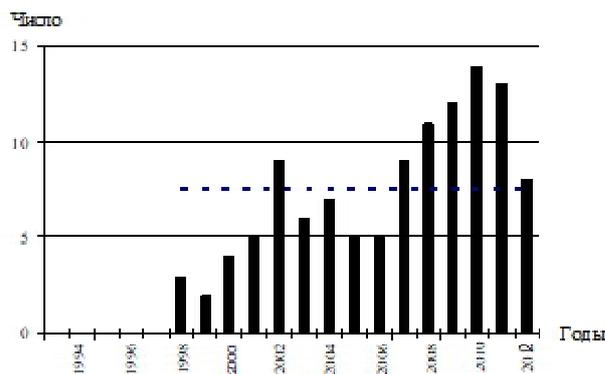


Рисунок 1 – Динамика чисел поддержанных издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" в течение 15-летнего периода. Горизонтальная пунктирная черта соответствует среднему значению.

Числа полученных заявок по издательским проектам в ИБ указаны только за годы 2002-2012. За это время было получено 186 заявок относительно проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы", что составляет 3.22% от их общего числа по всем областям знания - 5768. Динамика чисел поданных заявок по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" за исследуемый период представлена на рис. 2.

Числа поданных заявок за один год колебались от 7 до 37 при среднем значении 16.91. Рис. 2 показывает, что отмечались выраженные колебания чисел подаваемых заявок при их нарастающем увеличении во второй половине анализируемого периода. Минимум их приходился на 2012 г., максимум - на 2008-2011 гг.

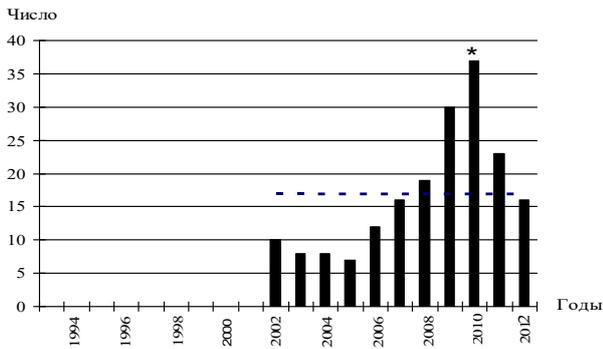


Рисунок 2 – Динамика чисел поданных заявок по издательским проектам в области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" в течение рассматриваемого периода. Горизонтальная пунктирная черта соответствует среднему значению. Звездочкой отмечены достоверные отличия соответствующих величин от среднего значения при  $p < 0.05$  ( $U > 2.20$ ).

Описанные здесь количественные характеристики выделенных грантов и представленных заявок позволили определить вероятность поддержки посылаемых материалов. В течение 11 лет, по которым в ИБ приведены числа заявок, из 186 заявок по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" было поддержано 99 проектов, что составило 53.23%. Динамика процентных чисел проектов продемонстрирована на рисунке 3.

Годовые значения процентных чисел поддержанных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" за данный период составляли от 37.84 до 90.00 при средней величине 53.23. Как видно из рис. 3, в течение рассматриваемого периода происходило понижение процентных чисел поддержанных проектов. Наименьшие процентные числа поддержанных проектов отмечались в 2009 и 2010 гг. Максимальные их величины наблюдались в 2002-2005 гг.

Таким образом, за 20 лет своей деятельности РФФИ оказал значительную поддержку публикации материалов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы", которая, хотя и является весьма молодой, в настоящее время уже представляет одну из наиболее значимых разделов научных дисциплин.

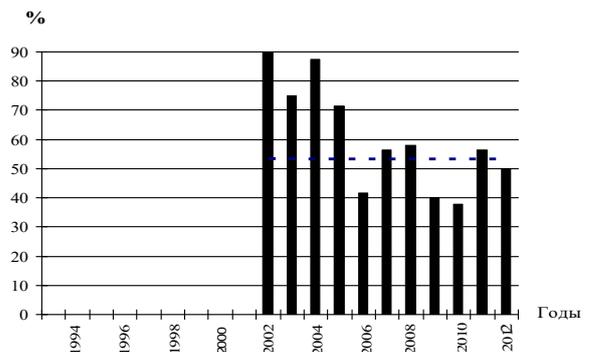


Рисунок 3 – Динамика процентных чисел поддержанных издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" в течение рассматриваемого периода. Горизонтальная пунктирная черта соответствует среднему значению.

По мере развития научно-технической революции 60-70 гг. прошлого века стала формироваться технаука [6]. В течение последних десятилетий потенцировалось междисциплинарное направление науки. Одновременно изменялись средства получения информации. Происходило становление информационного общества. Именно в связи с этим и возникла новая область знания "Информационные технологии и вычислительные системы". Постепенность этого процесса сказалось на ее названии, которое претерпевало некие колебания. В настоящей работе проанализированы числа выделенных грантов, числа поданных заявок и процентные числа поддержанных издательских проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы", что позволило установить следующее.

Во-первых, число поддержанных издательских проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" в течение 15-летнего периода составляло 113, что равнялось 3.06% от общего числа по всем восьми областям знания. Число поданных заявок проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" за доступный к этим сведениям 11-летний период был 186, что в общем числе таковых обладало близким указанному выше показателем - 3.22%. Процентное число поддержанных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" равнялось

53.23, что несколько, но недостоверно, превышало соответствующее процентное число в суммарных данных по всем областям знания издательских проектов - 47.36 [14, 16] при  $p > 0.05$  ( $U > 1.54$ ).

Во-вторых, имели место выраженные колебания по годам величин исследуемых показателей. При этом колебания чисел грантов были в 7.00 раз, сделанных заявок - в 5.29 раз и процентов поддержанных проектов - в 2.38 раз. Отмечалось сходство динамики чисел поддержанных проектов и чисел поданных заявок.

Корреляционный анализ позволил выявить факт наличия некоторого параллелизма величин чисел выделенных грантов и чисел подаваемых заявок и ( $r = 0.89$ ;  $p < 0.01$ ), что свидетельствует о значительной роли общего состояния внутренней возможности РФФИ в поддержке научных проектов. Положительная корреляционная взаимосвязь была установлена у чисел поданных заявок по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы", с соответствующей величиной по всем областям знания издательских проектов ( $r = 0.83$ ;  $p < 0.01$ ). Однако, не была выявлена корреляция чисел грантов и процентных чисел поддержанных проектов в данной области знания с таковыми значениями в суммарном материале издательских проектов ( $r = 0.28$  и  $r = 0.26$ ;  $p > 0.05$ ).

Следует отметить некоторые отличия результатов конкурса издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" от соответствующего конкурса инициативных проектов [10, 12]. Числа выделенных грантов по данной области знания среди издательских проектов были значительно ниже, чем среди инициативных проектов. Среднее число поддержанных издательских проектов в год составляло 7.53, а инициативных 130.90, их различие в 17.38 раз. Существенно ниже у издательских проектов отмечались и количественные показатели заявок. Среднее число заявок по издательским проектам в год равнялось 16.91, а инициативных 507.73, их различие в 30.03 раза. Тем не менее, процентное число поддержанных издательских проектов данной области знания (53.23) было значительно выше тако-

вого у инициативных проектов (29.73) в 1.79 раз.

### Заключение

Организация РФФИ для поддержки работы научных коллективов и отдельных ученых явилась одним из первых нововведений молодой РФ по опыту других развитых государств. За два десятилетия деятельности РФФИ была оказана существенная поддержка публикации результатов фундаментальных исследований, в том числе и по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы". При этом процентное число поддержанных издательских проектов по указанной области знания несколько (но статистически недостоверно) превышало усредненные показатели по всем областям знания. Для повышения возможности поддержки научных проектов весьма желательно увеличение финансового наполнения Фонда

### Список литературы

- 1 Алфимов М.В., Минин В.А., Либкинд А.Н. Страна наука - РФФИ // Вестник РФФИ. - 2000. - № 2(20). - С. 5-29;
- 2 Арутюнов В.С. Наука как один из важнейших институтов современного государства // В: Наука России. От настоящего к будущему / Ред В.С. Арутюнов, Г.В. Лисичкин, Г.Г. Малинецкий. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. - С. 9-29;
- 3 Ефремов Ю.Н. Зачем нужна наука миру и России // Вестник РФФИ. - 2000. - № 1(19). - С. 40-43.;
- 4 Коннов В.И. Самоуправление на "передовой": становление национального научного фонда США // Вестник РФФИ. - 2007. - №4(54). - С. 10-15;
- 5 Лебедев С.А. Праксиология науки // Вопросы философии. - 2012. - №4. - С. 52-63.;
- 6 Степин В.С. Изменения в структуре науки и современный статус фундаментальных исследований // В: Наука России. От настоящего к будущему / Ред В.С. Арутюнов, Г.В. Лисичкин, Г.Г. Малинецкий. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. - С. 150-157;
- 7 Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX-

ого века.- М.: Издат.дом Акад. Естествознания, 2012.- 88 с.;

**8** *Чиженкова Р.А.* Библиометрический анализ научных проектов, поддержанных Российским Фондом Фундаментальных Исследований за 20 лет: виды конкурсов // Успехи современного естествознания. - 2014. - №5. - С. 145-150;

**9** *Чиженкова Р.А.* Библиометрический анализ издательских научных проектов по разным областям знания, поддержанных Российским Фондом Фундаментальных Исследований за 20 лет // Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований. - 2014. - №8. - С. 150-154;

**10** *Чиженкова Р.А.* Библиометрический анализ инициативных научных проектов по области знания "Информационные технологии

и вычислительные системы", поддержанных Российским Фондом Фундаментальных Исследований за 20 лет // Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований. - 2015. - №11. - С. 439-443;

**11** *Чиженкова Р.А.* Российский фонд фундаментальных исследований. Библиометрический анализ поддержки научных проектов. - Germany: Palmarium Academic Publishing, 2015. - 88 с.;

**12** *Чиженкова Р.А.* Российский фонд фундаментальных исследований: библиометрический анализ инициативных научных проектов. - М.: Издат. дом Акад. Естествознания, 2016.- с.82.

*Принята в печать 06.02.18*

**Р.А. Чиженкова**

*Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Московская область, Россия*

## **БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗДАТЕЛЬСКИХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ ПО ОБЛАСТИ ЗНАНИЯ "ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ" НА ОСНОВЕ РФФИ**

**Аннотация.** Рассмотрена финансовая поддержка издательских научных проектов по области знания "Информационные технологии и вычислительные системы" Российским Фондом Фундаментальных Исследований за 20-летний период его деятельности. Проанализированы числа выделенных грантов и предварительно подаваемых заявок, а также процентная вероятность поддержки проектов по данной области знания. Число заявок относительно проектов по этой области знания составляло 3.22% от общего числа заявок по издательским проектам. На число грантов приходилось 3.06% в общем числе грантов по издательским проектам. При этом было поддержано 53.23% проектов, что несколько выше соответствующей величины (47.36%) в суммарном массиве инициативных проектов. Рассмотрена динамика выбранных показателей. Установлено, что наибольшие числа заявок и грантов по данной области знания среди издательских проектов отмечались во вторую часть исследуемого временного периода.

**Ключевые слова:** информационные технологии, вычислительные системы, статистика.

**Р.А. Чиженкова**

*Жасуша биофизикасы институты РФА, Пущино, Мәскеу облысы, Ресей*

## **РФФИ НЕГІЗІНДЕ «АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ» БІЛІМ САЛАСЫ БОЙЫНША ЖАРИЯЛАНҒАН ҒЫЛЫМИ ЖОБАЛАРДЫ БИБЛИОМЕТРЛІ ТАЛДАУ**

**Аннотация.** 20 жылдық қызмет кезеңінде үшін Ресейлік іргелі зерттеулер қорының «Ақпараттық технологиялар және есептеу жүйелері» білім саласындағы жарияланған ғылыми жобаларға жасаған қаржылық қолдау қарастырылған. Бөлінетін гранттар саны мен алдын-ала ұсынылған өтінімдердің саны, сондай-ақ осы саладағы жобаларды қолдаудың ықтималдығына талдау жасалды. Осы саладағы жобаларға арналған өтінімдер саны

жарияланған жобалар өтінімдерінің жалпы санының 3,2% -ын құрады. Гранттардың саны жарияланған жобаларыға арналған гранттардың жалпы санының 3,06% -ын құрады. Осылай бола тұра, жобалардың 53,23% -ы қолдау тапты, бұл бастамалық жобалардың жалпы санында тиісті көрсеткіштен (47,36%) біршама жоғары. Таңдалған индикаторлардың динамикасы қарастырылады. Жарияланған жобалары арасында осы саладағы өтінімдер мен гранттардың ең көп саны оқу кезеңінің екінші бөлігінде тіркелгені анықталды.

**Түйін сөздер:** ақпараттық технологиялар, компьютерлік жүйелер, статистика.

**R.A. Chizhenkova**

*Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino,*

*Moscow region, Russia, 142290 District "V", 22, Apt. 56*

*e-mail: chizhenkova@mail.ru; phone offic. (4977)739-196; home (4977)73-30-53*

### **BIBLIOMETRICAL ANALYSIS OF PUBLISHING SCIENTIFIC PROJECTS ON FIELD OF KNOWLEDGE "INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTING SYSTEMS" UPON RFFI**

**Abstract.** Financial support of publishing scientific projects on field of knowledge "Information technologies and computing systems" by RFFI. The numbers of applications and grants and percentage probability of support of projects on this field knowledge were analyzed. The numbers of applications on this field of knowledge came to 3.22% from the total number of the same at publishing projects. The numbers of grants was 3.06% from the total number of publishing grants. Percentage probability of support of projects was 53.23%, what slightly exceeded corresponding quantity at the total number of publishing projects (47.36%). Dynamics of numbers of chosen indicators was considered. It was established, that the greatest of the numbers of applications and grants on this field of knowledge among publishing scientific projects took place in second part of investigated time period.

**Keywords:** informational technologies, computational systems, statistics.

## ДЛЯ АВТОРОВ

### УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

«Журнал ПЭОС» публикует статьи, посвященные:

1. развитию *подходов к изучению любых открытых систем*;
2. описанию законов динамики взаимодействующих элементов систем;
3. определению характера внешних ограничений, накладываемых на эволюционирующие системы законами их развития;
4. исследованию процессов структурообразования в больших системах, изучаемыми различными разделами науки (физикой, химией, биологией, космологией, геофизикой, медициной, экологией, экономикой, социологией и в целом философией);
5. исследованию механизмов взаимодействия в различных средах: космическом пространстве, окружающей среде, внутренних средах организма, в растворах и т.п.;
6. рассмотрению роли неравновесности и синергетических эффектов в формировании любых иерархических систем и в их эволюционном развитии;
7. любым аспектам прикладного использования теоретических результатов, получаемых при изучении фундаментальных основ открытых систем.

Журнал выходит два раза в год и рекомендован для представления к защите диссертаций в Республике Казахстан

### ЖУРНАЛ ПРИНИМАЕТ РУКОПИСИ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ УСЛОВИЯХ!

- При наличии: рефератов на русском, английском и для жителей РК на казахском языках (объем рефератов не менее 150 слов); рецензии специалиста, работающего в соответствующей области, имеющего академическую степень
- В рецензии обязательно освещать вопросы актуальности, соответствия цели тематике журнала, новизны, значимость результатов для фундаментальной или прикладной науки.
- Работы, носящие фундаментальный или обзорный характер в объеме не более 45 страниц формата А4.
- Работы прикладного характера не более 25 страниц формата А4.
- Статьи могут быть написаны на казахском, русском или английском языках.

**Статьи не соответствующие тематике журнала, оформленные не по правилам и не имеющие рецензии не принимаются к публикации и не возвращаются авторам. Редакция оставляет за собой право на отклонение статьи.**

### СТАТЬИ ВЫСЫЛАТЬ В ЭЛЕКТРОННОМ ВАРИАНТЕ ПО АДРЕСУ

представленному на титульной странице с припиской «статья для публикации в ПЭОС».

Телефоны для справок и переговоров:

Нұрғалиева Құралай (сот.8 707 828 90 10),

Сомсиков Вячеслав Михайлович - 8 727-272-78-25 (сот. 8 7017605378)

ПРОСИМ ВАС НАПРАВЛЯТЬ НАМ РУКОПИСИ ВАШИХ СТАТЕЙ,  
ОФОРМЛЕННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С НИЖЕ УКАЗАННЫМИ ПРАВИЛАМИ !

Статья должна быть набрана на компьютере в MS Word, предоставлена на дискете или выслана по электронной почте.

*Поля:* верхнее-2, нижнее-2, левое-2, правое 2

*Нумерация страниц* по центру снизу

**ШАПКА** через 1 интервал 12 кеглем:

1. МРНТИ расположено слева
2. **Инициалы и фамилия жирным шрифтом**, строчными полужирными буквами.
3. *Название института, города, страны курсивом*, строчными буквами
4. Пробел
5. **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ** полужирными прописными буквами

один пробел

**Аннотация.** на языке статьи: 11 кегль, абзацный отступ 1 и через 1 интервал (объем не менее 150 слов); (Қазақша – **Аннотация**, in English - **Abstract**)

**Ключевые слова:** на языке статьи : 11 кегль, абзацный отступ 1 и через 1 интервал один пробел (Қазақша – **Түйін сөздер**, in English - **Keywords**).

**ТЕКСТ СТАТЬИ** в две колонки интервал между ними 0,6 см; 12 кегль, абзацный отступ стандартный и через 1 интервал

Номера цитируемой литературы в квадратных скобках []

Номера формул справа и прижаты к правому краю в круглых скобках (), ссылки на них в тексте также в круглых скобках ()

Ссылки на таблицы или рисунки полностью словом с номером (таблица 1, рисунок 1) или сокращенно только в круглых скобках (Табл. 1), (Рис. 1)

набор формул – в редакторе формул MathType.

**Подзаголовки** прижаты к левому краю, полужирным шрифтом, 12 кеглем, со стандартным абзацным отступом. Перед подзаголовком одна строка пропуска. После него текст раздела идет сразу. После подзаголовка точка не ставится

**Рисунки** все в Word с одним отступом после и до рисунка. Подпись снизу по центру через 1 интервал, прижата к рисунку и начинается словами Рисунок 1 – Рисунки представляются вставленными в текст и в виде отдельных файлов. (см. пример). (Қазақша: 1 – сурет. Суреттің аты, in English: Figure 1 – The title of figure)

**Таблицы** через 1 интервал, 12 кеглем, столбики центрированы. Подпись таблицы сверху, прижата к левому полю и начинается словами Таблица 1 – .(см. пример), (Қазақша: 1 – кесте. Кестенің аты, in English: Table 1 – The title of table)

**Рисунки и таблицы**, если они не входят в размер одной колонки могут выноситься в **Приложение**, которое следует за списком литературы. Оформление их идет по выше описанным правилам, но они могут располагаться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении.

**Литература** 12 кегль через 1 интервал, нумерация списка без точек и номер идет со стандартным абзацным отступом (см. пример) и в конце абзаца ставится точка (см. пример)

**Реферат на английском (для всех) и казахском (для жителей Республики Казахстан)**

Оформление смотри пример

## ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ И РЕФЕРАТОВ

Статьи

МРНТИ 550.36+577.31

**З.Ж. Жанабаев, С.А. Хохлов\*, А. Т. Агишев***Казахский национальный университет имени аль-Фараби,**Алматы, 050040, Казахстан**\*E-mail: [serik-kz88@mail.ru](mailto:serik-kz88@mail.ru)***НОРМИРОВАННАЯ ЭНТРОПИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД**

**Аннотация.** В представленной работе показана возможность классификации горячих звезд по спектрам, согласно их нелинейным (энтропийным и обобщенно-метрическим) характеристикам. Получены алгоритмы и методика определения информационной энтропии по наблюдаемым спектрам. В работе ставилась задача описать количественно спектры различных типов на основе информационно – энтропийного анализа. Для исследования были выбраны звезды главной последовательности и горячие звезды типа FSCMa (двойные системы). Ставился вопрос о количественном описании различия спектров выбранных звезд. Такой метод количественной оценки применялся в различных исследованиях по нормальным звездам. Однако существует ряд алгоритмических проблем, которые мы приведем применительно к решению данной задачи. В результате была построена зависимость нормированной информационной энтропии спектров от соответствующих значений метрической характеристики. Нормированная энтропия звезд типа FSCMa принадлежит области самоподобия и самоаффинности, эти объекты самоорганизованы и имеют сложную, хаотическую структурированность. По физической сути двойные системы должны относиться к самоорганизованным системам, что соответствует предлагаемой теоретической классификации. Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что информационно-энтропийный анализ и расчет обобщенно – метрической характеристики для спектров дает возможность количественно классифицировать горячие звезды.

**Ключевые слова:** Информация, энтропия, горячие звезды, метрика – топологические характеристики.

**Введение**

На протяжении более ста лет, энтропия является ключевой величиной не только для неравновесной статистической физики и термодинамики, но для естествознания в целом. Оно имеет первостепенное значение при обсуждении вопросов порядка и хаоса в природе, происхождения и передачи информации, проблем необратимости и т.д. [1-5]. Однако в настоящее время практически не существует количественных расчетов энтропии для астрофизических объектов, и в редких только случаях для хорошо изученных объектов, как звезды [6-10] рассчитывается энтропия Больцмана. При этом, очевидно, что учет неравновесности системы чрезвычайно важно для понимания физики окружающего нас мира. И так как звезды являются наиболее

распространенными объектами во Вселенной, которые составляют более 97% от массы всего видимого вещества, необходимо понять, как зависит энтропия от типа звезд. Однако на этот вопрос в современной литературе ответа нет. Таким образом, не было произведено количественного анализа энтропии для наиболее важных и распространенных объектов во Вселенной. Поэтому целью данной работы было описать количественно спектры горячих звезд различных типов на основе информационно – энтропийного анализа.

**Информационно – энтропийные характеристики сигналов**

Обычно определение сложного понятия формируется через перечень его основных свойств. Информация  $I(x)$

статистической реализации некоторой физической величины  $x$  является положительной величиной и определена при наличии неравновесности  $I(x) \neq I(x_0)$ , если  $x \neq x_0$ . Если  $P(x)$  является вероятностью появления величины  $x$ , то выражение для количества информации

$$I(x) = -\ln P(x) \quad (1)$$

Информационная энтропия или энтропия Шеннона  $S(x)$  может быть определена как среднее значение информации:

$$S(x) = \sum_i P_i(x) I_i(x) = -\sum_i P_i(x) \ln P_i(x) \quad (2)$$

где,  $i$  – номер ячеек разбиения множества значений  $x$ .

Задавая условия для выбора параметров  $p, q$  можно использовать  $K_{x_i, x_j}^{p, q}$  для описания фрактальных сигналов. Если  $D$  – фрактальная размерность кривой  $x(t)$ , то мы можем принять  $p = D, q = D/(D - 1)$ . Принимая  $x_i = x(t), x_j = t$  перепишем (11) в следующем виде

$$K_{x, t}^{D, q} = \frac{((|x|^D))^{1/D} \cdot ((|t|^q))^{1/q}}{\langle |x \cdot t| \rangle}, \quad q = D/(D - 1) \quad (12)$$

В таком случае, нетрудно убедиться в том, что элементы набора  $I$  можно вычислить по формуле:

$$I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1 \quad (9)$$

где  $n_1$ - количество ячеек первой характеристики, в нашем примере оно равно 3. С помощью таблицы 1 хорошо демонстрируется логика работы выражения (9)

Таблица 1. – Логика работы алгоритма  $I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1$

Последовательность	$I_1$	$I_2$	Номера ячеек в $I$
11	1	1	$1+(1-1)*3=1$
21	2	1	$2+(1-1)*3=2$
31	3	1	$3+(1-1)*3=3$
12	1	2	$1+(2-1)*3=4$

22	2	2	$2+(2-1)*3=5$
32	3	2	$3+(2-1)*3=6$
13	1	3	$1+(3-1)*3=7$
23	2	3	$2+(3-1)*3=8$
33	3	3	$3+(3-1)*3=9$
14	1	4	$1+(4-1)*3=10$
24	2	4	$2+(4-1)*3=11$
34	3	4	$3+(4-1)*3=12$

Экспериментальные измерения показали, что при ..... на рисунке 6 приведены временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа, полученные из эксперимента при  $R=1$  кОм и  $C=1$  нФ, которые показывают, что выводы теории в данном случае подтверждаются физическим экспериментом.

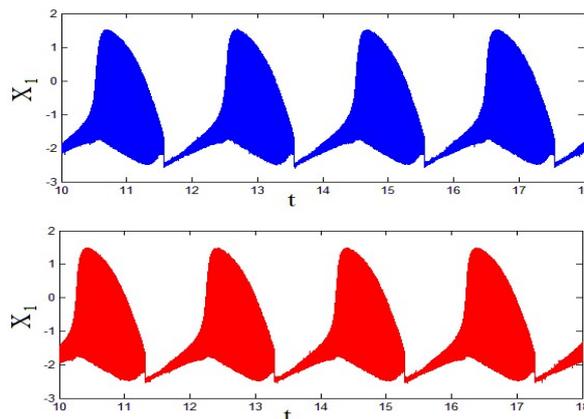


Рисунок 6 – Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при  $R=200$  кОм и  $C=100$  нФ, полученные из эксперимента.

Такое «странное» поведение системы в эксперименте объясняется тем, что большое значение RC параметра уменьшает амплитуду сигнала на выходе интегратора. Соответственно, амплитуда шума и соизмеримыми, что уменьшает точность полезного сигнала оказываются вычислений.

Действительно, дополнительные численные исследования показали, что режим «birsting» также можно получить при численном интегрировании уравнений (1), если уменьшать точность вычислений. На рисун-

ке 7 показан результат численного интегрирования при точности 0,001, а на рисунке 8 показан результат численного интегрирования при точности 0,00001.

.....

**Заключение**

Большие значения параметра RC аналогового интегратора, используемого в эксперименте, способствуют понижению точности измерений значений сигналов. Данный вывод подтверждается результатами численных решений системы уравнений (1), проведенных с различными точностями интегрирования. В итоге видим, что физический эксперимент полностью подтверждает выводы теории, т.е. экспериментально обнаружено рождение двухчастотной бифуркации Хопфа в кластере связанных автоколебательных систем.

**Список литературы**

1 Prigogine I. From the being to becoming//M.–1980.–343, 342 p.  
 4 Лоскутов А.Ю., Михайлова А.С. Введение в синергетику // М.– Наука.– 1990.– 272 с.  
 6 Somsikov V.M. The equilibration of an hard-disks system// November. V.14, №11. ИВС.– 2004.–Р. 4027 - 4033.  
 7 Сомсиков В.М. О принципах построения механики структурированных частиц на основе механики материальной точки// Журнал ПЭОС.–2010.–Вып.12, Т.2.–С.3-17.  
 9 Anderson P.W. More Is Different. Science // New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972), pp. 393-396

**Приложение 1**

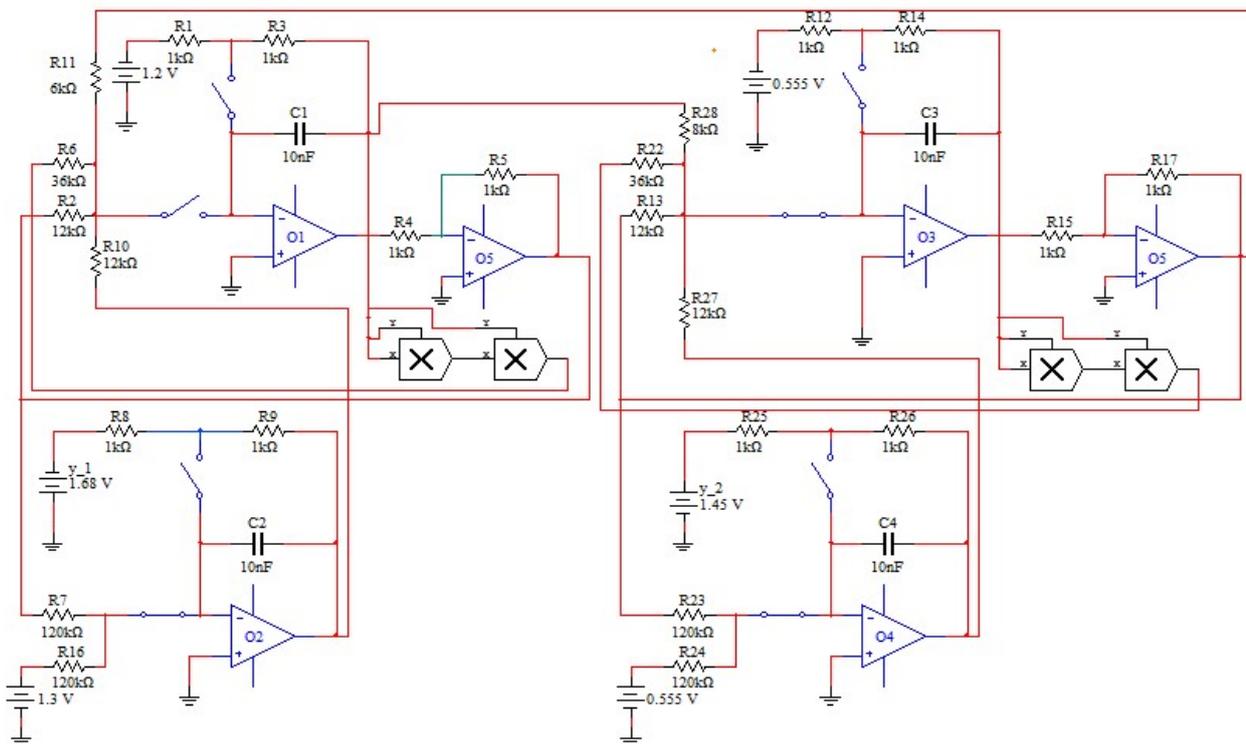


Таблица 6. Массы аэрозолей, химических веществ и энергия акустического излучения, инжесктированных в атмосферу в ходе катастрофы под Мелитополем (площадь города около 30 км<sup>2</sup>), и их сравнение с фоновыми значениями

Вещество (излучение)	Инжесктируемая масса (мощность)	Фоновое значение в атмосфере над Мелитополем	Фоновое значение в атмосфере над Украиной	Фоновое значение во всей атмосфере
Аэрозоли (пыль)	0,1 – 1 кт	3 – 15 т	60 – 300 кт	50 – 250 Мт
Аэрозоли (дым)	1 кт	330 кг	6 – 7 кт	5,5 Мт
Двуокись углерода	35 кт	180 кт	3,6 Гт	3 Тт
Акустическое за счет:	взрывов	0,2 – 1,4 ГВт	10 – 30 кВт	200 – 600 МВт
	пожаров	15 МВт		

## Рефератов

Г.К. Мусабек<sup>1,2</sup>, К.К. Диханбаев<sup>1,2</sup>, В. А. Сиваков<sup>3</sup>, Д. Ермухамед<sup>1,2</sup>,  
 А.С. Курмаш<sup>1,2</sup>, Т.И. Таурбаев<sup>1</sup>, А.С. Джунусбеков<sup>1</sup>, Ш.Б. Байганатова<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,  
<sup>2</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Алматы, Казахстан,  
<sup>3</sup>Лейбниц Институт фотонных технологий, Йена, Германия  
[Gauhar.Musabek@kaznu.kz](mailto:Gauhar.Musabek@kaznu.kz)

## ВТОРИЧНАЯ ИОННАЯ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ФОСФОРОМ

**Аннотация.** В настоящей работе представлены результаты исследований кремниевых нанонитей, легированных фосфором методом термодиффузии, с помощью вторичной ионной масс спектроскопии. Кремниевые нанонити были выращены на поверхности монокристаллических кремниевых пластин с полированной и шлифованной поверхностью методом металл стимулированного химического травления. Легирования нанонитей атомами фосфора происходило при температурах 900 – 980<sup>0</sup>С в течение 15-40 минут. С помощью вторичной ионной масс спектроскопии исследовано распространение атомов фосфора по глубине нанонитей, рассчитаны динамические профили распределения примеси в образцах, полученных на полированной и шлифованной поверхности кремниевых пластин. В результате анализа динамических профилей вторичной ионной масс спектроскопии для распределения соединений Si-P в образцах легированных кремниевых нанонитей было выявлено, что максимальная концентрация атомов фосфора в таких образцах локализована преимущественно в наноструктурированном слое, а в слой объемного кремния диффундирует очень малое количество. Оценочная глубина залегания легирующей примеси в кремниевые нанонити составляет около 1300 нм.

**Ключевые слова:** кремниевые нанонити, легирование фосфором, термодиффузия, вторичная ионная масс спектроскопия.

Г.Қ. Мұсабек Г.Қ.<sup>1,2</sup>, К.К. Диханбаев<sup>1,2</sup>, В. А. Сиваков<sup>3</sup>, Д. Ермұхамед<sup>1,2</sup>,  
А.С. Кұрмаш<sup>1,2</sup>, Т.И. Таурбаев<sup>1</sup>, А.С. Джунусбеков<sup>1</sup>, Ш.Б. Байғанатова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Ашық типтегі Ұлттық нанотехнологиялық лабораториясы, Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>Лейбниц Фотондық технологиялар институты, Йена, Германия,

[Gauhar.Musabek@kaznu.kz](mailto:Gauhar.Musabek@kaznu.kz)

## ФОСФОРМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН КРЕМНИЙ НАНОТАЛШЫҚТАРЫНЫҢ ЕКІНШІ РЕТТІК ИОНДЫҚ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

**Аннотация.** Берілген жұмыста термодиффузия әдісін қолданып фосфор атомдарымен легирленген кремний наноталшықтарын екінші реттік иондық массспектроскопия әдісімен зерттеу нәтижелері келтірілген. Кремний наноталшықтары беті жылтыратылған және тегістелген монокристалды кремний пластиналарының бетінде металл енгізілген химиялық жеміру әдісімен қалыптастырылған. Кремний нанокұрылымдарын фосфор атомдарымен легирлеу 900 - 980 °С температурада 15 - 40 минут бойы жүзеге асты. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының көмегімен фосфор атомдарының жылдырлатылған және тегістелген беттерде қалыптысқан наноталшықтардың қалыңдығы бойынша таралуы зерттелініп, үлестірілуінің динамикалық профильдері есептелінген. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының Р-Si қосылыстарының үлестірілуінің динамикалық профильдерін талдау нәтижесінде фосфор атомдарының максималды концентрациясы негізінен нанокұрылымды қабатқа енетіні және көлемдік кремнийге аз таралатындығы анықталған. Зерттеулер нәтижесінде берілген кремний наноталшықтары үлгілері үшін легирлеуші компа атомдарының диффузиялық енуінің тереңдігі шамамен 1300 нм тең деп бағаланған.

**Түйін сөздер:** Кремний наноталшықтары, фосфордың диффузиясы, термодиффузия, екінші реттік иондық масс спектроскопиясы.

G.K. Mussabek<sup>1,2</sup>, K.K. Dikhanbayev<sup>1,2</sup>, V.A. Sivakov<sup>3</sup>, D. Yermukhamed<sup>1,2</sup>,  
Kurmash A.S.<sup>1,2</sup>, T.I. Taurbayev<sup>1</sup>, A.S. Dzhunusbekov<sup>1</sup>, Sh.B. Bainatova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>National nanotechnological laboratory of open type, Almaty, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany,

[Gauhar.Musabek@kaznu.kz](mailto:Gauhar.Musabek@kaznu.kz)

## SECONDARY ION MASS SPECTROSCOPY OF PHOSPHORUS DOPED SILICON NANOWIRES

**Abstract.** We present the results of secondary ion mass spectroscopy studies of silicon nanowires doped with phosphorus by thermal diffusion. First, silicon nanowires were grown on the surface of single-crystal silicon wafers with a polished and ground surface using method of metal-assisted chemical etching. Doping of nanowires with phosphorus atoms by thermo diffusion method occurred at temperatures of 900-980 ° C during 15-40 minutes. Secondary ion mass spectroscopy was used to study the distribution of phosphorus atoms over the depth of nanowires, impurity distribution dynamic profiles were calculated for the samples obtained on the polished and ground surfaces of silicon wafers. Analysis of the dynamic profiles of the secondary ion mass spectroscopy for the distribution of Si-P compounds in samples of doped silicon nanowires revealed that the maximum concentration of phosphorus atoms in such samples is localized predominantly in the nanostructured layer, and a very small amount diffuses into the bulk silicon layer. The estimated depth of occurrence of the dopant in silicon nanowires is about 1300 nm.

**Keywords:** silicon nanowires, phosphorus doping, thermal diffusion, secondary ionic mass spectroscopy.

Журнал проблем эволюции открытых систем  
(Журнал ПЭОС)  
**ISBN 9965-01-766-2**

**ИБ №12124**

Подписано в печать 04.06.2018. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Объем 11,8 п.л. Тираж 60 экз. Заказ 3901.

Издательский дом «Қазақ университеті»

Казахского национального университета им. аль-Фараби.

050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті».

Изготовлено по заказу

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (ДГП)  
КазНУ им. аль-Фараби**