

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ЦЕНТРОМ УФИЦ РАН
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ ИМ. Р.Р. МАВЛЮТОВА УФИЦ РАН
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АКМУЛЛЫ**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ:
спутник Международной научной конференции
«Уфимская осенняя математическая школа-2020»**

**Тезисы докладов
XI Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых**

**11 – 14 ноября 2020 г.
г. Уфа**

**НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА»
УФА - 2020**

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3
Ф94

*Сборник издан за счёт финансовых средств
Научно-образовательного математического центра
Приволжского федерального округа,
дополнительное соглашение № 075-02-2020-1421/1
к соглашению № 075-02-2020-1421*

Редакционная коллегия:

д-р физ.-мат. наук, профессор **Б.Н. Хабибуллин** (отв. за выпуск);
д-р физ.-мат. наук, профессор **Е.Г. Екомасов** (отв. редактор);
канд. физ.-мат. наук, доцент **Л.А. Габдрахманова** (отв. редактор)
д-р физ.-мат. наук, профессор **О.А. Кривошеева**;
канд. физ.-мат. наук, доцент **Ф.К. Закирьянов**;
аспирант ФМиИТ БашГУ **А.С. Белова**

Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании:

Ф94 тезисы докладов XI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 11 – 14 ноября 2020 г.) / отв. ред. Е.Г. Екомасов, Л.А. Габдрахманова. – Уфа: НИЦ «АЭТЕРНА», 2020. – 255 с.

ISBN 978-5-00177-062-6

В сборник помещены тезисы докладов участников XI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании»: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2020».

Тезисы докладов воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3

ISBN 978-5-00177-062-6

© БашГУ, 2020
© НИЦ «АЭТЕРНА», 2020
© Коллектив авторов, 2020

СЕКЦИЯ «КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ»

УДК 517.7

ОБ ОПЕРАТОРЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Рахимова А.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Рассмотрим в пространстве целых функций $H(\mathbb{C})$ дифференциальный оператор n -го порядка k слагаемых:

$$D_k^n = c_1 \frac{d^n}{dz^n} + c_2 z \frac{d^{n-1}}{dz^{n-1}} + \dots + c_k z^k \frac{d^{n-k+1}}{dz^{n-k+1}}.$$

Оператор n -го порядка бесконечного числа слагаемых имеет вид:

$$D^n = c_1 \frac{d^n}{dz^n} + c_2 z \frac{d^{n-1}}{dz^{n-1}} + \dots + c_k z^k \frac{d^{n-k+1}}{dz^{n-k+1}} + \dots.$$

Напишем эти операторы в общем виде:

$$D_k^n = \sum_{s=1}^k c_s^n z^{ns-n} \frac{d^{ns}}{dz^{ns}},$$

где n и k — натуральные числа, $n < \infty$, $k \leq \infty$.

Теорема. Для конечного оператора выполняется оценка:

$$|D_k^n f(z_0)| \leq \frac{(k(n+1))! C}{r^n},$$

где $C = \max_{z \in B(0, |z_0|)} |f(z)|$, $r = |z_0|$.

Для последовательности операторов $\{D_k^n\}_{k=1}^{+\infty}$ получается следующее соотношение:

$$\dots > |D_k^n f(z)| > |D_{k-1}^n f(z)| > \dots > |D_1^n f(z)|.$$

Литература

1. Дильмухаметова А.М., Муллабаева А.У., Напалков В.В. Обобщение пространства Фока // Уфимский математический журнал. 2010. Т. 2, №1. С. 52 – 58.

© Рахимова А.И., 2020 г.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕОРЕМЫ МАЛЬЯВЕНА-РУБЕЛА НА КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Салимова А.Е., Хабибуллин Б.Н.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Основная теорема (обобщение [1], см. [2] –[3]). Для последовательности $\{z_k\}_{k=1,2,\dots}$ без предельных точек на комплексной плоскости с условием $\liminf_{k \rightarrow \infty} (\operatorname{Re} z_k)/|z_k| > 0$ и ненулевой целой функции экспоненциального типа g эквивалентны следующие два утверждения:

I. Найдётся ненулевая целая функция экспоненциального типа f , обращающаяся в нуль на $\{z_k\}_{k=1,2,\dots}$ с учётом кратности, и открытое подмножество E на вещественной оси конечной линейной лебеговой меры, для которых $|f(iy)| \leq |g(iy)|$ при всех вещественных значениях y вне E .

II. Существует вещественное число C , для которого

$$\max \left\{ \sum_{\substack{r < |z_k| \leq R \\ \operatorname{Re} z_k > 0}} \operatorname{Re} \frac{1}{z_k}, \sum_{\substack{r < |z_k| \leq R \\ \operatorname{Re} z_k < 0}} \operatorname{Re} \left(-\frac{1}{z_k} \right) \right\} \leq \frac{1}{2\pi} \int_r^R \frac{\ln|g(-iy)| + \ln|g(iy)|}{y^2} dy + C$$

при всех значениях $1 \leq r < R < +\infty$.

Этот результат имеет многочисленные приложения к вопросам полноты экспоненциальных систем в функциональных пространствах, представлению мероморфных функций, исследованию аналитических функционалов и их свёрток, аналитическому продолжению голоморфных функций и проч.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 20-31-90074 “Аспиранты”.

Литература

1. P. Malliavin, L.A. Rubel On small entire functions of exponential type with given zeros // Bull. Soc. Math. France, 1961, **89**:2, 175–201.
2. Салимова А.Е., Хабибуллин Б. Н. Распределение нулей целых функций экспоненциального типа с ограничениями на рост вдоль прямой // Математические заметки, 2020, **108**:4, 588–600.
3. Хабибуллин Б.Н., Салимова А.Е. Выметание мер и субгармонических функций на систему лучей. III. К теореме Мальявена-Рубела о малости роста целых функций экспоненциального типа // Статья направлена в журнал “Алгебра и анализ” в 2020 г.

© Салимова А.Е., Хабибуллин Б.Н., 2020 г.

СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»

УДК 517.984.5

ОБ АСИМПТОТИКЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛИЦЕВОЙ МАТРИЦЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

Воронин И.В.

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

Теплицевы матрицы это один из наиболее важных для приложений классов матриц, появляющийся в задачах фундаментальной математики, теоретической физики, механики, а также в многочисленных инженерных приложениях. Рассматривается теплицевая матрица с генерирующим многочленом $a(t) = \left(t - 2 + \frac{1}{t}\right)^3$. В работе [1] рассматривается общий подход для нахождения собственных значений симметричных теплицевых матриц, однако на генерирующий многочлен накладываются некоторые ограничения. В данной работе рассмотрен частный случай, однако из-за обращения в 0 на конце интервала второй производной, задача усложняется и не может быть решена методами работы [1].

Теорема 1 $g(\varphi) = a(e^{i\varphi})$ является собственным значением матрицы $T_n(a)$ тогда и только тогда, когда φ является корнем одно из уравнений:

$$\tan\left(\frac{n+3}{3}\varphi\right) = f(\varphi) \quad (1)$$

$$\cot\left(\frac{n+3}{3}\varphi\right) = h(\varphi) \quad (2)$$

где $g(\varphi)$ и $h(\varphi)$ явно заданные функции.

2) При достаточно большом n уравнения (1) и (2) в сумме имеют ровно n различных корней на интервале $(0, \pi)$. Причем корни уравнений (1) и (2) могут быть найдены сколь угодно точно с помощью соответствующих рекуррентных формул:

$$\varphi_{2j-1}^{(k+1)} = \frac{2}{n+3} [\pi j + \tan^{-1} f(\varphi_{2j-1}^{(k)})] \quad (3)$$

$$\varphi_{2j}^{(k+1)} = \frac{2}{n+3} [\pi j + \frac{\pi}{2} - \cot^{-1} h(\varphi_{2j}^{(k)})] \quad (4)$$

где k – номер итерации.

3) Погрешность собственного значения, найденного с помощью формул (3) и (4) можно равномерно оценить следующим образом

$$\lambda_j^{(k)} - \lambda_j = O\left(\frac{0.77^k}{n}\right) \quad (5)$$

Литература

1. А.А.Баталшчиков, С.М.Грудский, В.А.Стукопин Asymptotics of eigenvalues of symmetric Toeplitz band matrices. Linear Algebra and its Applications 469 (2015) 464–486.

© Воронин И.В., 2020 г.

**РАВНОМЕРНАЯ РЕЗОЛЬВЕНТНАЯ СХОДИМОСТЬ ДЛЯ
ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ В ОБЛАСТЯХ,
ПЕРФОРИРОВАННЫХ ВДОЛЬ ЗАДАННОГО МНОГООБРАЗИЯ**

Борисов Д.И., Мухаметрахимова А.И.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Пусть $x = (x_1, \dots, x_n)$ – декартовы координаты в \mathbb{R}^n , $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ – область с границей класса C^2 , $S \subset \Omega$ – многообразие без края класса C^2 коразмерности 1, ε – малый положительный параметр, $\eta = \eta(\varepsilon)$ – функция, удовлетворяющая неравенству: $0 < \eta(\varepsilon) \leq 1$, $\mathbb{M}^\varepsilon \subseteq \mathbb{N}$ – произвольное множество, M_k^ε , $k \in \mathbb{M}^\varepsilon$ – точки, принадлежащие окрестности S и удовлетворяющие условию: $dist(M_k^\varepsilon, S) \leq R_0\varepsilon$, где $R_0 > 0$ – константа, не зависящая от k и ε , $\omega_{k,\eta} \subset \mathbb{R}^n$, $k \in \mathbb{M}^\varepsilon$ – ограниченные области с границами класса C^2 . Обозначим: $\omega_k^\varepsilon := \{x: (x - M_k^\varepsilon)\varepsilon^{-1}\eta^{-1} \in \omega_{k,\eta}\}$, $\Omega^\varepsilon := \Omega \setminus \bigcup_{k \in \mathbb{M}^\varepsilon} \omega_k^\varepsilon$. Введём множества: $\theta^\varepsilon = \theta_D^\varepsilon \cup \theta_R^\varepsilon$, $\theta_i^\varepsilon = \bigcup_{k \in \mathbb{M}_i^\varepsilon} \omega_k^\varepsilon$, $i = D, R$, где $\mathbb{M}_D^\varepsilon \cap \mathbb{M}_R^\varepsilon = \emptyset$, $\mathbb{M}_D^\varepsilon \cup \mathbb{M}_R^\varepsilon = \mathbb{M}^\varepsilon$. Обозначим через $A_{ij} = A_{ij}(x)$, $A_i = A_i(x)$, $A_0 = A_0(x)$ функции, заданные в Ω и удовлетворяющие условиям: $A_{ij}, A_i \in W_\infty^1(\Omega)$, $A_0 \in L_\infty(\Omega)$, $A_{ij} = A_{ji}$, $i, j = 1, \dots, n$, $\sum_{i,j=1}^n A_{ij}(x) \xi_i \xi_j \geq C_0 |\xi|^2$, $x \in \Omega$, $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n) \in \mathbb{R}^n$, где $C_0 > 0$ – константа, не зависящая от x и ξ . Пусть $a = a(x, u)$ – функция, удовлетворяющая условиям: $|a(x, u_1) - a(x, u_2)| \leq a_0 |u_1 - u_2|$, $a(x, 0) = 0$, где a_0 – константа, не зависящая от x , u_1 и u_2 . Рассматривается краевая задача:

$$\left(-\sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} A_{ij} \frac{\partial}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^n A_j \frac{\partial}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \bar{A}_j + A_0 - \lambda \right) u_\varepsilon = f \text{ в } \Omega^\varepsilon, \quad u_\varepsilon = 0 \text{ на } \partial\Omega,$$

$$u_\varepsilon = 0 \text{ на } \partial\theta_D^\varepsilon, \quad \frac{\partial u_\varepsilon}{\partial n} + a(x, u_\varepsilon) = 0 \text{ на } \partial\theta_R^\varepsilon, \quad \frac{\partial}{\partial n} = \sum_{i,j=1}^n A_{ij} \cos(\vartheta, Ox_i) \frac{\partial}{\partial x_j},$$

где $f \in L_2(\Omega)$, λ – вещественное число, $\cos(\vartheta, Ox_i)$ – косинус угла между осью Ox_i и единичной нормалью ϑ к $\partial\theta_R^\varepsilon$, направленной внутрь множества θ_R^ε . Введем еще одну краевую задачу:

$$\left(-\sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} A_{ij} \frac{\partial}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^n A_j \frac{\partial}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} \bar{A}_j + A_0 - \lambda \right) u_0 = f \text{ в } \Omega, \quad u_0 = 0 \text{ на } \partial\Omega \cup S.$$

Наш основной результат утверждает, что при условии $\frac{\varepsilon}{\eta^{n-2}(\varepsilon)} \rightarrow +0$, $\varepsilon \rightarrow +0$ и некоторых дополнительных предположениях относительно многообразия S и отверстий ω_k^ε верно неравенство:

$$\|u_\varepsilon - u_0\|_{W_2^1(\Omega^\varepsilon)} \leq C \left(\frac{\varepsilon}{\eta^{n-2}(\varepsilon)} \right)^{\frac{1}{2}} \|f\|_{L_2(\Omega)},$$

где константа C не зависит от ε , η и f .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-11-19995).

© Борисов Д.И., Мухаметрахимова А.И., 2020 г.

УДК 517.518.

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ВЫРОЖДЕННОМ СЛУЧАЕ

Садриева Р.Т., Сидельникова Н.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В данной работе рассматривается асимптотическое поведение фундаментальной матрицы системы дифференциальных уравнений второго порядка при больших значениях переменной x в вырожденном случае.

Ключевые слова: системы дифференциальных уравнений, асимптотика, фундаментальная матрица системы, вырожденный случай.

In this work , we study the asymptotic behavior of the fundamental matrix of a system of second-order differential equations for large values variable x in the degenerate case. We consider a system of two equations on the interval $I = [a, b]$ (the finite or the infinite):

$$L(D,k) \equiv D^2 y(x) - k^2 A(x)y = 0,$$

here $D = d/dx$, k – a big parameter and $A(x)$ – a second-order matrix.

Keywords: asymptotic formulas, fundamental matrix, differential system, degenerate case.

Рассмотрим систему из двух уравнений на интервале $I = [a, b]$ (конечном или бесконечном):

$$L(D,k) \equiv D^2 y(x) - k^2 A(x)y = 0, (1)$$

где $D = d/dx$, k – большой параметр и $A(x)$ – матрица второго порядка.

При условии, что для элементов матрицы $A(x)$ выполняется:

$$a_{11}(x)a_{22}(x) = a_{12}(x)a_{21}(x),$$

получим, что собственные числа матрицы $A(x)$ имеют следующий вид:

$$\lambda_{-}(x) = 0, \lambda_{+}(x) = a_{11}(x) + a_{22}(x).$$

Далее мы сводим систему (1) к дифференциальному уравнению:

$$DY = kB(x)Y. \quad (2)$$

Затем мы доказываем, что дифференциальное уравнение (2) можно привести к L-диагональной системе, возвращаясь к исходной системе (1), получаем следующие асимптотические формулы для ее решения:

$$y_1^{(r)}(x, k) = n_{r1}(x, k) \exp \int_{x_0}^x w_1(t) dt, y_2^{(r)}(x, k) \\ = n_{r2}(x, k) \exp \int_{x_0}^x w_1(t) dt,$$

$$y_j^{(r)}(x, k) = n_{rj}(x, k) \exp \int_{x_0}^x w_{j-1}(t) dt, \quad r = 1, \dots, 4; j = 3, 4.$$

Литература

1. Султанаев Я. Т., Асимптотика спектра обыкновенных дифференциальных операторов в вырожденном случае, Дифференциальные уравнения, 18, 1992, № 10, 1694 – 1702.
2. Султанаев Я. Т., Асимптотика дискретного спектра одномерных дифференциальных операторов, Дифференциальные уравнения, 10, 1974, № 11, 2010 – 2020.
3. Султанаев Я. Т., Исламова Р. Т., Исследование уравнения для парциальных волн с быстро осциллирующим потенциалом, Матем. заметки, 79, 2006, № 2, 288 – 293.

© Садриева Р.Т., Сидельникова Н.А., 2020 г.

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

УДК 519.615.5, 69.04, 69.07

О СВЕРХВЫСОКИХ ЗДАНИЯХ С НАДУВНЫМ КАРКАСОМ

Шарипов Р.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Высота самого высокого здания на сегодняшний день составляет 828 метров. Дальнейшее увеличение высоты зданий с традиционным стальным каркасом сталкивается с ограничениями по весу и прочности материалов. Перспективы значительного увеличения высоты зданий связаны с использованием надувных конструкций с полимерной оболочкой. Идея строительства надувной башни высотой от 3 до 100 километров принадлежит российскому учёному и инженеру А.А. Болонкину, ныне проживающему в США. На основе этой идеи автором доклада в работе [1] произведён прочностной расчёт надувной колонны диаметром 1 метр, изготовленной из резины, армированной кевларом, и разделённой на сегменты высотой по 3 метра стальными платформами размером 1,5×1,5 метра и толщиной 1 см. Показано, что при использовании азота в качестве газа наполнителя высота колонны может достигать 5634 метров. При этом каждая такая колонна может нести 20 тонн нагрузки на её вершине и 1336 тонн нагрузки, распределённой по высоте. При полном весе в 2563 тонны такая колонна оказывает на основание давление в 45,2 мегапаскаль, что находится в пределах допусков для стальных оснований и для резиновых шлангов высокого давления с четырёхкратным запасом прочности. Пучки (связки) из подобных колонн могут служить каркасом для сверхвысоких зданий и для искусственных гор. Искусственные горы могут использоваться для создания горнолыжных трасс вблизи традиционно равнинных морских курортов Ближнего Востока, а также для регулирования климата путём перенаправления воздушных масс, например, тех, что формируют аллею торнадо в США. Ещё одним амбициозным проектом может стать строительство горы-пристройки к Эвересту с плоским плато наверху, где расположится аэропорт и автомобильная трасса, ведущая к вершине Эвереста.

Литература

1. Sharipov R.A., On upper limits for the height of inflated towers, e-print viXra:2008.0185, 2020.

© Шарипов Р. А., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНОЙ СТРУИ, ВЫТЕКАЮЩЕЙ ИЗ ПОВРЕЖДЕННОЙ СКВАЖИНЫ ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

Кильдибаева С.Р., Кильдибаева Г.Р.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
г. Стерлитамак, Россия

При глубоководной добыче нефти из залежей в шельфе Мирового океана может возникнуть повреждение скважины или трубопровода. Аварийный разлив может произойти из-за несоблюдения правил эксплуатации оборудования, несвоевременной проверки изношенности оборудования или нарушения технологии добычи. На рис.1 представлена схема течения многофазной затопленной струи из поврежденной скважины, когда углеводороды вытекают из скважины под углом к горизонту. В отличие от случая, когда углеводороды в струе движутся вертикально[1], динамика струи, процесс захвата воды в струю, а также динамика изменения теплофизических характеристик будет иной.

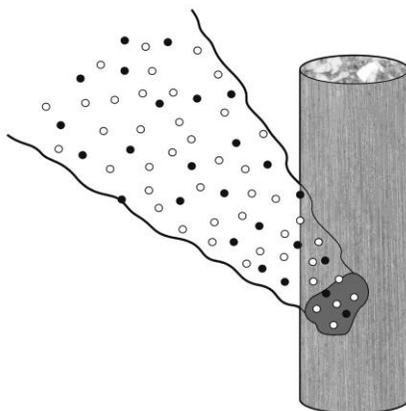


Рис. 1. Схема течения многофазной затопленной струи

Литература

1. Гималтдинов И. К. Модель затопленной струи с учетом двух предельных схем гидратообразования/ И.К. Гималтдинов, С.Р. Кильдибаева // Теплофизика и аэромеханика. 2018. Т. 25, № 1. С. 79-88.

© Кильдибаева С.Р., Кильдибаева Г.Р., 2020 г.

ЗАДАЧА О РАСПРОСТРАНЕНИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН В ПОРСТОЙ СРЕДЕ, НАСЫЩЕННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Ситдикова Л.Ф.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Исследование распространения волн давления различной интенсивности в насыщенных пористых средах является актуальным в связи с изучением эффективности временных защитных сооружений, вопросами акустического каротажа и зондирования [1-3].

В настоящей работе исследована эволюция импульса конечной длительности в пористой среде, насыщенной газожидкостной смесью, проанализированы две ситуации расположения пузырьков в пористой среде. Первая, когда пузырек охватывает несколько пор, и вторая ситуация – пузырьки газа намного меньше, чем размеры пор и находятся на стенках пор. Записана общая система уравнений и физических соотношений, описывающая распространение волн в пористой среде, заполненной пузырьковой жидкостью. Получены дисперсионные соотношения для обоих случаев, на основе которых исследована зависимость фазовой скорости и коэффициента затухания от частоты для «быстрой» и «медленной» волн.

Установлено, что для «медленной» (фильтрационной) волны существует три диапазона частот, где существенно различаются не только количественная, но и качественная картина дисперсионных кривых.

Методом быстрого преобразования Фурье исследована динамика волн конечной длительности для обоих случаев состояния газа в поровом пространстве. Получено, что «быстрая» волна сохраняет свою амплитуду и форму на достаточно большом расстоянии, в то время как «медленная» волна практически полностью затухает уже на расстоянии 0,1 м.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-60015.

Литература

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 2 М.: Наука. 1987. - 360 с.
2. Гималтдинов И.К., Дмитриев В.Л., Ситдикова Л.Ф. Динамика звуковых волн в насыщенных парогазовой смесью пористых средах. Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52, № 4. С. 572-580.
3. Губайдуллин, А.А. Распространение импульсных возмущений в цилиндрическом волноводе в насыщенной пузырьковой жидкостью пористой среде / А.А. Губайдуллин, О.Ю. Болдырева, Д.Н. Дудко // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2019. – Т. 5, № 1. – С. 111-122.

© Ситдикова Л.Ф., 2020 г.

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 517.958

ОСОБЕННОСТЬ ТИПА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ ОМБИЛИКИ ФОРМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Шавлуков А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Изучена типичная (с точки зрения математической теории катастроф) особенность омбилического типа формального асимптотического решения системы уравнений одномерной газовой динамики

$$\begin{cases} u_t + uu_x + 3A\rho\rho_x = 0, \\ \rho_t + (\rho u)_x = 0 \end{cases} \quad (1)$$

соответствующей политропе газа $p = A(\rho^3 - \rho_0^3)$, где A -- вещественная постоянная, ρ_0 -- начальная плотность газа. В уравнение течения входит $\rho^{-1} \frac{\partial p}{\partial \rho} = 3A$. Система (1) – частный случай общей модели одномерной газовой динамики

$$\begin{cases} u_t + uu_x + \alpha(\rho)\rho_x = 0, \\ \rho_t + (\rho u)_x = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где функция давления $\alpha(\rho)$ раскладывается в ряд Тейлора в окрестности точки $\rho_* > 0$.

В терминах инвариантов Римана $r = u + \sqrt{3A}\rho$, $l = u - \sqrt{3A}\rho$ система (1) представляется системой уравнений Хопфа:

$$\begin{cases} r_t + rr_x = 0, \\ l_t + ll_x = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Возмущение роста катастрофы при этом отличается от описанного в работе [1]. Выдвигается гипотеза о неточности, представленной в [1] классификации особенностей инвариантов Римана.

Исследование выполнено совместно с Б.И. Сулеймановым.

Литература

1. А. Х. Рахимов, “Особенности римановых инвариантов”, Функц. анализ и его прил., 27:1 (1993), 46–59; Funct. Anal. Appl., 27:1 (1993), 39–50

© Шавлуков А.М., 2020 г.

ОБОБЩЕННЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ И ЧАСТНЫЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Хакимова А.Р.

Институт математики с ВЦ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Обсуждается понятие обобщенного инвариантного многообразия (ОИМ) для нелинейного интегрируемого уравнения. Ранее было замечено, что ОИМ является эффективным инструментом построения оператора рекурсии и пары Лакса (см. [1]-[3]). В докладе предполагается обсуждение применения обобщенного инвариантного многообразия для построения частных решений нелинейного уравнения [4]. Для этого сначала находим инвариантное многообразие, зависящее от двух постоянных параметров. Затем предполагаем, что это обобщенное инвариантное многообразие, имеет решение в виде полинома от одного из постоянных параметров, и выводим обыкновенные дифференциальные уравнения для корней этого полинома. Эффективность метода подтверждается несколькими наглядными примерами.

Литература

1. Habibullin I.T., Khakimova A.R., Poptsova M.N. On a method for constructing the Lax pairs for nonlinear integrable equations // J. Phys. A: Math. Theor., 2016, v. 49, no. 3, 35 pp.
2. Habibullin I.T., Khakimova A.R. On a method for constructing the Lax pairs for integrable models via a quadratic ansatz // J. Phys. A: Math. Theor., 2017, v. 50, no. 30, 19 pp.
3. Хабибуллин И.Т., Хакимова А.Р. Прямой алгоритм построения операторов рекурсии и пар Лакса для интегрируемых моделей // ТМФ, 2018, v. 196, no. 2, с. 294-312.
4. Habibullin, I.T., Khakimova, A.R. Invariant manifolds and separation of the variables for integrable chains // J. Phys. A: Math. Theor., 2020, v. 53, no. 38, 17 pp.

©Хакимова А.Р., 2020 г.

**УСЛОВИЯ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ ДЛЯ
ДВУМЕРИЗОВАННЫХ ЦЕПОЧЕК ТИПА ЦЕПОЧКИ ТОДЫ**

Кузнецова М.Н.

Институт математики с ВЦ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Настоящий доклад подготовлен по результатам работ [1], [2]. Исследуется проблема интегрируемой классификации нелинейных дифференциально-разностных уравнений с тремя независимыми переменными [3], [4], [5]. При решении классификационной задачи мы пользуемся тем, что интегрируемая двумеризованная цепочка допускает бесконечное семейство редукций в виде систем уравнений в частных производных гиперболического типа, которые являются интегрируемыми в смысле Дарбу. При изучении редукции мы пользуемся следующим алгебраическим критерием интегрируемости по Дарбу: система интегрируема по Дарбу тогда и только тогда, когда ее характеристические алгебры Ли-Райнхарта по обоим направлениям конечномерны. На основе такого подхода в нашей работе получены необходимые условия интегрируемости для одного класса уравнений типа двумеризованной цепочки Тоды.

Литература

1. Habibullin, I.T., Kuznetsova, M.N., Sakieva, A.U., Integrability conditions for two-dimensional Toda-like equations // J. Phys. A: Math. Theor., 2020, v. 53 n. 39, 3952032, 25 pp.
2. Ferapontov, E.V., Habibullin, I.T., Kuznetsova, M.N., Novikov, V.S., On a class of 2D integrable lattice equations // J. Math.l Phys., 2020, v.61 n.7, 073505 , 15 pp.
3. Хабибуллин, И. Т., Кузнецова, М. Н., О классификационном алгоритме интегрируемых двумеризованных цепочек на основе алгебр Ли-Райнхарта // ТМФ, 2020, v.203, n.1., 161-173.
4. Kuznetsova, M.N. Classification of a subclass of quasilinear two-dimensional lattices by means of characteristic algebras // Ufa Math. J., 2019, v.11, n.3, 109–131.
5. Habibullin I., Kuznetsova M., Classification of a Subclass of Two-Dimensional Lattices via Characteristic Lie Rings // SIGMA, 2017, v. 13, 73 , 26 pp.

© Кузнецова М.Н., 2020 г.

О ПРЕДЕЛЬНОМ ПЕРЕХОДЕ В ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМАХ КИМУРЫ

Павленко В.А.

ИМ ВЦ УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В предыдущих работах мы говорили, что в настоящее время возрастает актуальность исследования дифференциальных уравнений, которые интегрируются методом изомонодромной деформации (ИДМ). Существует конечный список таких уравнений. К их числу относятся решения иерархии гамильтоновых вырождений системы Гарнье, выписанной в известной статье Кимуры [1].

В настоящий момент автором были рассмотрены некоторые из них. В каждой предыдущей работе автора были рассмотрены по два линейных эволюционных уравнения с временами t_1 и t_2 , которые зависели от двух пространственных переменных. Такие эволюционные уравнения можно рассматривать как аналоги уравнений Шредингера, которые определялись гамильтонианами Кимуры. В терминах решений соответствующих линейных ОДУ методом ИДМ были построены решения данных эволюционных уравнений.

В этой работе будет представлен предельный переход между гамильтоновыми системами Кимуры. Кимура выписывал свои системы в разных видах. Кимура указал только предельный переход в рациональном виде. Автору удалось найти переход и в других видах. С помощью этого предельного перехода также переходят и решения соответствующих уравнений Шредингера.

Литература

1. Hironobu Kimura. The degeneration of the two dimensional Garnier system and the polynomial Hamiltonian structure// Annali di Matematica pura et applicata IV. V. 155. No. 1. P. 25 - 74.

© Павленко В.А., 2020 г.

**ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В ОДНОМЕРНОЙ
МОДЕЛИ С ТРЕМЯ ПРИТЯГИВАЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ С
ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА**

Самсонов К.Ю.¹, Гумеров А.М.², Кудрявцев Р.В.³, Екомасов Е.Г.^{1,2}

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

²Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

³Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Уравнение синус-Гордона (УСГ) является одним из интенсивно изучаемых нелинейных дифференциальных уравнений математической физики. Данное уравнение описывает волновые процессы в самых разнообразных областях естествознания [1]. Найдены различные точные решения УСГ типа кинка, бризера и некоторые другие решения более сложного мультисолитонного типа.

Обычно для использования в реальных физических моделях требуется модификация УСГ, например, путем добавления дополнительных слагаемых и функций. Они могут описывать наличие внешней силы, диссипации в системе, неоднородность параметров среды и др. Хотя получаемое в результате модифицированное уравнение синус-Гордона (МУСГ) уже не имеет точных аналитических решений, разработан и широко применяется ряд аналитических методов (например, теория возмущений для солитонов или метод коллективных координат).

Интересно с точки зрения физических приложений изучение влияния пространственной модуляции периодического потенциала (или примеси) на динамику солитонов УСГ. Возбуждение локализованной на примеси волны (примесной моды) в результате рассеяния кинка приводит к значительному изменению его динамики. Ранее были проанализированы структура и свойства локализованных нелинейных волн, возбужденных на одной и двух примесях [2,3]. Было показано, что притягивающая примесь может быть использована для возбуждения мультисолитонов УСГ. В случае, когда на двух примесях возбуждаются локализованные примесные волны, аналитически показано, что их колебания можно описать системой двух гармонических осцилляторов со связью упругого типа. Аналитические результаты качественно совпадают с результатами численного моделирования УСГ (как для двух точечных, так и для двух протяженных примесей). Случай двух примесей дает большее разнообразие новых мультисолитонных решений и динамических эффектов по сравнению со случаем одной примеси. Можно ожидать еще большего разнообразия решений и эффектов при наличии трёх и более примесей в системе.

В данной работе исследована динамика примесных мод в модели синус-Гордона с тремя одинаковыми точечными притягивающими примесями, находящимися на одинаковом расстоянии друг от друга. С помощью метода коллективных переменных получена система дифференциальных уравнений

(1), приближенно описывающая колебания примесных мод. Полученные уравнения представляют собой уравнения колебательной системы с тремя степенями свободы или трёх связанных гармонических осцилляторов. Колебания системы представляют собой сумму трёх типов гармонических колебаний: синфазного, синфазно-антифазного и антифазного. Найдена зависимость частот гармонических колебаний и их коэффициентов, определяющих, наряду с начальными условиями, вклад каждой гармоники в колебания примесных мод, от величин неоднородности и расстояния между примесями. Вычислены пределы квадратов частот и коэффициентов при бесконечном расстоянии между примесями, соответствующем случаю невзаимодействующих примесных мод. При уменьшении расстояния между примесями частота синфазных колебаний уменьшается, частота синфазно-антифазных колебаний увеличивается, частота антифазных колебаний увеличивается не так быстро по сравнению с синфазно-антифазным случаем. Найдены зависимости амплитуд примесных мод от времени. В случае возбуждения одной гармоники наблюдаемые колебания гармонические. При возбуждении двух гармоник возникают биения, колебания похожи на колебания в случае двух одинаковых примесей. При возбуждении трёх гармоник форма колебаний сильно усложняется. Показано, что рассмотренная модель может быть использована, например, для описания и управления динамикой волн намагничённости в мультислойных магнетиках.

$$\begin{cases} \ddot{a}_1 + a_1 \omega_1^2 + a_2 k_{12} + a_3 k_{13} = 0 \\ \ddot{a}_2 + a_2 \omega_2^2 + (a_1 + a_3) k_{21} = 0 \\ \ddot{a}_3 + a_3 \omega_3^2 + a_1 k_{13} + a_2 k_{12} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Где a_1, a_2, a_3 – амплитуды примесных мод, локализованных на первой, второй и третьей примесях, $\omega_1^2, \omega_2^2, k_{12}, k_{21}, k_{13}$ – параметры, связанные с размерами примеси и расстоянием примесей друг от друга.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90048.

Литература

1. Cuevas-Maraver, J. The Sine-Gordon Model and Its Applications: From Pendula and Josephson Junctions to Gravity and High-energy Physics / J. Cuevas-Maraver, P. G. Kevrekidis, F. Williams (Eds.) // Springer. — 2014. — V. 10. — P. 263.
2. Ekomasov, E. G., Gumerov, A. M., and Murtazin, R. R., Interaction of Sine-Gordon Solitons in the Model with Attracting Impurities, *Math. Models Methods Appl. Sci.*, 2016, vol. 40, no. 17, pp. 6178–6186.
3. Ekomasov, E. G., Gumerov, A. M., Kudryavtsev, R. V., Dmitriev, S. V., and Nazarov, V. N., Multisoliton Dynamics in the Sine-Gordon Model with Two Point Impurities, *Braz. J. Phys.*, 2018, vol. 48, no. 6, pp. 576–584.

*© Самсонов К.Ю., Гумеров А.М.,
Кудрявцев Р.В., Екомасов Е.Г., 2020 г.*

ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ sin-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ПРИМЕСЬЮ

¹Нерадовский Д.Ф., ¹Самсонов К.Ю., ²Салимов Р.К., ²Екомасов Е.Г.

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

²Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Одним из простейших модельных уравнений, используемых для изучения нелинейных волновых процессов в теоретической и математической физике, служит уравнение синус-Гордона (УСГ) [1]. Для описания эффектов, вызванных взаимодействием волн с примесями нужно модифицировать УСГ. Это можно сделать включением возмущения периодического потенциала в исходной модели синус-Гордона [2]. Выбор возмущения зависит от того, как примесь влияет на энергетический рельеф: увеличивает (барьер) или уменьшает (яма) фоновый периодический потенциал [2].

В данной работе рассматривается трехмерное УСГ с периодическим потенциалом, возмущенным сферически-симметричной примесью, которая моделируется функцией $f(r)$.

$$u_{rr} + \frac{2}{r}u_r - u_u = (1 + f(r))\sin u \quad (1)$$

Рассмотрим локализованные стационарные решения $u(r)$, имеющие смысл связанных состояний в потенциальной яме. Эти решения ищутся путем подходящего выбора пробных функций вида:

$$u(r) = \begin{cases} u_1(r), & 0 \leq r < W, \\ u_2(r), & r \geq W, \end{cases} \quad (2)$$

где функция $u_1(r)$ достигает максимума в точке $r = 0$, $u_2(r)$ определяется как решение невозмущенного УСГ в сферически симметричном случае вдали от начала координат, а значение W характеризует ширину примеси. На границе примеси должны выполняться условия сшивания решений (2):

$$u_1(W) = u_2(W), \quad u_1'(W) = u_2'(W). \quad (3)$$

Показано, что в этом случае функция, описывающая пространственную неоднородность периодического потенциала будет иметь вид «потенциальной ямы», глубина которой зависит от параметра ширины W . С

увеличением ширины «ямы» ее максимальная глубина убывает, стремясь к нулю, т.е. $\lim_{W \rightarrow \infty} f(r=0, W) = 0$.

Таким образом, пространственная неоднородность, моделируемая возмущением периодического потенциала в модели синус-Гордона, типа «потенциальной ямы», допускает существование стационарных, локализованных решений модифицированного УСГ в трехмерном случае, аналогичных связанным состояниям при наличии потенциальной ямы в системе в квантовой механике.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90048.

Литература

1. Браун, О.М. Модель Френкеля-Конторовой: Концепции, методы, приложения // О.М. Браун, Ю.С. Кившарь. Пер. с англ. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 536с.
2. Екомасов, Е.Г. Солитоны модифицированного уравнения синус-Гордона. Учебное пособие // Е.Г. Екомасов. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2009. — 94 с.

*© Нерадовский Д. Ф., Самсонов К. Ю.,
Салимов Р. К., Екомасов Е. Г., 2020 г.*

СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

УДК 539.3

СКОМКАННЫЙ ГРАФЕН КАК МАТРИЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА НИКЕЛЬ-ГРАФЕН

Сафина Л.Р.¹, Баимова Ю.А.²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Исследование взаимодействия углеродных материалов с металлическими наночастицами представляет большой интерес в современном материаловедении [1]. В данной работе методом молекулярно-динамического моделирования исследуется получение композита графен-никель, где в качестве матрицы служит скомканный графен, а в качестве наполнителя – наночастицы никеля (рис. 1). Для того, чтобы сформировать прочный композитный материал, к начальной (рис.1), довольно рыхлой структуре, прикладывается гидростатическое сжатие до максимально возможных плотностей при повышенных температурах.

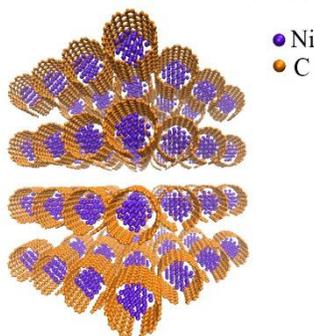


Рис. 1. Начальный вид скомканного графена,
содержащего наночастицы никеля

Проведенное моделирование показало, что использование скомканного графена в качестве матрицы композита никель-графен – это один из перспективных направлений получения прочных композитных структур.

Литература

1. Safina L.R., Baimova J A., Mulyukov R.R. Nickel nanoparticles inside carbon nanostructures: atomistic simulation // Mech. Adv. Mater. Mod. Process. 2019, v.5, pp.1-11.

© Сафина Л.Р., Баимова Ю.А., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ФРУСТРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ИЗИНГА С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Муртазаев К.Ш., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А.
Институт физики ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия

Исследование фазовых переходов (ФП) и критических явлений фрустрированных спиновых систем в настоящее время является одним из наиболее актуальных и сложных задач в области физики конденсированных сред [1,2]. Это связано с тем, что основное состояние системы сильно вырождено при наличии фрустраций. [3-7]. Репличный алгоритм метода МК безусловно является мощным аппаратом для решения таких задач. Поэтому в данном исследовании был использован высокоэффективный репличный обменный алгоритм метода МК.

Гамильтониан антиферромагнитной модели Изинга на объемно-центрированной кубической (ОЦК) решетке с учетом взаимодействия первых и вторых ближайших соседей, а также внешнего магнитного поля имеет следующий вид:

$$H = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} (S_i \cdot S_j) - J_2 \sum_{\langle i,l \rangle} (S_i \cdot S_l) - H \sum_{\langle i \rangle} S_i, \quad (1)$$

где J_1 и J_2 – константы обменного антиферромагнитного взаимодействия первых ($J_1 < 0$) и вторых ($J_2 < 0$) ближайших соседей, $S_{i,j,l} = \pm 1$ – изинговский спин, H – величина магнитного поля (величина магнитного поля приводится

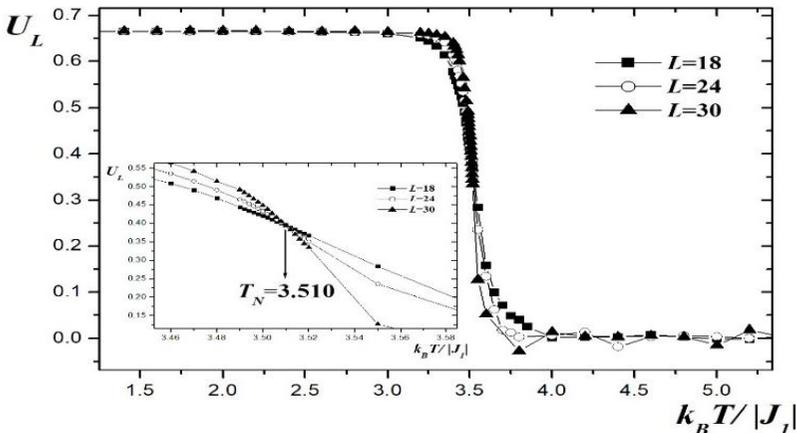


Рис. 1. Зависимость кумулянта Биндера U_L от температуры $k_B T / |J_1|$ для разных L при $H=6$.

в единицах H/J_1). В данной работе рассматривается случай, когда $r=|J_2|/|J_1|=1.0$.

Расчеты проводились для систем с периодическими граничными условиями и линейными размерами $2 \times L \times L \times L = N$, $L=18 \div 90$, где L измеряется в размерах элементарной ячейки. Величина значений внешнего магнитного поля менялось в интервале $0.0 \leq H \leq 6.0$. Для анализа природы и характера ФП использовались гистограммный метод и метод кумулянтов Биндера.

Зависимости кумулянта Биндера U_L от температуры при $H=6$ для разных значений L представлены на рисунке 1. На рисунке видна четко выраженная точка пересечения ($T_N=3.510$), которая является критической температурой и свидетельствует о ФП второго рода [8].

Выполнено исследование трехмерной антиферромагнитной модели Изинга на объемно-центрированной кубической решетке с учетом взаимодействия первых и вторых ближайших соседей, а также внешнего магнитного поля. Рассмотрен интервал значений величины магнитного поля $0.0 \leq H \leq 6.0$. Установлено, что для всех значений магнитных полей в рассмотренном интервале наблюдается фазовый переход второго рода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90079-аспиранты и № 19-02-00153 –А.

Литература

1. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. Наука, М. (1982).
2. Ш.Ма. Современная теория критических явлений. Мир, М.(1980).
3. А.К. Муртазаев, М.К. Рамазанов, Ф.А. Кассан-Оглы, Д.Р. Курбанова. ЖЭТФ. 147, 1 (2015).
4. F.A. Kassan-Ogly, A. K. Murtazaev, A. K. Zhuravlev, M. K. Ramazanov, A.I. Proshkin // J. Mag. Mag. Mater. 384, 247 (2015).
5. Муртазаев А.К., Рамазанов М.К. Письма в ЖЭТФ 101 (2015).
6. Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Бадиев М.К. ЖЭТФ. 142, 2 (2012).
7. А.К.Murtazaev, М.К.Ramazanov, М.К.Badiev, Physica B: Condensed Matter 476, 1 (2015).
8. Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Муртазаев К.Ш., Магомедов М.А., Бадиев М.К. ФТТ 62, 2 (2020).

© Муртазаев К.Ш., Муртазаев А.К.,
Рамазанов М.К., Магомедов М.А., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ МАГНИТОТВЕРДОЙ/МАГНИТОМЯГКОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К.

Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН, г. Махачкала, Россия
Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

Основной характеристикой магнитотвердых материалов является максимальная величина энергетического произведения $(BH)_{max}$. В 1991 году был предложен альтернативный способ для увеличения показателя $(BH)_{max}$ путем создания композитных материалов с чередующимися магнитотвердыми и магнитомягкими слоями [1]. Такие магниты называют обменно-связанными, и они приводят к возникновению ряда необычных явлений, таких как формирование во внешнем магнитном поле одномерной гетерофазной спиновой пружины [2].

Для исследования магнитотвердого/магнитомягкого бислоя была использована модель [2-5]. Гамильтониан модели был представлен в виде:

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i,j} J(S_i^x S_j^x + S_i^y S_j^y) - \sum_i K(S_i^x)^2 - g\mu_B \sum_i (H_0^x S_i^x + H_0^y S_i^y) \quad (1)$$

где первая сумма учитывает обменное взаимодействие каждого магнитного атома с ближайшими соседями внутри слоев; вторая сумма учитывает вклад анизотропии в энергию системы; третья сумма – вклад внешнего магнитного поля, $g \approx 2$ – фактор Ланде, μ_B - магнетон Бора, $H_0^{x,y}$ – проекции внешнего магнитного поля \mathbf{H}_0 , $S_i^{x,y}$ – проекции спина, локализованного на узле i .

Расчеты проводились стандартным алгоритмом Метрополиса метода Монте-Карло для систем с линейными размерами $Lx \times Ly \times Lz$, при температуре T намного ниже T_c для модели магнитного бислоя [2]. Вдоль x - и y -направлений линейные размеры системы были равны $Lx = Ly = 50$, а вдоль z -оси – $Lz = 100$.

Рассматривались две системы:

1. hard/soft/hard – толщина каждого магнитотвердого слоя принимала значение 25 атомных монослоев, а магнитомягкого 50, соответственно.
2. soft/hard/soft – толщина магнитотвердого слоя принимала значение 50 атомных монослоев, а магнитомягкого 25 каждая.

Мы исследовали полевые зависимости общей намагниченности, намагниченности магнитотвердого и магнитомягкого слоев модели трехслойной гетероструктуры, а также их продольных и поперечных составляющих. Провели сравнение полученных результатов с результатами для двухслойной модели, полученные нами ранее [5].

На рис. 1. приведены кривые перемагничивания для двухслойной и трехслойной магнитотвердой/магнитомягкой гетероструктуры. Из рисунка видно, что увеличение многослойности системы при сохранении толщины магнитотвердого и магнитомягкого слоев приводит к улучшению магнитожестких свойств модели. Критическое поле перемагничивания H_{irr} для трехслойной структуры выросло на 25-30 %, а поле обменного смещения H_{ex} на 150 % относительно значений для двухслойной модели

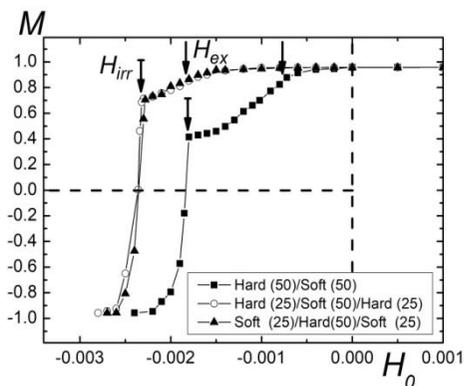


Рис. 1. Кривые перемагничивания моделей двухслойной и трехслойной магнитотвердой/магнитомягкой гетероструктур

Литература

1. Kneller E. F., Hawig R. The exchange-spring magnet: a new material principle for permanent magnets // IEEE Trans. Magn., 1991, v. 27, pp. 3588–3600.
2. Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К. Исследование процессов перемагничивания модели магнитотвердого/магнитомягкого бислоя методом Монте-Карло // ЖЭТФ., 2017, Т. 151 (6), с. 1084–1091.
3. Тааев Т.А., Khizriev K.Sh., Murtazaev A.K., Uzdin V.M. Magnetization reversal of hard/soft magnetic bilayer // J. Alloys and Comp. 2019. Vol. 785. pp. 1253-1256.
4. Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К. Исследование влияния констант обменного взаимодействия на процессы перемагничивания модели магнитотвердого/магнитомягкого бислоя // ЖЭТФ. 2019. Т. 156, с. 331-337.
5. Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К. Влияние магнитомягкой фазы на процессы перемагничивания магнитотвердого/ магнитомягкого бислоя // ФГТ, 2020, вып. 6, с. 846-850.

© Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К., 2020 г.

ПЛОТНОСТЬ СОСТОЯНИЙ И СТРУКТУРА ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ДЕНДРИМЕРА

Исаева М.М.¹, Магомедов М.А.^{1,2}

¹Институт физики Дагестанского федерального исследовательского центра
РАН, г. Махачкала, Россия

²Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН,
г. Махачкала, Россия

Создание лекарственного средства, направленного непосредственно на пораженные клетки, ткани или органы без воздействия на здоровые клетки является сложной задачей. Наиболее важными характеристиками необходимыми для эффективного нацеливания являются, термодинамическая стабильность, защищенность переносимого препарата, замедленное высвобождение. Обладая всеми этими характеристиками благодаря своей сверхразветвленной структуре дендримеры имеют значительное преимущество перед аналогами [1]. Дендритные структуры можно применять двумя способами: в качестве терапевтических носителей нерастворимых в воде лекарств, также их можно использовать как фармацевтические носители, наноконтейнеры для переноса препарата. Среди дендритных соединений все большее внимание привлекают жидкокристаллические полимеры, так как обладают высокой стабильностью как *in vitro*, так и *in vivo* с хорошей биосовместимостью.

Для использования дендритных структур в медицине и в фармакологии необходимо тщательно изучить термодинамические свойства. Наименее ресурсозатратным, но в то же время эффективным и точным является метод компьютерного моделирования. Для описания структуры, нами использовалась модель магнитного дендримера. При построении модели было оценено взаимодействие, как в самом ядре, так и взаимодействие первых и вторых ближайших соседей. Взаимодействие в ядре оценивается параметром обменного взаимодействия J_0 , взаимодействие между спинами в разных подрешетках характеризует параметр J_1 , а J_2 учитывает взаимодействие между спинами в одной решетке. Модель построенная таким образом представлена на рисунке 1.

С учетом всех параметров взаимодействия гамильтониан модели может быть записан в следующем виде:

$$H = -J_0 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - J_2 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j \quad (1).$$

В данной работе нами использован алгоритм Ванга-Ландау метода Монте-Карло [1-3], который позволяет выяснить магнитную структуру

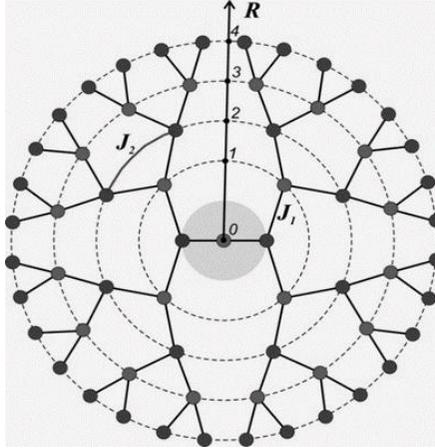


Рис.1. Модель магнитного дендримера

основного состояния и вычислить функцию плотности состояния. Получив значение плотности вероятности можно рассчитать значения термодинамических характеристик, таких как внутренняя энергия U , свободная энергия F , энтропия S и теплоемкость C , используя следующие выражения:

$$U(T) = \frac{\sum_E E g(E) e^{-E/k_B T}}{\sum_E g(E) e^{-E/k_B T}} \equiv \langle E \rangle_T, \quad (2)$$

$$F(T) = -k_B T \ln \left(\sum_E g(E) e^{-E/k_B T} \right), \quad (3)$$

$$S(T) = \frac{U(T) - F(T)}{T}, \quad (4)$$

$$C(T) = \frac{\partial U(T)}{\partial T} = \frac{\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2}{k_B T^2}. \quad (5)$$

Далее приводятся результаты компьютерного моделирования для исследованной модели при различных значениях обменных взаимодействий J_1 и J_2 .

Как видно из рисунка 2, вырождение основного состояния и фрустрация возникает в системе при отрицательном значении параметра обменного

взаимодействия вторых ближайших соседей, то есть при $J_2 = -1$, в остальных случаях система упорядочена.

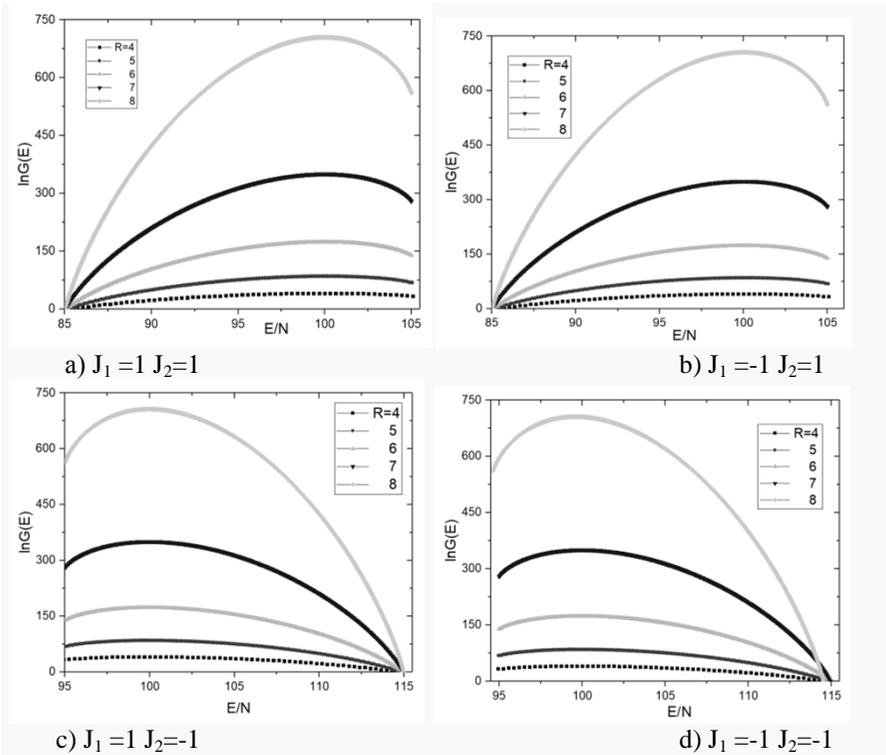


Рис. 2. Плотность состояний магнитных дендримров при различных значениях J_1 и J_2 , а также при различных линейных размерах системы

Литература

1. Tomalia D. A., Baker H., Dewald J. [et. al] A New Class of Polymers: Starburst-Dendritic Macromolecules // Polym. J. – 1985. – Vol. 17, № 1. – P. 117-132.
2. Landau D.P., Tsai S.-H., Exler M. A new approach to Monte Carlo simulations in statistical physics: Wang-Landau sampling // Am. J. Phys., 2004. V. 72(10): p. 1294-1302.
3. Ramazanov M.K., Murtazaev A.K., Magomedov M.A. Thermodynamic, critical properties and phase transitions of the Ising model on a square lattice with competing interactions // Solid State Communications. 2016. V. 233. P.35-40.

© Исаева М.М., Магомедов М.А., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЛАБО РАЗБАВЛЕННОЙ 2D МОДЕЛИ ПОТТСА ПРИ $Q=5$

Муртазаев А.К.^{1,2}, Бабаев А.Б.^{1,3}, Атаева Г.Я.¹, Муртазаева А.А.^{1,2}

¹Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН,

г. Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный педагогический университет,

г. Махачкала, Россия

Реальные системы редко оказываются идеально однородными, обычно им присущи несовершенства (примеси и дефекты структуры), которые влияют на фазовые переходы (ФП) и критические явления (КЯ) магнитных систем, в частности присутствие немагнитных примесей в системе может изменить род ФП, и эта проблема актуальна и по сей день [1,2]. В рассматриваемой работе исследованы ФП в двумерной слабо разбавленной модели Поттса с числом состояний спина $q=5$ на квадратной решетке при концентрации спинов $p=1.00, 0.90, 0.80$. Исследования проведены на основе кластерного алгоритма Вольфа метода Монте-Карло (МК). Что касается модели, единственным достоверным фактом является, то, что в чистой модели происходит ФП первого рода согласно аналитическим методам [3].

Гамильтониан двумерной слабо разбавленной модели Поттса может быть, представлен в следующем виде [3]:

$$H = -\frac{J}{2} \sum_{i,j} \rho_i \rho_j \cos \theta_{i,j}, \quad (1)$$

$\theta_{i,j}$ -угол между взаимодействующими спинами S_i - S_j , где J -параметр обменного ферромагнитного взаимодействия ближайших соседей, $\rho_i=1$, если узел i занят магнитным атомом, и $\rho_i=0$, если в i узле немагнитный примесь. Исследовались системы с линейными размерами $L \times L=N$, $L=10 \div 120$.

Для определения критических температур и рода ФП был задействован метод кумулянтов Биндера четвертого порядка (4).

$$V_L(T, p) = 1 - \frac{\langle E^4(T, p; L) \rangle_L}{3 \langle E^2(T, p; L) \rangle_L^2}, \quad (2)$$

$$U_L(T, p) = 1 - \frac{\langle m^4(T, p; L) \rangle_L}{3 \langle m^2(T, p; L) \rangle_L^2}, \quad (3)$$

где E -энергия и m -намагниченность системы с линейным размером L . Выражения (2) и (3) позволяют определить температуру ФП $T(p)$ с большой точностью.

Характерные зависимости кумулянтов Биндера $V_L(T, p)$ от температуры для систем с разными линейными размерами при $p=0.80$ приведены на

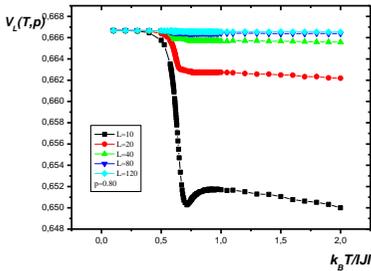


Рис.1. Температурная зависимость кумулянтов Биндера $V_L(T, p)$ для слабо разбавленной модели Поттса при $p=0.80$

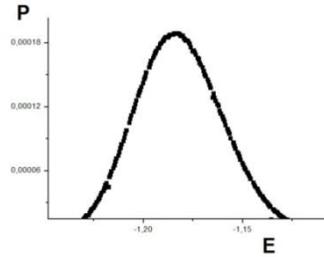


Рис.2. Гистограмма распределения энергии для двумерной слабо разбавленной модели Поттса с $q=5$ при $p=0.80$

рис. 1. Из рисунка видно, что нетривиальная величина $V^* \rightarrow 2/3$ в соответствии с выражением $V(T, p) = V^* + bL^{-d}$ при $L \rightarrow \infty$. Такое поведение, как известно характерно для ФП второго рода.

Так же для анализа рода ФП нами использовался и гистограммный анализ данных метода МК [5-7]. Отсутствие бимодальности в гистограмме распределения энергии и один ярко выраженный максимум (см. рис.2), является характерным признаком ФП второго рода.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в двумерной ферромагнитной модели Поттса с $q=5$ в отсутствии структурного беспорядка происходит ФП первого рода в соответствии с предсказаниями теоретических методов [3]. Внесение замороженного беспорядка ($c=1-p$) в виде немагнитных примесей, каноническим способом, в рассматриваемую модель, приводит к смене ФП первого рода на ФП второго рода.

Литература

1. Доценко В.С. // УФН 165, 5, 481, 1995.
2. Фольк Р., Головач Ю., Яворский Т. // УФН 173, 175, 2003.
3. Wu F.Y. // *Exactly Solved Models: A Journey in Statistical Mechanics* World Scientific London, 2009.
4. Eichhorn K., Binder K. // J. Phys.: Cond. Matter. 8, 5209 1996.
5. Муртазаев А.К., Бабаев А.Б. // *Письма в ЖЭТФ* 99 618, 2014.
6. Муртазаев А.К., Бабаев А.Б., Атаева Г.Я. // *ФТТ* 62, вып.7, 1088-1090, 2020.
7. Alves N.A., Berg B.A., and Villanova R. // Phys. Rev. B41, 383, 1990.

© Муртазаев А.К., Бабаев А.Б.,
Атаева Г.Я., Муртазаева А.А., 2020 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ В РЕАКЦИИ ИНГИБИРОВАННОГО ОКИСЛЕНИЯ Н-ДЕКАНА

Султангалеева Д.А., Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Окисление органических соединений относится к классу вырожденно-разветвленных цепных реакций, механизм которых широко изучен. В присутствии добавок ингибиторов на кинетических кривых поглощения кислорода появляется период индукции. Период индукции – одна из важных кинетических особенностей самоускоряющихся реакций. Величины периода индукции используются для описания кинетического поведения реакционной системы, выявления деталей механизмов реакций, характеристики активности ингибиторов. Период индукции является количественной характеристикой действия ингибиторов окисления и определяется как интервал времени, в течение которого молекулам ингибитора удастся тормозить процесс окисления. Экспериментально период индукции отсчитывается с момента, когда реакция начала протекать в режиме прогрессирующего самоускорения и до момента, при котором это самоускорение резко усиливается.

В настоящей работе использован программный комплекс для моделирования периода индукции в реакции ингибированного α -нафтиламиноом окисления н-декана. Для математической идентификации кинетической модели реакции ингибированного окисления н-декана применялся программный комплекс, разработанный при поддержке фонда Бортника в рамках программы «У.М.Н.И.К.». Решение прямой кинетической задачи проводили полуявным методом Мишельсена с автоматическим выбором шага интегрирования. Решение обратных кинетических задач осуществлялось при помощи интегрированного в ХимКинОптим индексного метода глобальной оптимизации, разрабатываемого в Нижегородской школе глобальной оптимизации, использующего технологии параллельных вычислений.

В лабораторных условиях модельная реакция ингибированного окисления н-декана проводилась при температуре 90°C. В ходе эксперимента наблюдается поглощение кислорода. Кинетика поглощения кислорода измеряется на универсальной дифференциальной манометрической установке. Константы скорости элементарных реакций окисления н-декана подобраны, исходя из литературных данных.

Результаты расчетов показали совпадение индукционных периодов с экспериментальными данными, как по поглощению кислорода, так и по накоплению первичного молекулярного продукта окисления – гидроперекиси для реакции ингибированного окисления декана.

АКТУАРНЫЕ РАСЧЕТЫ В НЕГОСУДАРСТВЕННОМ ПЕНСИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Анохина К.О., Саяпова Е.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Актuarные расчеты в пенсионном деле востребованы как при организации НПФ (разработка пенсионных схем, расчет тарифов, резервов), так и на других этапах его текущей деятельности, наиболее важным из которых является оценка способности пенсионного фонда отвечать по своим обязательствам перед участниками.

В первую очередь для оценки НПФ нужно выбрать круг участников, который будет учитываться.

Существует два метода:

1) Метод закрытой группы - анализ охватывает только существующих на дату оценивания участников фонда.

2) Метод открытой группы - учитывается более широкий круг участников – не только существующих, но и будущих.

Актuarное оценивание НПФ заключается в расчете коэффициента фондируемости. Он рассчитывается путем сопоставления сумм накопленных активов (А) фонда и имеющихся обязательств по выплате пенсий существующим пенсионерам и участникам, выслужившим право на пенсии (R). Главное в методе закрытой группы определение разности (А – R). В том случае, когда итог отрицателен, получается количество активов недостаточно для покрытия разности современной стоимости потоков взносов и выплат, то это указывает на актuarный дефицит фонда.

Была разработана программа для расчета актuarного баланса. С её помощью можно оценить возможность НПФ платить по своим обязательствам. Мы провели анализ результатов возможности фондов платить по обязательствам на примере АО «НПФ ВТБ Пенсионный фонд», АО «НПФ Газпромбанк-фонд», ОАО Межрегиональный НПФ «АКВИЛОН». Данные для расчета были взяты с финансовой отчетности выбранных фондов.

По таблице 1 видно, что актuarный дефицит не установлен у всех фондов, превышение стоимости активов над обязательствами присутствует у всех, но самое большое у АО «НПФ ВТБ Пенсионный фонд». В результате сопоставления активов и обязательств ОАО Межрегионального негосударственного пенсионного фонда «АКВИЛОН» по НПО стоимость обязательств не покрывается активами пенсионных резервов, но покрывается активами пенсионных резервов и собственных средств.

Разработанный программный модуль, может быть эффективно использован, как пенсионными фондами для оценки собственной деятельности, так и для их клиентов. При написании практического

приложения были использованы: среда программирования Microsoft Visual Studio 2013, язык программирования C#.

Таблица 1

Результат оценивания фондов

Показатель	АО «НПФ ВТБ Пенсионный фонд»	АО «НПФ Газпромбанк-фонд»	ОАО Межрегиональный негосударственный пенсионный фонд «АКВИЛОН»
Превышение стоимости активов над стоимостью обязательств (в рублях)	51 456 003	1 745 284	317 610
Актuarный дефицит	Не установлен	Не установлен	Не установлен

Литература

1. Четыркин, Е.М. Актuarные расчеты в негосударственном пенсионном и медицинском страховании. – М.: ДЕЛО, 2002–с 8-152
2. Вавулин, Д.А. Роль негосударственных пенсионных фондов в системе обязательного пенсионного страхования /Д.А. Вавулин В.Н. Федотов // Финансы и кредит – 2015–с 57-67
3. Четыркин, П.М. Принципы финансирования систем пенсионного обеспечения / П.М. Четыркин // МЭ и МО. -2012 – С.19.

© Анохина К.О., Саянова Е.В., 2020 г.

УДК 004.942

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Хисаметдинова С.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

На сегодняшний день почти в каждой предметной области можно использовать нейросетевые технологии. Эффективность применения нейросетевых технологий обусловлена целым рядом факторов:

- Нет необходимости в подробном программировании процесса решения таких задач;
- Высока вероятность успешного решения даже тех задач, которые не имеют алгоритмов решения;

- Способность нейронных сетей приспосабливаться к различным условиям функционирования, обучения и переобучения.

Данная работа посвящена применению аппарата нейронных сетей для математического моделирования достижений студентов. Целью данной работы является разработка и программная реализация нейросетевой модели для прогнозирования профессиональных и личных достижений студентов на основе сведений об их успеваемости.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Изучены теоретические основы нейросетевого моделирования программного обеспечения;

- Разработана нейросетевая модель прогнозирования профессиональных и личных достижений студентов на основе сведений об успеваемости.

- Разработана и обучена нейронная сеть на основе данных об успеваемости студентов.

- Проведены вычислительные эксперименты.

Входные параметры сети x_1, x_2, \dots, x_n – это успеваемость студентов (оценки за экзамены). Выходные величины – определяют, чего они достигли спустя 3 года после окончания обучения в вузе. Это y_1 – наличие собственной квартиры, y_2 – среднегодовая зарплата, y_3 – наличие автомобиля, y_3 – объем кредитной задолженности.

Построенная нейронная сеть была обучена с использованием реальных данных об успеваемости студентов.

Плюсы нейросетевого подхода:

- Нейронные сети позволяют выявить трудноформализуемые зависимости;

- Основываются на четком математическом аппарате.

Минусы нейросетевого подхода:

- Нужны адекватные и корректные данные для обучения сети;

- Нет универсального алгоритма выбора типа и параметров нейронных сетей.

Литература

1. Саймон Хайкин Нейронные сети: полный курс // Издательский дом Вильямс – 2008. – 1103 с.

© Хисаметдинова С.Ф., 2020 г.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ГИДРАТА В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Гималтдинов И.К., Столповский М.В., Чиглинцева А.С.
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Исследуется процесс горения гидратов в замкнутом объеме. Процесс горения газогидратов (ГГ) очень сложный процесс, при котором происходит одновременное протекание ряда физико-химических процессов: разложение ГГ на газ и воду, образование газожидкостной пены, стекание жидкости с поверхности ГГ, процесс горения в газовой фазе, лучистый теплообмен и т.д. Горение ГГ является уникальным процессом, потому что массовое содержание воды в гидрате составляет 87,1%. Но, как показывают экспериментальные исследования при определенных условиях ГГ горит. Для исследования применяются методы механики многофазных сред. Записывается система уравнений, состоящая из уравнений сохранения масс, импульса и энергии. На границе ГГ записываются соответствующие граничные условия. Численные расчеты проведены с использованием метода крупных частиц.

По результатам исследований разработана математическая модель горения гидрата в замкнутом объеме в предположении полного испарения воды на границе ГГ. Проанализированы поля температур, концентрации составляющих газовой фазы. Показана динамика максимальной температуры и максимального давления в области, температуры поверхности гидрата, изменения линейного размера гидрата и т.д. Установлено, что для устойчивого горения гидрата необходима интенсивная передача тепла из газовой фазы. Основная часть теплоты горения расходуется на диссоциацию гидрата и испарению выделившейся при разложении воды.

Работа поддержана грантом РФФИ, номер проекта №20-01-00526.

© Гималтдинов И.К., Столповский М.В.,
Чиглинцева А.С., 2020 г.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ ФРУСТРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПОТТСА**
Курбанова Д.Р., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А.
Институт физики им. Х.И. Амирханова ДФИЦ РАН,
г. Махачкала, Россия

Изучение эффектов фрустрации в спиновых решеточных моделях представляет большой интерес в течении последних десятилетий. Интерес к таким системам обусловлен богатой природой фазовых переходов и особенностью их термодинамического и критического поведения.

В настоящей работе на основе алгоритма Ванга-Ландау метода Монте-Карло мы исследуем влияние конкуренции обменного взаимодействия на фазовые переходы, термодинамические свойства и магнитные структуры основного состояния двумерной модели Поттса с числом состояний спина $q=4$ на треугольной решетке с взаимодействиями первых и вторых ближайших соседей.

Гамильтониан модели может быть представлен в следующем виде:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \cos \theta_{i,j} - J_2 \sum_{i,k} \cos \theta_{i,k}, \quad (1)$$

где J_1 и J_2 – параметры обменных ферро- ($J_1 > 0$) и антиферромагнитного ($J_2 < 0$) взаимодействия соответственно для первых и вторых ближайших соседей, $\theta_{i,j}$, $\theta_{i,k}$ – углы между взаимодействующими спинами $S_i - S_j$ и $S_i - S_k$; $r = |J_2/J_1|$ – величина взаимодействия вторых ближайших соседей.

Согласно результатам нашего исследования, учет антиферромагнитных взаимодействий вторых ближайших соседей в интервале $0.5 \leq r \leq 1.0$ приводит к фрустрации и нарушению магнитного упорядочения. Установлено, что в точках фрустраций в данной модели фазовый переход отсутствует.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-02-00153 и фонда Гаджи Махачева по поддержке науки, образования и культуры.

Литература

1. D.P. Landau and K. Binder, Monte Carlo Simulations in Statistical Physics, Cambridge University Press, Cambridge (2000).
2. Курбанова Д.Р., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А., Тааев Т.А. // ЖЭТФ, 2020, Т. 158(6), С. 1-6.

© Курбанова Д.Р., Муртазаев А.К.,
Рамазанов М.К., Магомедов М.А., 2020 г.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ КРОВИ ОТ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Комлев А.С., Макарьин Р.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

В настоящее время активно ведутся исследования по применению ферромагнитных частиц в медицинских целях, разработаны различные методы по адресной доставке лекарств и гипертермии, которые предполагают введение в организм ферромагнитных материалов. В ряде случаев, ограничения, связанные с относительной токсичностью материала или усложненной выводимостью частиц, не позволяют увеличить эффективность препарата. В данной работе предлагается методика очистки крови от ферромагнитных включений при протекании ее через область градиентного магнитного поля, что позволит расширить диапазон используемых ферромагнитных материалов и размерное распределение частиц в описанных методиках лечения. [1]

Для оценки работоспособности предложенного метода и выбора оптимальной конфигурации магнитного поля было проведено численное моделирование в среде COMSOL Multiphysics. Исходная модель, представляющая из себя периодически намагниченную рифленую поверхность ферромагнитного цилиндра, описывается стационарными уравнениями, которые были решены в модулях Magnetic Fields, Single-Phase Flow (Laminar Flow). Так как ферромагнитная структура, реализующая градиентное магнитное поле, имеет сложную морфологию, то начальные и граничные условия были выбраны с учетом того, что данная структура будет напечатан на 3D принтере.

Полученные результаты численного моделирования распределения градиента магнитного поля и распределения градиента давления жидкости по сечениям исследуемого объекта позволили оценить силы, действующие на ферромагнитную наночастицу внутри рассматриваемой системы, и построить возможные траектории их движения.

А.С. Комлев является стипендиатом Фонда развития теоретической физики и математики “БАЗИС”.

Литература

1. Martinkova P., Brtnicky M., Kynicky J., and Pohanka M., Iron Oxide Nanoparticles: Innovative Tool in Cancer Diagnosis and Therapy, Adv. Healthcare Mater. 2018, 7, 1700932.

© Комлев А.С., Макарьин Р.А., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ ПАРАМЕТРОВ

Хисаметдинов Ф.З.

Сибайский институт (филиал) БашГУ, г. Сибай, Россия

Компьютерное моделирование и расчет параметров токораспределения в системах катодной защиты подземных трубопроводов могут быть осложнены как большим разбросом значений параметров объектов, так и неопределенностью в исходных данных. Одни из основных электрических параметров – переходное сопротивление изоляции трубы, электрическое сопротивление грунта – относятся к типу величин, называемых интервальными [1]. В случае замены данных параметров их усредненными значениями математическая модель идеализируется, а достоверность и адекватность получаемых при расчетах результатов нуждается в дополнительных обоснованиях.

Эффективные средства, позволяющие учитывать в численных результатах неопределенность параметров, предоставляют методы интервального анализа. Интервальный анализ дает возможность получения достоверного интервального решения, учитывающего неопределенность входных параметров [1].

В нашей работе рассматривается задача расчета электрических параметров катодной защиты подземного трубопровода с интервально заданными входными данными. Предложен алгоритм построения внешних интервальных оценок для тока и разности потенциалов на границе «грунт-труба» в случае интервально заданных электрических сопротивлений грунта и изоляции трубопровода. На основе предложенных подходов разработана программа на языке C++ и проведены вычислительные эксперименты. Приведены примеры расчетов с интервальными исходными данными.

Предлагаемые подходы и алгоритмы могут быть применены при выборе проектных параметров и режимов эксплуатации катодной защиты от коррозии подземных трубопроводов при наличии интервальной неопределенности в исходных данных.

Литература

1. Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск, Инст. выч. технологий СО РАН, 2013. 606 с.
2. Болотнов, А. М. Численные исследования катодной защиты трубопроводов с учетом интервальной неопределенности в исходных данных / А. М. Болотнов, Ф. З. Хисаметдинов // Вестник УГАТУ. – 2018. – Т. 22, № 3 (81). – С. 105–113.

© Хисаметдинов Ф.З., 2020 г.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

Хисаметдинов Ф.З.

Сибайский институт (филиал) БашГУ, г. Сибай, Россия

Эффективным методом борьбы с коррозией подземных магистральных трубопроводов является катодная защита (КЗ). На практике работа КЗ обеспечивается системой катодных станций, расположенных вдоль трубопровода. Принцип КЗ основан на смещении электрического потенциала металла защищаемого сооружения в отрицательном (катодном) направлении относительно потенциала свободной коррозии (U_e). Сумму потенциала U_e и катодного смещения потенциала защищаемого объекта называют защитным потенциалом [1]. В нашей работе принято $U_e = const$, а все расчеты проводятся для потенциала $U_{пр}$, равного абсолютному значению катодного смещения потенциала объекта.

Наибольшее влияние на распределение защитного потенциала вдоль трубопровода оказывают: электропроводность грунта, напряжение, создаваемое каждой катодной станцией, расстояние от анода до трубы и другие параметры. Решение задачи расчета электрических параметров КЗ усложняется тем, что на рассматриваемом участке трубопровод может иметь неоднородное изоляционное покрытие. Это оказывает существенное влияние на общую картину токораспределения.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка моделей и алгоритмов для численного исследования электрических параметров катодной защиты трубопровода с неоднородной изоляцией.

В работе рассматриваются вопросы численного исследования электрических параметров систем катодной защиты от коррозии подземных трубопроводов. Для моделирования электрического поля применен метод фиктивных источников. Разработана программа на языке C++ и проведены вычислительные эксперименты на основе реальных исходных данных.

Полученные результаты расчетов, общая картина и характер токораспределения согласуются с результатами натуральных измерений в системах КЗ. Предложенные алгоритмы и разработанная программа могут быть использованы при проектировании и выборе оптимальных режимов работы систем КЗ от коррозии подземных трубопроводов.

Литература

1. Глазов Н.П. Подземная коррозия трубопроводов, ее прогнозирование и диагностика. М.: Газпром, 1994. 92 с.
2. Хисаметдинов, Ф. З. Компьютерное моделирование и визуализация параметров электрического поля катодной защиты подземного трубопровода / Ф. З. Хисаметдинов // Современные наукоемкие технологии. –2018. –№ 9. –С 126–130.

© Хисаметдинов Ф.З., 2020 г.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОГО
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В
МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ
МАГНИТОРЕОЛОНИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРА**

Макарьин Р.А., Комлев А.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Магнитные эластомеры, представляющие собой материалы, в которых ферромагнитные частицы внедрены в упругую полимерную матрицу, привлекают внимание исследователей благодаря быстрому и обратимому отклику на внешние воздействия. Добавив в магнитные эластомеры сегнетоэлектрические частицы, можно создать новые типы композитных материалов – мультиферроики (обладают одновременно несколькими типами упорядочения). Их активно используют для создания различных датчиков и преобразователей, из чего следует практический интерес к их исследованиям [1]. При добавлении в магнитореологический эластомер сегнетоэлектрических частиц в образце наблюдается прямой и обратный магнитоэлектрические эффекты, которые заключаются в изменении электрических характеристик в магнитном поле и наоборот.

Численное моделирование проводилось в среде Comsol Multiphysics. Рассматриваемая модель была следующая: в силиконовую упругую матрицу помещались микрочастицы феррита бария в виде FECC (гранцентрированная кубическая решетка с добавлением частиц в центре ребер) решетки. В модели не рассматривалось перестроение сегнетоэлектрических частиц из-за сложности происходящих процессов и к рассматриваемой ячейке прикладывались наведенные механические напряжения, которые и приводили к изменению магнитных параметров системы. Моделирование проводилось в различных магнитных и электрических полях (различные механические напряжения).

Результаты численного моделирования подтвердили вывод об изменениях намагниченности образца, а, следовательно, и его магнитных свойств. Ранее были получены соответствующие экспериментальные данные для сегнетоэлектрической пены на основе магнитореологического эластомера с частицами феррита бария.

А.С. Комлев является стипендиатом Фонда развития теоретической физики и математики “БАЗИС”.

Литература

1. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspective, status, and future directions/ Ce-Wen Nan, M. I. Bichurin, Shuxiang Dong, D. Viehland, G. Srinivasan// JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 103, 031101 _2008.

© Макарьин Р.А., Комлев А.С., 2020 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДОМ QSPR

Доломатов М.Ю., Коледин О.С., Ахтямова К.Р.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Температура вспышки является важным показателем в теории горения. Она характеризует наименьшую температуру, при которой образующиеся над поверхностью вещества пары способны вспыхивать в воздухе от внешнего источника тепла без перехода в процесс горения. [1].

Для определения температуры вспышки наиболее часто применяется лабораторный метод в открытом тигле, что является трудоемким процессом, на точность которого влияет множество факторов [2].

Существуют зависимости [3], использующие величину теплоты сгорания соединений для прогнозирования температуры вспышки веществ.

Сложность оценки температур вспышки привела к необходимости поиска QSPR модели на основе связи температуры вспышки и структуры веществ.

В качестве характеристики разветвленности и протяженности углеродного скелета молекулы, используем индекс молекулярной связности (индекс Рандича) и индекс Винера соответственно [4]:

$$\rho = \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{ребрам}}} \frac{1}{\sqrt{v_i \cdot v_j}} \quad (1)$$

где ρ – индекс Рандича;

i и j – номера атомов молекулы, формально связанных рассматриваемой связью;

v_i – число ребер графа отходящих от i -ой вершины;

v_j – число ребер графа отходящих от j -ой вершины.

$$W = 0.5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (2)$$

где W – индекс Винера;

n – число вершин в соответствующем молекуле графе;

d_{ij} – кратчайшее расстояние между вершинами i и j .

Введем дескриптор N – полное число электронов в молекуле. В ряду нормальных алканов и изоалканов C_nH_{2n+2} , имеем:

$$N = 6n + 1 * (2n + 2) = 8n + 2 \quad (3)$$

где n – число атомов углерода;

N – полное число электронов, равное числу протонов в молекуле.

С учетом значимых коэффициентов регрессии модель QSPR имеет вид:

$$T_{\text{всп}} = a_0 + a_1 \cdot N + a_2 \cdot R + a_3 \cdot W + a_4 \cdot N^2 + a_5 R^2 + a_6 W^2 + a_7 NR + a_8 NW + a_9 RW \quad (4)$$

где a_i , ($i=0, \dots, 9$) – коэффициенты модели QSPR, полученные методом наименьших квадратов.

$T_{\text{всп}}$ – температура вспышки

Для того, чтобы определить точность регрессионного уравнения (4) был вычислен коэффициент детерминации $R^2 = 0.998$. Поскольку $R^2 > 0.9$, можно утверждать, что модель адекватно позволяет прогнозировать температуру вспышки.

Выводы: Получена полуэмпирическая нелинейная многофакторная регрессионная модель «Структура-свойство», которая позволяет адекватно прогнозировать температуру вспышки алканов от топологических характеристик молекул. В качестве топологических индексов используются индексы, характеризующие протяженность и разветвленность углеродного скелета, а также индекс, равный полному числу электронов в молекуле.

Адекватность моделей подтверждена статистической обработкой данных. Максимальные абсолютная и относительная ошибки для тестовой выборки температур вспышек составляют 7,09 ед. и 3,1 % соответственно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90085 «Прогнозирование физико-химических свойств углеводородных и гетероатомных компонентов нефтяных систем и моторных топлив».

Литература

1. Шленский О.Ф., Сиренко В.С., Егорова Е.А. Режимы горения материалов. М.: Машиностроение, 2011. 220с
2. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. М.: Физматгиз, 1999. 264 с.
3. Агафонов И.А., Гаркушин И.К., Люстрицкая Д.В., Снопов С.Г., Анализ и прогнозирование пожароопасных свойств индивидуальных n-алканов. // *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов*. 2009. Т.18., №2, С. 16-19.
4. Баскин И.И., Маджидов Т.И., Варнек А.А. Введение в хемеоинформатику. Моделирование структура- свойство. Изд-во Казанского ун-та. Казань. 2015. 302 с.

© Долматов М.Ю., Коледин О.С., Ахтямова К.Р., 2020 г.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АРЕНОВ ПО ТОПОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ МОЛЕКУЛ МЕТОДОМ QSPR

Доломатов М.Ю., Ковалёва Э.А., Аубекеров Т.М., Коледин О.С.,
Ахтямова К.Р., Вагапова Э.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Теплопроводность важная характеристика для расчетов процессов и аппаратов в химической технологии, без знания коэффициентов теплопроводности невозможно рассчитать теплообменную аппаратуру [1]. Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических работ тепломассообмена, достоверные методы расчета коэффициента теплопроводности углеводородов недостаточно развиты, а эксперимент по определению теплопроводности трудоемкий и требует специальной аппаратуры. Коэффициент теплопроводности имеет большое значение в теплофизических и инженерных расчетах и, как правило, определяется эмпирически [2].

Сложность оценки теплопроводности привела к необходимости поиска QSPR модели на основе связи теплопроводности и структуры веществ.

В качестве характеристики разветвленности и протяженности углеродного скелета молекулы, используем индекс молекулярной связности (индекс Рандича) и индекс Винера соответственно [3]:

$$\rho = \sum_{\substack{\text{по всем} \\ \text{ребрам}}} \frac{1}{\sqrt{v_i \cdot v_j}} \quad (1)$$

где ρ – индекс Рандича;

i и j – номера атомов молекулы, формально связанных рассматриваемой связью;

v_i – число ребер графа отходящих от i -ой вершины;

v_j – число ребер графа отходящих от j -ой вершины.

$$W = 0.5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (2)$$

где W – индекс Винера;

n – число вершин в соответствующем молекуле графе;

d_{ij} – кратчайшее расстояние между вершинами i и j .

В качестве энергетических характеристик молекул используем сумму квадратов собственных значений топологической матрицы.

Также используем приведенную температуру.

$$L = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \quad (3)$$

С учетом значимых коэффициентов регрессии модель QSPR имеет вид:

$$\lambda(\rho, L, W, \tau) = (a_0 + a_1 L + a_2 \frac{W}{\rho} + a_3 W^{\frac{1}{3}} + a_4 (\frac{W}{\rho})^2 + a_5 W \rho + a_6 (W \rho)^2) \cdot \tau^{(a_7 + a_8 \tau)} \quad (4)$$

где W – индекс Винера;

L – сумма квадратов собственных значений матрицы смежности молекулярного графа;

ρ – индекс Рандича;

τ – приведенная температура, $T/298$, где T – температура, К;

a_n – коэффициенты модели.

Коэффициенты модели (3) для расчета коэффициента теплопроводности аренов

Коэффициент	a_0	a_1	a_2	a_3
Значение коэффициента	0.0111	-0.0003	-0.00041	0.0034
Коэффициент	a_4	a_5	a_6	a_7
Значение коэффициента	3.47E-06	-3.3E-06	2.72E-10	1.95

Выводы: Получена полуэмпирическая нелинейная многофакторная регрессионная модель «структура-свойство», адекватно передающая зависимость теплопроводности от топологических параметров молекул углеводородов ряда аренов, отражающих разветвленность, протяженность углеродного скелета и энергетические параметры молекул. Коэффициент детерминации модели равен 0.97.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90085 «Прогнозирование физико-химических свойств углеводородных и гетероатомных компонентов нефтяных систем и моторных топлив»

Литература

1. Anisimov M.A., Rabinovich V.A., Sychev V.A. Termodinamika kriticheskogo sostoyaniya individual'nykh veshchestv [Thermodynamics of the critical state of individual substances]. М.: Energoatomizdat. 1990. – р. 190.
2. Zhorov YU.M. Termodinamika khimicheskikh protsessov [Thermodynamics of chemical processes]. М.: Khimiya, 1985. – р. 464.
3. Баскин И.И., Маджидов Т.И., Варнек А.А. Введение в хемоинформатику. Моделирование структура- свойство. Изд-во Казанского ун-та. Казань. 2015. 302с.

© Доломатов М.Ю., Ковалёва Э.А., Аубекеров Т.М.,
Коледин О.С., Ахтямова К.Р., Вагапова Э.В., 2020 г.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БАНКРОТСТВ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТОДАМИ
НЕЙРОСЕТЕВЫХ АНСАМБЛЕЙ**

Галлямов В.В., Полупанов Д.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Проблема прогнозирования банкротства не перестаёт быть актуальной в условиях периодически наступающих экономических кризисов и социальных потрясений. Эффективным инструментарием в условиях возможной неполноты, неточности и недостоверности данных являются нейронные сети (НС). Рассмотрим обратную задачу восстановления зависимости вероятности банкротства P от вектора экзогенных переменных $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, скрытой в данных [1]. Эту зависимость определим с помощью логистической функции $P(t) = 1/[1 + \exp(-\hat{Y}(\mathbf{x}(t), t))]$, $P \in [0,1]$, где t – время, а показатель экспоненты $\hat{Y}(\mathbf{x}(t), t)$ восстанавливается с помощью НС $\hat{y}(\mathbf{x}, t) = F(\mathbf{x}, \mathbf{W}, t)$, $F: \mathbf{x} \in R^{(n)} \rightarrow \hat{y} \in R^{(1)}$, \mathbf{W} – множество синаптических весов НС, $F(\cdot)$ – оператор НС отображения.

Суть ансамблевого обучения НС состоит в обучении нескольких моделей вместо одной и объединении их прогнозов. Нами построены НС с использованием различных подходов, по 15 НС в каждом ансамбле, в результате сравнения было установлено следующее. Методы бутстрэп-агрегирования и случайных расщеплений оказались эффективны в равной мере за счёт способности создавать больше вариаций выборок из ограниченного набора данных. Метод перекрёстной проверки показал более низкую эффективность из-за относительно небольшого объёма исходных данных. Средневзвешенные ансамбли дают лучший результат, чем ансамбли усреднения. Методы подбора весов по НС и направленной оптимизации дают в целом одинаковые результаты, но на последний затрачивается значительно меньше времени и вычислительных ресурсов. Наименьшее стандартное отклонение дает метод перекрёстной проверки, чуть большее – бутстрэп-агрегирования, и, наконец, случайных расщеплений.

Литература

1. Горбатков С.А., Полупанов Д.В. Оптимальный отбор и агрегирование экзогенных переменных в нейросетевых моделях банкротств на основе функций Харрингтона // Информационные технологии. – 2018 – № 2. – С. 121-130.

© Галлямов В.В., Полупанов Д.В., 2020 г.

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Абдюшева С.Р., Гилязова Л.Р., Абрамчук М.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Оценка влияния социально-экономических факторов на демографические процессы в регионах представляет как практический, так и исследовательский интерес [1]. Для этого широко применяется корреляционно-регрессионный анализ. Цель работы - определить факторы, влияющих на показатель рождаемости в Республике Башкортостан. Выбрано пять факторов социально-экономического характера и построена регрессионная модель. Анализ показал, что наибольшее влияние на рождаемость в республике оказывают расходы на здравоохранение (x_1) и младенческая смертность (x_3):

$$y = 1,6496 + 0,00001183x_1 - 0,02067x_3$$

Для подтверждения правильности включения факторов в регрессионную модель вычисляется значение коэффициента множественной корреляции:

$$R_{yx_1x_3} = \sqrt{\sum \beta_i^2 r_{yx_i}^2} = 0,9059$$

Коэффициент детерминации $R^2=0,8206$ показывает, что 82,06% общей вариации результативного признака объясняется вариацией учтенных в модели факторов.

Значимость уравнения регрессии проверена с помощью F -критерия Фишера, а значимость коэффициентов регрессии - с помощью t -критерия Стьюдента. Оказалось, что фактическое значение t -критерия Стьюдента для коэффициента при переменной x_3 меньше табличного, данный фактор должен быть исключен из модели. Уравнение регрессии примет окончательный вид:

$$y = 1,6496 + 0,00001183x_1$$

Литература

1. Абдюшева С.Р. Оценка взаимосвязи демографических и экономических показателей. Математическое моделирование процессов и систем. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию физико-математического факультета СФ БашГУ. Ответственный редактор: С.А. Мустафина. 2015. С. 3-9.

© Абдюшева С.Р., Гилязова Л.Р., 2020 г.

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОМЕРНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Абдюшева С.Р., Нефедова А.А., Басимова Э.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Статистический анализ влияния различных социально-экономических факторов на заболеваемость населения является достаточно актуальной проблемой [1].

В работе построена многомерная регрессионная модель зависимости показателей заболеваемости населения от ряда факторов. Анализ статистических данных позволил выделить четыре основных фактора.

Обозначим y – общая численность заболеваний, факторы: x_1 – среднедушевые денежные доходы населения, x_2 – численность официально зарегистрированных безработных, x_3 – инвестиции в основной капитал на душу населения, x_4 – заболеваемость населения по основным классам болезней. Рассчитаем корреляционную матрицу по данным факторам:

	y	x_1	x_2	x_3	x_4
y	1				
x_1	0,482	1			
x_2	-0,444	-0,736	1		
x_3	0,424	0,958	-0,865	1	
x_4	0,543	0,741	-0,376	0,696	1

Рассчитываем коэффициенты регрессии и выписываем уравнение полученной регрессионной модели:

$$y = -2562863,999 - 37,94 \cdot x_1 - 266,25 \cdot x_2 - 23,6 \cdot x_3 + 58,9 \cdot x_4.$$

Проверка значимости уравнения регрессии и его коэффициентов привела к выводу, что факторы x_2 , x_3 , x_4 можно исключить из уравнения регрессии. То есть, уравнение регрессии принимает окончательный вид:

$$y = 1652485,377 + 7,447 \cdot x_1.$$

Данная модель регрессии хорошо подобрана и достаточно точно описывает взаимосвязь между фактором и результативным показателем.

Литература

1. Абдюшева С.Р., Арсланова Р.Р. Применение статистического анализа к исследованию заболеваемости населения с учетом различных факторов. Математическое моделирование процессов и систем. Материалы VII Международной молодежной научно-практической конференции, г. Уфа, 2017 – Часть I, с.24-29.

© Абдюшева С.Р., Нефедова А.А., 2020 г.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

Тимофеев П.С., Полупанов Д.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Актуальность исследование обусловлена повышением возможностей методов машинного обучения (МО) и нейронных сетей (НС), в частности, а также возрастанием роли мобильных телефонов в решении повседневных задач пользователей. Для создания приложения с функцией распознавания образов была выбрана интегрированная среда разработки XCode и язык программирования Swift. Выбор обусловлен наличием в XCode интегрированного фреймворка для работы с технологиями MO Core ML, который позволяет упростить интеграцию НС в мобильные приложения.

Разработанное приложение способно распознавать предметы в реальном времени, захватывая изображение через камеру устройства. Процесс распознавание объекта происходит следующим образом. Сначала с камеры снимается слой с изображением - Capture Video Preview Layer и преобразуется в набор данных. На следующем этапе эти данные отправляются обработчик, где, с использованием модели данных Resnet50, изображение распознается и классифицируется. Данная процедура происходит несколько десятков раз в секунду, по количеству кадров, которые камера снимает в секунду. Пример работы приложения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пример работы приложения

© Тимофеев П.С., Полупанов Д.В., 2020 г.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОЖДАЕМОСТИ

Абдюшева С.Р., Важенина Л.Д.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Рассмотрены данные о рождаемости в республике Башкортостан с 1995 по 2019 годы. Цель работы – сравнить различные методы прогнозирования с прогнозами Башстата.

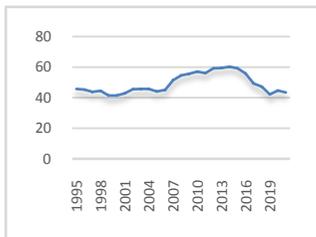


Рис. 1. Метод скользящего среднего

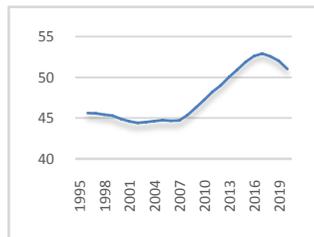


Рис. 2. Экспоненциальное сглаживание с константой сглаживания $\alpha=0,1$

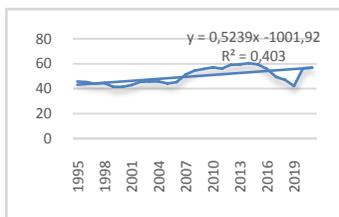


Рис. 3. Регрессионный анализ

Анализ полученных результатов показал следующее:

1. В методе скользящего среднего с выбором наименьшего значения для базы получен результат, отражающий тенденцию в изменении данных, но прогнозное значение дает рост рождаемости, тогда как по данным Башстата предполагается ее спад.
2. Метод экспоненциального сглаживания дал прогноз, отражающий спад рождаемости, достаточно близкий по значению данным Башстата.
3. Метод прогнозирования с помощью линейной регрессии не подходит, так как коэффициент детерминации показывает, что регрессия объясняет лишь 40% изменения результативного признака.

Литература

1. Официальный сайт Башстата, <https://bashstat.gks.ru>

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON И МИКРОФЕЙМВОРКА FLASK

Загиров Р.А., Полупанов Д.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В цифровую эпоху возросла популярность инструментов для автоматического тестирования кода таких как Яндекс.Контест, Kaggle, HackerRank и др.

Нами разработана система для автоматического тестирования программ, реализующих нейросетевые модели. В качестве инструментария выбран язык программирования Python и микрофреймворк flask [1]. Для использования достаточно написать скрипт, соответствующий принятому в задаче формату и отправить на сервер, где после проверки система выставит оценку. Разработанная система может быть использована при оценке студенческих работ в таких дисциплинах как «Нейроинформатика», «Системы искусственного интеллекта» и др.

На рис. 1 представлено окно отправки сабмитов решения достаточно популярной в машинном обучении задачи о пассажирах «Титаника» [2]. На рис. 2 показан фрагмент скрипта, отправляемого в систему.

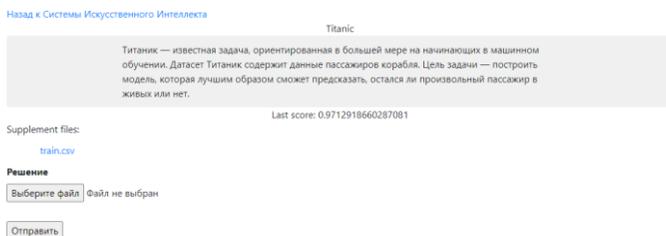


Рис. 1. Задача «Титаник» в разработанной системе

```
test_data = pd.read_csv(data_test).fillna(1)

features = ["Pclass", "Sex", "SibSp", "Parch"]
X_test = pd.get_dummies(test_data[features])

predictions = model.predict(X_test)

output = pd.DataFrame({'PassengerId': test_data.PassengerId, 'Survived': predictions})
output.to_csv(os.environ['OUTPUT'], index=False)
```

Рис. 2. Фрагмент решения для отправки в систему

Литература

1. M. Grinberg. FlaskWeb Development - O'Reilly Media, 2018 - P. 237.
2. S. Mukhija. A beginner's guide to Kaggle's Titanic problem [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://towardsdatascience.com/a-beginners-guide-to-kaggle-s-titanic-problem-3193cb56f6ca> (Дата обращения 12.10.2020).

© Загиров Р.А., Полупанов Д.В., 2020 г.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Солощенко М.В.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
г. Стерлитамак, Россия

В настоящее время одним из важных вопросов на предприятиях становится вопрос, связанный с безопасностью работы сотрудников, с своевременным решением возникающих проблем охраны труда. Для оперативного выявления нарушений и осуществления проверки техники безопасности на предприятиях было разработано программное обеспечение «Охрана труда».

Для разработки указанной программы были задействованы приложения, применяемые для создания базы данных MySQL, а также язык программирования Delphi.

В MySQL была создана база, в которой представлены следующие таблицы: «predpisanie», «narushenie», «slushba», «status_sogl», «status_vip», «type_rab», «prover», «katalog_rab», «katalog_polz», «katalog_podraz», «katalog_krit», «foto». Из предлагаемых таблиц особенно можно выделить две главные таблицы «predpisanie» и «narushenie». Отметим, что все данные заполняются вручную.

В Delphi создаем формы и подключаем нужные нам компоненты для соединения с MySQL. В программе представлено четыре формы: авторизация, управление, фильтр и отчет. Для примера рассмотрим одну из созданных форм «Авторизация». На данной форме подключаем компоненты для работы с БД (QKatalog_rab, DSQKatalog_rab), из которых будут браться логины и пароли. Если ввести неверный логин или пароль, то пользователь не сможет войти в систему (рис.1).

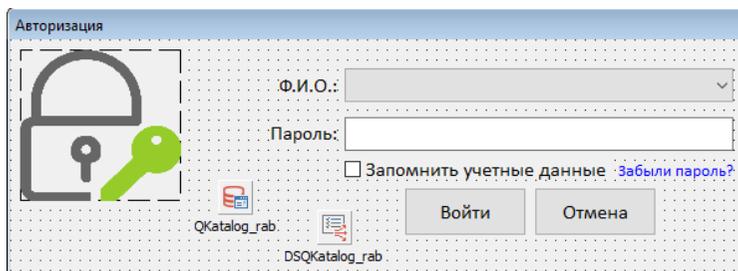


Рис. 1. Форма «Авторизация»

Создание данной программы позволяет своевременно просматривать и исправлять нарушения на производстве.

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 523.11

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЗАДЕРЖКА ВРЕМЕНИ В МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИИ БАМБЛБИ

Мухамадиева Л.Ю.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Современная физика стремится объединить общую теорию относительности и стандартную модель элементарных частиц. Для этого был предложен ряд теорий квантовой гравитации, однако, в настоящее время невозможно напрямую проверить эти теории через эксперимент. Но некоторые сигналы квантовой гравитации могут проявляться при достаточно низких масштабах энергии, и их эффекты можно наблюдать в экспериментах, проводимых на текущих уровнях энергии. Один из этих сигналов может быть связан с нарушением симметрии Лоренца (НСЛ) [1]. Модель гравитации Бамблби, предложенная Костелеки и Самуэль [2], является простейшей моделью для изучения взаимного нарушения симметрии Лоренца, в которой поле бамблби со значением ожидания вакуума приводит к спонтанным нарушениям симметрии Лоренца. Целью данной работы является исследование релятивистской задержки времени (РЗВ) [2] в модели гравитации Бамблби и оценить влияние константы НСЛ на задержку времени.

В качестве линзы рассмотрим керроподобное решение для черной дыры в модели гравитации Бамблби [3]:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2Mr}{\rho^2}\right) dt^2 - \frac{4Mar\lambda \sin^2 \theta}{\rho^2} d\varphi dt + \frac{\rho^2}{\Delta} dr^2 + \rho^2 d\theta^2 + \frac{A \sin^2 \theta}{\rho^2} d\varphi^2, \quad (1)$$

где

$$\lambda = \sqrt{1 + l},$$
$$\rho^2 = r^2 + \lambda^2 a^2 \cos^2 \theta,$$

$$\Delta = \frac{r^2 - 2Mr}{\lambda^2} + a^2,$$

$$A = [r^2 + \lambda^2 a^2]^2 - \Delta \lambda^4 a^2 \sin^2 \theta. \quad (2)$$

M и a - масса и угловой момент вращения черной дыры соответственно, l - константа НСЛ. В работе исследована РЗВ до третьего пост-постньютоновского порядка в приближении тонкой линзы. В реалистичных конфигурациях линз радиус, по которому происходит изгиб, имеет порядок радиуса Шварцшильда, который намного меньше типичных расстояний, по

которым распространяется свет. Тогда, в приближении тонкой линзы, можно предположить, что световые лучи распространяются в виде прямых линий вдали от линзы, причем изгиб происходит только в точечной линзе.

Общая РЗВ Δt между двумя нулевыми лучами, проходящими от источника к наблюдателю вдоль двух противоположных сторон промежуточной вращающейся линзы, равен

$$\Delta t = \left(\frac{1}{c}\right) \int_0^\pi d\varphi \left[\frac{4aM}{r} \psi_1 + \frac{2aM^2}{r^2} \psi_2 + \frac{8aM^3}{r^3} \psi_3 \right] \equiv \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3. \quad (3)$$

где параметры ψ_1 , ψ_2 и ψ_3 являются параметрами отклонения и равны $\lambda/2$, 2λ и $\lambda/2$ соответственно. Как видно из уравнения (3), влияние константы НСЛ присутствует во всех порядках РЗВ.

l	χ	$\Delta t_1, \text{сек}$	$\Delta t_2, \text{сек}$	$\Delta t_3, \text{сек}$
0	0.1	2.82×10^{-8}	1.10×10^{-34}	5.70×10^{-61}
0.01	0.1	2.81×10^{-8}	1.10×10^{-34}	5.67×10^{-61}
0.02	0.1	2.79×10^{-8}	1.09×10^{-34}	5.64×10^{-61}

Таблица 1. РЗВ для двойной системы пульсар – черная дыра Лебедь-X1 с $M = 14,8M_\odot = 2,19 \times 10^6 \text{ см}$, $a = 0,95M = 2,08 \times 10^6 \text{ см}$ [4], $d_{\text{OL}} = 1,86 \text{ кпк} = 5,74 \times 10^{21} \text{ см}$ [5]

С увеличением значения константы НСЛ величина РЗВ уменьшается, и предсказание величины Δt_1 составляет около 0,028 мкс (таблица 1). Достижение требуемого уровня точности могло бы стать возможным в ближайшем будущем, поскольку была достигнута точность 0,1 мкс для PSRJ0437-4715 [6], яркого миллисекундного пульсара в двойной системе белая карликовая нейтронная звезда (WD-NS). Однако измерение членов более высокого порядка Δt_2 и Δt_3 потребует большей точности, что вряд ли будет достигнуто даже в далеком будущем.

Литература

1. R. Casana, A. Cavalcante, F. P. Poulis, E. B. Santos // Phys. Rev. D. 2018. 97, 10400.
2. R.N. Izmailov, E.R. Zhdanov, A. Bhadra et al. // Eur. Phys. J. 2019. С 79, 105.
3. C. Ding, C. Liu, R. Casana, A. Cavalcante // arXiv:1910.02674.
4. L. Gou, J.E. McClintock, M.J. Reid et al. // Astrophys. J. 2011. 742, 85.
5. M.J. Reid, J.E. McClintock and R. Narayan et al. // Astrophys. J. 2011. 742, 83.
6. W. van Straten, M. Bailes, M. Britton et al. // Nature. 2001. 412, 158.

© Мухамадиева Л.Ю., 2020 г.

РЕЗОНАНСНЫЕ КИНК-ПРИМЕСНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ СИНУС-ГОРДОНА С УЧЁТОМ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ И НЕОДНОРОДНОГО ЗАТУХАНИЯ

Кудрявцев Р.В.¹, Гумеров А.М.², Екомасов Е.Г.², Самсонов К.Ю.³

¹Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

²Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

³Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Уравнение синус-Гордона (УСГ) имеет решения в виде солитонов — уединённых волн, сохраняющих свою форму и скорость во времени, в том числе при взаимодействии друг с другом. УСГ применяется в различных разделах физики для описания многочисленных явлений. Для более адекватного моделирования реальных физических систем в УСГ вводятся дополнительные коэффициенты и функции. Во многих публикациях изучается взаимодействие топологического солитона — кинка — с пространственной неоднородностью параметра в виде примеси, приводящее к возбуждению на ней примесной моды [1–2]. Для качественного понимания изучаемого процесса и для контроля правильности численных расчётов сохраняют актуальность аналитические исследования. В нашей работе с помощью метода коллективных переменных получена система дифференциальных уравнений, качественно описывающая одномерную резонансную динамику кинка УСГ и колебания возбуждаемых им примесных мод в модели с произвольным числом разных точечных примесей, расположенных на произвольном расстоянии друг от друга, в присутствии внешней силы и неоднородной диссипации. С помощью полученных уравнений построены и проанализированы зависимости координаты центра кинка и амплитуд примесных мод от времени в частных случаях: колебания примесных мод при наличии одной, двух или трёх примесей в отсутствие кинка, динамика кинка в отсутствие примесных мод, совместная динамика кинка и примесных мод при наличии одной или двух примесей при различных параметрах системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-31-90048.

Литература

6. Ekomasov, E.G., Gumerov, A.M., Kudryavtsev, R.V., Dmitriev, S.V., Nazarov, V.N. // *Brazilian Journal of Physics*, 2018, v. 48(6), pp. 576–584.
7. Gumerov, A.M., Ekomasov, E.G., Kudryavtsev, R.V. // *Journal of Physics: Conference Series. VII Euro-Asian Symposium “Trends in Magnetism”*, 2019, v. 1389, p. 012004: 1–6.

© Кудрявцев Р.В., Гумеров А.М.,
Екомасов Е.Г., Самсонов К.Ю., 2020г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕНОСА ПРОТОНА В ПРОИЗВОДНЫХ
ТЕТРАГИДРОАКРИДИНА-1(2H)-ОНА
ИЗ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ**

Михайлова Т.В.¹, Михайлова В.А.¹, Иванов А.И.¹,

Бондарев С.Л.², Райченко Т.Ф.², Тихомиров С.А.², Козлов Н.Г.³

¹Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

³Институт физико-органической химии НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

Реакция переноса заряда (протона и/или электрона) является наиболее важной стадией процессов преобразования солнечной энергии в химических и биологических системах. Поэтому интерес к их всестороннему изучению как у экспериментаторов, так и у теоретиков постоянно растет.

Целью данной работы является разработка модели для описания кинетики переноса протона в системах производных тетрагидроакридина-1(2H)-она и в наборе апротонных (диметилформамид (DMF), ацетон (ACE), метилхлорид (DCM)) и протонных (спирты) растворителей. В рамках текущего исследования предлагается использовать многоканальный стохастический подход, ранее успешно апробированный для описания реакций многостадийного переноса электрона в донорно-акцепторных комплексах [1–3]. Разрабатываемая модель учитывает динамику релаксации растворителя и реорганизации внутримолекулярных высокочастотных колебаний.

Количественное описание кинетики переноса заряда в рамках многоканальной стохастической модели требует знания основных энергетических параметров модели [3, 4]. В процессе работы проводилась численная аппроксимация экспериментальных стационарных спектров абсорбции и флуоресценции и впервые были оценены характерные энергетические параметры производных систем тетрагидроакридин-1(2H)-она в различных растворителях. Это параметр экзергоничности и энергии реорганизации среды, энергии реорганизации высокочастотных внутримолекулярных колебательных мод, а также их частоты в основном и возбужденном состояниях.

Анализ стационарных спектров флуоресценции в спиртах показал, что в протонных растворителях возможно наличие двух полос флуоресценции, соответствующих локально-возбужденному и состоянию продукта. Таким образом, модель для описания процессов переноса заряда в протонных растворителях должна учитывать как минимум три диабатических состояния: основное, локально-возбужденное и состояние продукта реакции. Предполагается, что вторая полоса эмиссии определяет значения

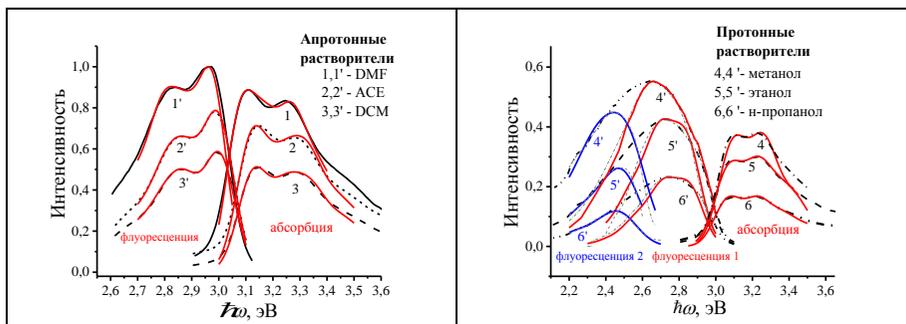


Рис. 1. Фитинг экспериментальных стационарных спектров поглощения и излучения в ряде апротонных и протонных растворителей. Экспериментальные данные показаны черным цветом, данные, полученные с помощью численной аппроксимации – красными и синими линиями

энергетических параметров продукта реакции, а параметры локально-возбужденного состояния можно определить из стационарных спектров абсорбции и первой полосы флуоресценции. В результате фитинга было показано, что в локально-возбужденном состоянии одна из частот монотонно убывает от метанола к пропанолу: 0,19 эВ (1532 см^{-1}); 0,1723 эВ (1389.69 см^{-1}); 0,17 эВ (1371 см^{-1}). Полученные значения незначительно (на 10-20%) отличаются в сторону уменьшения от заявленного диапазона частот карбонильной группы ($1650 - 1600 \text{ см}^{-1}$). Для апротонных же растворителей достаточно использовать двухуровневую модель. В этом случае стационарные спектры абсорбции и эмиссии совместно определяют значения энергетических параметров на стадии фотовозбуждения системы. Эти результаты позволяют отождествить состояния продуктов с водородной связью в возбужденном состоянии.

В настоящий момент на основе предложенных моделей планируется продолжить разработку подхода, позволяющего по спектрам поглощения и флуоресценции исследовать механизм образования водородных связей возбужденных молекул с растворителями.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (№ 20-53-00021) и грама БРФФИ (№ P20R-340).

Литература

1. Feskov, S.V., Mikhailova, V.A., Ivanov, A.I. // J. Photochem. Photobiol. C, 2016, v. 29, pp. 48–72.
2. Ionkin, V.N., Ivanov, A.I. // J. Phys. Chem. A, 2009, v. 113, pp. 103–107.
3. Mikhailova, V.A., Malykhin, R.E., Ivanov A.I. // Photochem. Photobiol. Sci., 2018, v. 17, pp. 607–616.
4. Mikhailova, T.V., Mikhailova, V.A., Ivanov, A.I. // J. Phys. Chem. C, 2018, v. 122, pp. 25247– 25259.

© Михайлова Т.В.¹, Михайлова В.А.¹, Иванов А.И.¹, Бондарев С.Л.², Райченко Т.Ф.², Тихомиров С.А.², Козлов Н.Г.³, 2020 г.

ВЛИЯНИЕ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ НА ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ДВУХПОДРЕШЕТОЧНОГО НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО МАГНЕТИКА

Ярыгина Е.А., Клевец Ф.Н., Матюнина Я.Ю.

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,
г. Симферополь, Россия

Хорошо известно, что негейзенберговские магнетики демонстрируют довольно интересные физические свойства, которые отсутствуют у гейзенберговских магнетиков.

В работе были исследованы фазовые состояние и динамические свойства анизотропного негейзенберговского магнетика с $S=1$. Результаты исследования показывают, что учет одноионной анизотропии типа легкая ось или легкая плоскость сохраняет фазовые состояния, найденные для изотропного негейзенберговского магнетика с $S=1$ [1]. Однако, как тип фазовых переходов, так и фазовая диаграмма системы существенно зависят от симметрии одноионной анизотропии. Помимо этого, учет одноионной анизотропии существенно меняет динамические свойства магнитоупорядоченной системы.

Таким образом, в случае анизотропии типа легкая ось фазовая диаграмма полностью совпадает с фазовой диаграммой изотропного негейзенберговского магнетика с $S=1$, а фазовые переходы являются вырожденными фазовыми переходами первого рода. И в этом случае точка SU (3) сохраняется, как и в изотропной системе. Однако спектры элементарных возбуждений в легкоосном магнетике существенно отличаются от изотропного случая.

В негейзенберговском магнетике с анизотропией типа легкая плоскость ситуация принципиально иная. Хотя в системе реализуются те же фазовые состояния, что и в случае изотропного легкоосного магнетика, фазовые переходы между дипольной (ферромагнитной и антиферромагнитной) и нематической и ортогональной нематической фазами являются фазовыми переходами первого рода. В то время как в изотропных моделях с анизотропией типа легкая ось эти переходы являются вырожденными фазовыми переходами первого рода.

Кроме того, в случае анизотропии типа легкая плоскость между спиновой нематической и ортогональной нематической фазами происходит фазовый переход первого рода, а в изотропной модели прямой переход между этими состояниями отсутствует. Вместо нее в изотропном случае реализуется так называемая точка SU (3), в которой энергии всех четырех фаз совпадают.

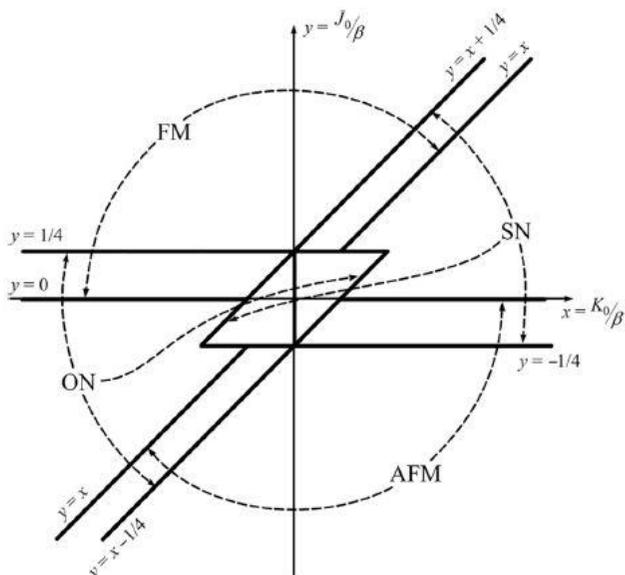


Рис. 1. Фазовая диаграмма негейзенберговского магнита с анизотропией типа легкая плоскость

Литература

1. Yu.A. Fridman, O.A. Kosmachev, Ph.N. Klevets, Spin nematic and orthogonal nematic states in S=1 non-Heisenberg magnet, JMMM 325 (2013) 125

© Ярыгина Е.А., Клевец Ф.Н., Матюнина Я.Ю., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОЛЕКУЛ В ПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Ермоленко И.П., Михайлова В.А., Иванов А.И.

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

Описание оптического возбуждения молекулы и анализ динамики возбужденного состояния представляет немалый научный интерес. Для моделирования спектральной динамики в реальных системах можно опираться на хорошо развитую и успешно применяемую теорию спектроскопии с временным разрешением [1]. Современные методы моделирования спектров нестационарной флуоресценции основаны на применении простых функциональных зависимостей [2]. Они не включают в себя какие-либо характеристики физического процесса (логнормальное распределение, первый и второй корреляционные моменты). Такой подход к моделированию спектральной динамики затрудняет разделение эффектов внутримолекулярной колебательной релаксации и релаксации растворителя в динамике стока сдвига. Как следствие, подгонка без такого разделения может привести к неправильным оценкам времен релаксации растворителя.

Сверхбыстрые фотохимические реакции переноса заряда, инициируемые коротким лазерным импульсом (с несущей частотой ω_e и длительностью τ_e), протекают во время релаксации растворителя. Сразу после фотовозбуждения, формируется состояние Франка-Кондона с неравновесной конфигурацией ядерной подсистемы. В работе [3] в рамках спин-бозонной модели получено общее аналитическое выражение для нестационарных спектров флуоресценции молекулярных систем, учитывающее реорганизацию релаксационных мод и высокочастотных внутримолекулярных колебаний. В отсутствие последних его можно записать в виде:

$$I(\omega, t) \sim \omega^3 Z_e^{-1} \int_{-\infty}^t d\xi \exp \left\{ -\frac{[y_1(\omega) - 2E_m X(t)]^2}{2b} - \frac{2\xi^2}{\tau_e^2} - \frac{\hbar^2 \delta\omega_e^2(t)}{2\sigma_e^2(t)} \right\} \quad (1)$$

Здесь \hbar – постоянная Планка, k_B – постоянная Больцмана T – температура, ΔG – параметр экзергоничности реакции, E_m – энергия реорганизации среды, $\sigma_e^2(t) = b[1 - X^2(t)] + \hbar^2 \tau_e^{-2}$, $b = 2E_m k_B T$,

$Z_e = \tau_e \sqrt{\pi^2 b (b + \hbar^2 \tau_e^{-2})^{-1}} \exp \left\{ -y_1^2(\omega_e) (2b + 2\hbar^2 \tau_e^{-2})^{-1} \right\}$ – нормировочный

множитель, $y_1(\omega) = \hbar\omega + \Delta G - E_m$, $\hbar\delta\omega_e(t) = y_1(\omega_e) - y_1(\omega)X(t) + 2E_m X(t)^2$ и

$X(t) = (\pi E_m)^{-1} \int_0^\infty (J(\omega) / \omega) \cos \omega t d\omega$ – автокорреляционная функция среды. Спектральная плотность $J(\omega) = x_1 J_D(\omega) + x_2 J_G(\omega)$ складывается из двух компонент, вклад которых регулируется весовыми коэффициентами x_i . Для описания флуктуации поляризации среды применяется Дебаевская модель [4] $J_D(\omega) = 2E_m \tau_D \omega (1 + \omega^2 \tau_D^2)^{-1}$. Для описания наиболее быстрой релаксации, связанной с инерционным движением полярных молекул растворителя, используется модель Гаусса [2]: $J_G(\omega) = \sqrt{2\pi} \tau_G E_m \omega \exp(-\omega^2 \tau_G^2)$. Здесь τ_D и τ_G – соответствующие времена релаксации.

Выражение (1) описывает динамику спектров излучения молекулярных систем в полярном растворителе. Вся система переводится в возбужденное состояние импульсом накачки, затем, с помощью зондирующих импульсов в разные моменты времени t (время задержки), можно получить спектры излучения и поглощения и исследовать динамические процессы, происходящие в системе. На рис. 1 показана динамика максимума спектра флуоресценции вдоль координаты реакции для разных наборов весов x_1 и x_2 .

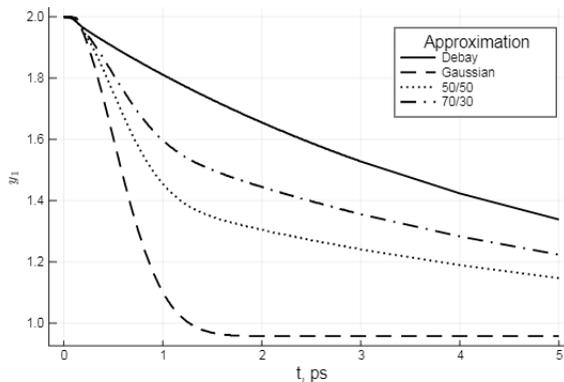


Рис. 1. Динамика максимума спектра флуоресценции. Расчетные параметры: $\hbar\omega_e = 2$ эВ, $\Delta G = -1.8$ эВ., $E_m = 1$ эВ, $\tau_e = 0.1$ пс, $k_B T = 0.025$ эВ, $\tau_D = 5$ пс и $\tau_G = 0.5$ пс

Используя в качестве свободных параметров весовые коэффициенты, можно регулировать вклад различных мод, что расширяет область применимости модели на сложные многорежимные процессы.

Энергетические и релаксационные характеристиками среды, полученные из фитинга эмпирических данных, позволят моделировать ход реакции переноса заряда на масштабах недоступных для эксперимента.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (№ 20-53-00021).

Литература

1. W. W. Parson, Modern Optical Spectroscopy, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46777-0>
2. M.L. Horng, J.A. Gardecki, A. Papazyan, M. Maroncelli // J. Phys. Chem., 99 (48) (1995) 17311–17337, doi:10.1021/j100048a004.
3. R.G. Fedunov, I. P. Yermolenko, A. E. Nazarov, A. I. Ivanov, A. Rosspeintner, G. Angulo // Journal of Molecular Liquids. 2020, V. 298, 112016, ISSN 0167-7322.
4. Н. Frohlich. Theory of Dielectrics; Dielectric Constant and Dielectric Loss, Clarendon Pres, Oxford, 1959.

© Ермоленко И.П., Михайлова В.А., Иванов А.И., 2020 г.

УДК 524.882

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОГО АККРЕЦИОННОГО ДИСКА ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ТАУБ-НУТ

Юсупова Р.М.¹, Измаилов Р.Н.^{1,2}

¹Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

²Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Одним из вакуумных решений уравнений Эйнштейна является решение для статичной черной дыры Тауб-НУТ [1]. Это решение содержит дополнительный свободный параметр НУТ [2], который может быть интерпретирован как гравомагнитный монополь [3]. Решение Тауб-НУТ сводится к решению Шварцшильда при его обнулении.

В работе исследовано влияние параметра НУТ на кинематические свойства тонкого аккреционного диска черной дыры Тауб-НУТ, такие как эффективный потенциал, угловой момент, энергия и угловая скорость. На рисунке 1 представлен график зависимости эффективного потенциала аккреционного диска от радиальной координаты при различных значениях параметра НУТ.

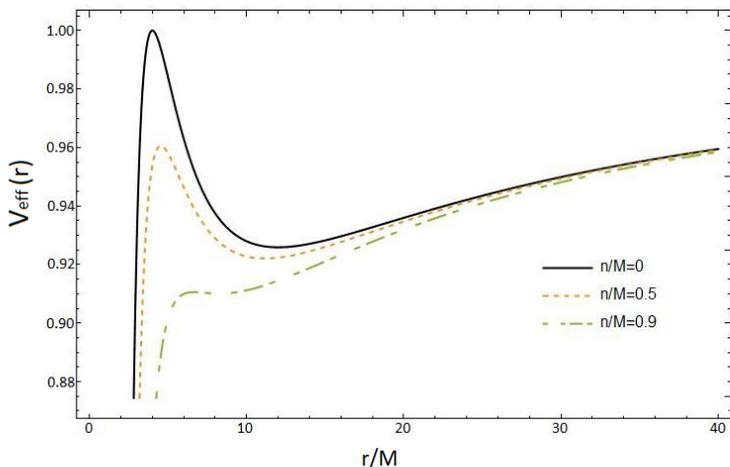


Рис.1. Зависимость эффективного потенциала от радиальной координаты для различных значений параметра НУТ (где n - параметр НУТ, M - масса объекта)

Из рисунка видно, что с увеличением параметра НУТ эффективный потенциал уменьшается, таким образом, наибольший эффективный потенциал соответствует незаряженным черным дырам (Шварцшильда). При $r \rightarrow \infty$ значения эффективных потенциалов, независимо от значений параметров НУТ, становятся неразличимыми.

Литература

1. Newman, E, Tamburino, L. and Unti, T. Empty Space Generalization of the Schwarzschild Metric // J. Math. Phys., 1963, v. 4 915, pp. 915-923.
2. Kulbakova, A., Karimov, R. Kh., Izmailov, R. N., Nandi, K. K. Upper limit on NUT charge from the observed terrestrial Sagnac effect // Class. Quantum Grav., 2018, v. 35, pp. 115014.
3. Manko, V. S. and Ruiz, E. Physical interpretation of the NUT family of solutions // Class. Quantum Grav. 2005, v. 22, pp. 3555-3560.

© Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н., 2020 г.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ СКОМПЕНСИРОВАННЫХ ФЕРРИМАГНЕТИКОВ

Трочина А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время процессы сверхбыстрого переключения намагниченности привлекают активный интерес исследователей в связи с перспективами их использования в устройствах спинтроники и в информационных технологиях нового поколения.

Перспективными материалами для исследования высокоскоростной магнитодинамики являются антиферромагнетики, обладающие высокими динамическими характеристиками: скорости движения доменных границ в ортоферритах достигают 20 км/с, в них также наблюдается высокочастотная динамика намагниченности [1]. Однако, существуют определенные сложности при экспериментальном исследовании данных эффектов.

В связи с этим в большой интерес вызывает изучение скомпенсированных ферримагнетиков, в которых, как показали исследования последних лет реализуется высокоскоростная динамика намагниченности, в частности, скорости доменных границ достигают 5 км/с [2]. Однако, теоретические модели, используемые для описания динамических явлений в скомпенсированных ферримагнетиках основаны на использовании приближений, например, метод коллективных переменных и атомистические расчеты [2].

В данной работе исследуется динамика намагниченности в скомпенсированных ферримагнетиках типа $GdFeCo$, $CoTb$, $CoGd$, ортоферритах на основе использования эффективного Лагранжиана и эффективной функции Рэля. Проводится расчет динамических характеристик данных систем и исследование их поведения при изменении параметров системы. Проведенные расчеты показывают аномальное возрастание частоты ферромагнитного резонанса при приближении к точке компенсации углового момента T_A ($\frac{M_1}{\gamma_1} = \frac{M_2}{\gamma_2}$), где γ_i является гиромагнитным отношением для конкретной подрешетки, M_i – подрешеточная намагниченность ($i = 1, 2$). В других ферримагнетиках, где отсутствуют условия компенсации углового момента, обсуждаемые эффекты не реализуются.

Литература

1. Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Четкин М.В.// Динамика доменных границ в слабых ферромагнетиках. УФН. 1985. Т. 146. В. 3
2. S. K. Kim// Fast and efficient switching with ferrimagnets. Nature Electronics. 2020. 3 (1), pp. 18–19.

© Трочина А.М., 2020 г.

МИКРОМАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМАХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ (НАНОТОЧКАХ/НАНОДИСКАХ)

Минибаева А.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Для практических применений микро- и наноструктур необходимо уметь контролировать их магнитное состояние, которое зависит от формы, размеров образца, магнитных свойств материала.

В данной работе проводится исследование устойчивых магнитных конфигураций в наноточке и переходов между магнитными конфигурациями при изменении внешних и внутренних воздействий.

Энергия системы имеет вид

$$F = A(\partial_\mu m_\alpha)^2 + F_{DMI} - Km_z^2 - \frac{1}{2}M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H}_m - M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H}, \quad (1)$$

где A – константа обмена, K – константа магнитной анизотропии, M_s – намагниченность насыщения, \mathbf{H}_m – поля размагничивания, F_{DMI} – энергия Дзялошинского – Мория, которая имеет следующий вид

$$F_{DMI} = \gamma \cdot (\mathbf{m}_i \operatorname{div} \mathbf{m}_j - (\mathbf{m}_i \cdot \nabla) \mathbf{m}_j) \quad (2)$$

γ - константа взаимодействия Дзялошинского – Мория (ВДМ).

Проведенные расчеты показывают, что в магнитной наноточке при отсутствии ВДМ реализуются состояния «легкая ось» ($\theta=0$) при $K>0$, «легкая плоскость» ($\theta=\pi/2$) при $K<0$. Рассмотрим наноточку цилиндрической формы и учтём поля размагничивания, используя размагничивающий фактор. На основе минимизации энергии системы (1) можно показать, что переключение между этими состояниями может осуществляться под действием внешнего магнитного поля, как показано на рис. 1. При расчете использованы следующие параметры $A = 2.9 \cdot 10^{-12}$ J/m, $K = 1 \cdot 10^3$ J/m³.

На рис. 1 построены зависимости $\theta(H)$ при разных значениях намагниченности насыщения, на графиках видно, что скорость переключения зависит от величины намагниченности насыщения: при малых величинах M_s переключение осуществляется быстрее. Проведенные расчеты показывают, что переключение намагниченности в наноточках под действием магнитного поля осуществляется безгистерезисным способом, т.е. без потерь энергии.

При учете ВДМ магнитные конфигурации системы изменяются: при включении ВДМ однородные магнитные состояния теряют устойчивость, реализуются вихревые магнитные конфигурации антискирмионного типа, структура которых существенным образом зависят от величины константы ВДМ.

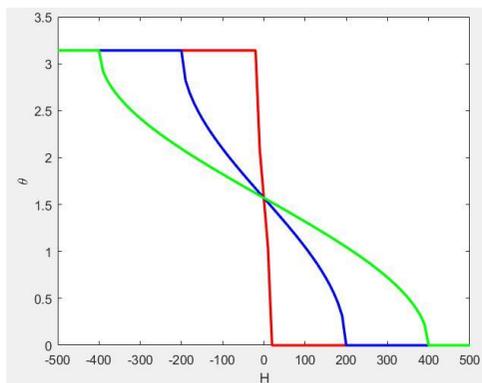


Рис. 1. График зависимости полярного угла θ , определяющего ориентацию вектора намагниченности в магнитной наноточке от магнитного поля H ($M=50$ G (красная линия), $M=100$ G (синяя линия), $M=1000$ G (зеленая линия))

Таким образом, в работе показано, что в зависимости от параметров системы в магнитной наноточке реализуются различные магнитные конфигурации, переключение которых может осуществляться за счет внешних (магнитное поле) и внутренних (ВДМ) воздействий, что может быть использовано при моделировании и управлении нейронных сетей на основе спиновых нейронов.

Литература

1. Браун, У.Ф. «Микромагнетизм» пер. с англ. А. Г. Гуревич. - М.: Наука, 1979, 160 с.
2. Biswas, A.K. et al. Nanotechnology 26 (2015) 285201

© Минибаева А.Р., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В МАГНИТООДНООСНЫХ ПЛЕНКАХ С ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ

Низямова А.Р., Вахитов Р.М., Солонецкий Р.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В последнее время повышенное внимание исследователей уделяется изучению различных свойств магнитоэлектрических материалов, к которым относятся и пленки ферритов-гранатов [1]. Они обладают рядом интересных

и необычных свойств, которые могут быть использованы в устройствах спинтроники и магноники. Более десяти лет назад в пленках ферритов-гранатов был обнаружен новый магнитоэлектрический эффект, который заключался в явлении смещения доменных границ (ДГ) под действием неоднородного электрического поля [2]. Для объяснения наблюдаемого эффекта были предложены два механизма: флексомагнитоэлектрический [1] и механизм индуцирования неоднородным электрическим полем, неоднородных механических напряжений [3]. Однако, как показал их сравнительный анализ оба на качественном уровне достаточно хорошо объясняют экспериментальные данные [2]. Для выявления доминирующего влияния одного из механизмов были изучены и другие аспекты рассматриваемого явления. В частности, было исследовано влияние на эффект внешнего магнитного поля, которое в некоторых случаях усиливало его проявление.

В данной работе, теоретически рассмотрено в рамках флексомагнитоэлектрического механизма трансформация структуры и изменение свойств ДГ различной топологии (180° - и 0° - ДГ с квазиблоховской структурой, 0° - ДГ неелевского типа) во внешнем магнитном поле. В частности, показано, что в 180° - ДГ под действием поперечного магнитного поля существенно возрастает индуцированная в её окрестности величина интегральной поляризации, что означает усиление флексомагнитоэлектрического эффекта. При действии магнитного поля на 0° - ДГ с квазиблоховской структурой значительно понижается порог его зарождения в электрическом поле. Эти и другие полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Литература

1. А.П. Пятаков, А.К. Звездин, Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики// УФН, 2012, т: 182, № 6, с.593-620.
2. А.С. Логгинов и др., Магнитоэлектрическое управление доменными границами в пленке феррита-граната// Письма в ЖЭТФ, 2007, т: 86, с. 124-127.
3. Г.В. Арзамасцева и др., Свойства обладающих магнитоэлектрическим эффектом эпитаксиальных пленок ферритов-гранатов с (210)-ориентацией// Письма в ЖЭТФ, 2015, т: 147, 793.

© Низямова А.Р., Вахитов Р.М., Солонецкий Р.В., 2020 г.

STABILITY OF SCHWARZSCHILD-DAMOUR-SOLODUKHIN THIN-SHELL WORMHOLES

Akhtaryanova G.F., Nizaeva G.I.

M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia

Wormholes are topological tunnels that connect two universes or two distant regions of spacetime and are solutions of Einstein's general relativity including other theories of gravity. Neither wormholes nor black holes have been directly observed in any experiment but they have not yet been ruled out by observations. While there exist enormous works on black holes, especially directed to finding a supermassive black hole at our galactic center, relatively less work is available on wormholes. This scenario has now drastically changed due to the recent discovery that thin-shell wormholes have the ability to mimic recently observed gravitational ring-down post-merger waves that are believed to be characteristic exclusively of black hole horizon [2]. We shall employ the new formalism [3] for investigating the stability regions of the linearly perturbed spherical motion of the thin-shell moving in the bulk spacetime. For this purpose, we obtain the thin-shell by gluing the relevant solutions at some suitable «standard» coordinate radius. In other words, the asymptotic masses on one side will be the mass of the Damour-Solodukhin wormhole [4] and on the other side the Schwarzschild mass. Schwarzschild black hole "foils" (Damour-Solodukhin wormhole) differ from the black hole by a non-zero deviation parameter λ . We will investigate the effect of λ on the thin-shell and calculate the interior energy content by using the gravitational energy integral proposed by Katz et al [5].

References

1. Nandi, K.K., Izmailov, R.N., Yanbekov, A.A., Shayakhmetov, A.A. Ring-down gravitational waves and lensing observables: How far can a wormhole mimic those of a black hole? / K.K. Nandi, R. N. Izmailov, A.A. Yanbekov and A.A. Shayakhmetov // Phys. Rev. D, 2017, v. 95, pp. 104011.
2. Garcia, N.M., Lobo, F.S.N., Visser M. Generic spherically symmetric dynamic thin-shell traversable wormholes in standard general relativity / N.M. Garcia, F.S.N. Lobo and M. Visser // Phys. Rev. D, 2012, v. 86, pp. 044026.
3. Damour, T., Solodukhin, S.N. Wormholes as black hole foils / T. Damour and S.N. Solodukhin // Phys. Rev. D, 2007, v. 76, pp. 024016.
4. Katz, J., Lynden-Bell, D., Bicak, J. Energy and angular momentum densities of stationary gravity fields / J. Katz, D. Lynden-Bell and J. Bicak // Phys. Rev. D, 2007, v. 75, pp. 024040

© Akhtaryanova G.F., Nizaeva G.I., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ЗАРЯДА НА ЭФФЕКТ САНЬЯКА В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ БАРДИНА

Каримов Р.Х.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,
г. Уфа, Россия

В работе рассматривается один из интереснейших эффектов астрофизики связанной с вращением - эффект Саньяка [1]. Сам эффект может быть описан следующим образом: пусть имеется вращающийся объект (скажем Земля, звезда, черная дыра или кротовая нора) и вокруг него вращается источник/приемник света, как показано на рис. 1а. От источника/приемника света исходят два пучка света (один сонаправленный вращению объекта, второй противоположно-направленный) движущихся в противоположных направлениях по замкнутым круговым траекториям вокруг вращающегося объекта (Рис. 1б). В результате облета они придут к источнику/приемнику света неодновременно (Рис. 1в). Эта разница прибытия пучков света к источнику/приемнику света и называется эффектом Саньяка.

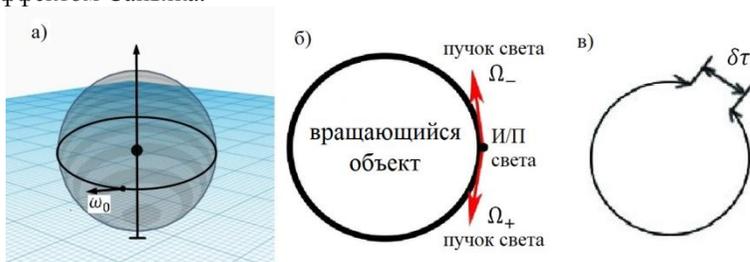


Рис. 1. Схематичное изображение эффекта Саньяка, где ω_0 – угловая скорость источника/приемника света, Ω_+ и Ω_- – угловые скорости противоположно-направленных пучков света и δt – задержка Саньяка

В качестве центрального объекта будет рассмотрена вращающаяся несингулярная черная дыра Бардина [2], характеризующаяся массой, угловым моментом и магнитным зарядом. В работе будет показано как магнитный заряд (характерный параметр метрики Бардина) влияет на задержку Саньяка.

Литература

1. Tartaglia, A. General relativistic corrections to the Sagnac effect // Phys. Rev. D, 1998, v. 58, pp. 064009.
2. Ayón-Beato, E., García, A. The Bardeen model as a nonlinear magnetic monopole // Phys. Lett. B, 2000, v. 493, pp. 149.

© Каримов Р.Х., 2020 г.

КОНФОРМАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ДНК С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С БЕЛКАМИ

Фатихова Ф.Г., Закирьянов Ф.К.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Изучение динамики ДНК является одним из важных направлений в современной биофизике и биохимии. Молекула ДНК представляет собой линейный вытянутый эластичный полимер, составленный из поворачивающихся нуклеотидов. Механическим аналогом такой системы является цепочка связанных маятников. Двойная спираль ДНК моделируется двумя линейными цепочками маятников (азотистые основания), связанных пружинными подвесками (сахарно-фосфатный остов – СФО). Динамика таких систем, и следовательно, динамика модели ДНК описывается уравнениями типа синус-Гордон, их модификациями и системами таких уравнений.

В нашей работе уравнение движения имеет вид модифицированного уравнения синус-Гордона:

$$\psi_{tt} - \psi_{xx} + [1 - k_r R(\xi, x)] \sin\psi = 0$$

где $\psi(x,t)$ – угол поворота основания вокруг СФО, k_r – коэффициент взаимодействия белка с ДНК, $R(\xi, x) = \theta[d^2 - (\xi - x)^2]$ – фактор сопряжения белка с ДНК, θ – функция Хевисайда.

Так как рассматриваемое уравнение является нелинейным, то нахождение его решений осуществлялось численно. Решения эти при $k_r = 0$ хорошо известны в литературе и имеют вид нелинейных уединённых волн – солитонов и кинков. При $k_r \neq 0$ эти решения выглядят более сложно:

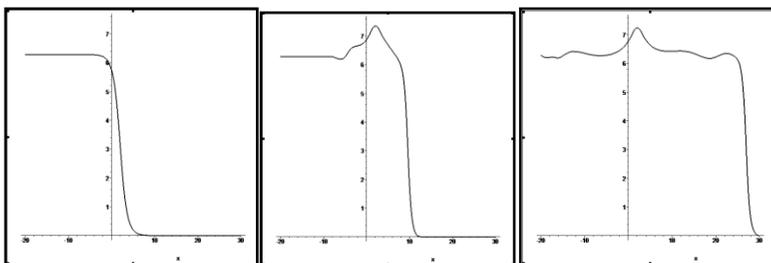


Рис. 1. Динамика движения кинка в ДНК в различные моменты времени

Таким образом, можно сделать вывод, что учёт взаимодействия ДНК с белком сохраняет качественный вид решения классического уравнения синус-Гордона, но вносит небольшие возмущения в профиль решения.

Литература

1. Derks, G and Gaeta, G (2011) A minimal model of DNA dynamics in interaction with RNA-Polymerase //Physica D: -2011 //Nonlinear Phenomena, 240 (22). pp. 1805-1817.

© Фатихова Ф.Г., Закирьянов Ф.К., 2020г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С НОСИТЕЛЯМИ ЗАРЯДА В МОЛЕКУЛЕ ДНК

Семерикова М.А., Закирьянов Ф.К.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Проблема переноса заряда в молекуле ДНК является чрезвычайно актуальной. Интерес к этой проблеме связан прежде всего с возможностью использования цепочек ДНК в перспективных устройствах нанобиоэлектроники. Экспериментальное исследование динамики переноса заряда в ДНК началось лишь в начале 90-х годов XX в. В настоящее время проведено много различных экспериментов по переносу, интерпретации которых посвящено большое число теоретических работ.

В работе [1] теоретически показано, что при локальном внешнем интенсивном возбуждении решетки ДНК возможно образование бризеров на движущихся фронтах возникшего вследствие нелинейности решетки баббла. Эти бризеры в состоянии захватывать внешний электрон и перемещать его вдоль решетки. Характерное время существования связанного состояния «бризер-электрон» порядка 20–30 периодов осцилляций сайтов решетки. Характерная длина смещения ~ 20 сайтов. Максимальная вероятность обнаружить электрон в движущемся бризере ~ 0.2 .

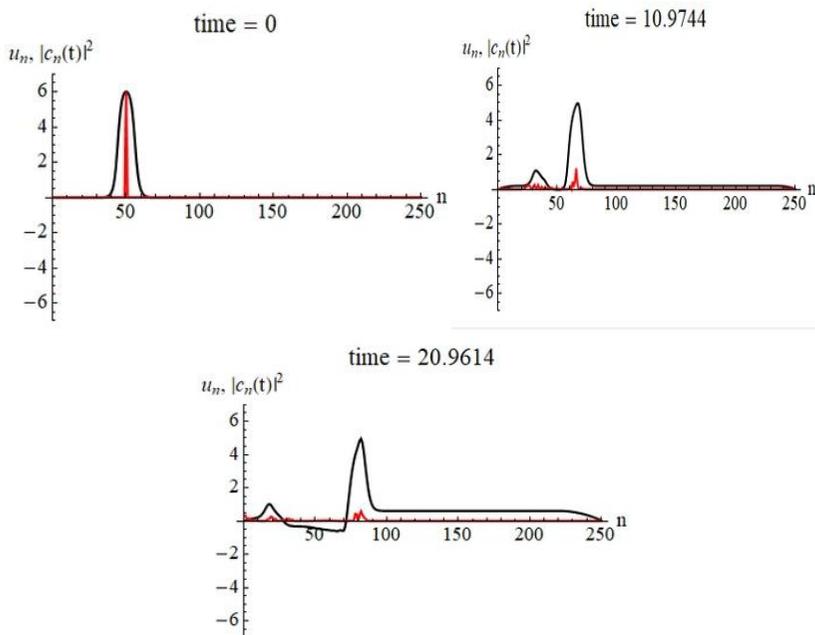


Рис. 1. Прохождение заряда в различных моменты времени

В данной работе нами рассмотрена динамика переноса заряда в модели молекулы ДНК с учетом трения [2]. Движение описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{U}_n = S(U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}) - \gamma \dot{U}_n (e^{-\beta U_n} - 1) e^{-\beta U_n} - b_n^2 A \\ \dot{b}_n = r_{n+1} + q_{n-1} b_{n-1} - (r_n + q_n) b_n \end{cases}$$

Начальное конформационное возмущение задавалось в виде солитонной пары «кинк-антикинк», центр которого приходился на 50-й сайт (Рис. 1).

Устанавливая различные значения параметра связности решетки S , а также коэффициента трения γ , мы наблюдали различные картины прохождения заряда из которых можно сделать вывод, что движение заряда коррелирует с движением конформационного возмущения.

Литература

1. Ляхно В.Д., Четвериков А.П. Возбуждение бабблов и бризеров в ДНК и их взаимодействие с носителями заряда. Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9. № 1. С. 4–19.
2. Закирьянов Ф.К., Мельников В.Ю. Моделирование процесса переноса заряда в молекуле ДНК. Тезисы 26-й международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». Пушкино, 28.01.–02.02. 2019. Изд. «Институт компьютерных исследований». Москва, Ижевск, 2019. – с. 36.

© Семерикова М.А, Закирьянов Ф.К., 2020 г.

УДК 524.3-17

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛАПСА ПРОТОЗВЁЗДНЫХ ОБЛАКОВ МЕТОДОМ ЛАКСА-ВЕНДРОФА

Султанов И.М., Дудоров А.Е.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В работе моделируется коллапс изотермического сферически-симметричного молекулярного газопылевого облака с параметрами: $M = 1 M_{\odot}$, $R = 2.63 \times 10^7 R_{\odot}$, $\rho = 10^{-19} \text{ см} \cdot \text{г}^{-3}$, $T = 10 \text{ К}$. Система уравнений, описывающая такое сжатие, имеет следующий вид [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla(\rho v^2 + P) = -\rho \nabla \Phi, \\ \Delta \Phi = 4\pi G \rho, \\ P = c_s^2 \rho, \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, P – давление газа, v – скорость газа, Φ – гравитационный потенциал, c_s – изотермическая скорость звука.

Численные расчёты проводятся с помощью двухшагового метода Лакса-Вендрофа на однородной эйлеровой сетке с пространственным шагом Δx . Величина шага Δt по времени определяется на каждом шаге из условия Куранта-Фридриха-Леви: $\Delta t_{KFL} = \min_i \frac{\Delta x}{|v_i| + c_s}$. $\Delta t = k \Delta t_{KFL}$, где $0 < k \leq 1$.

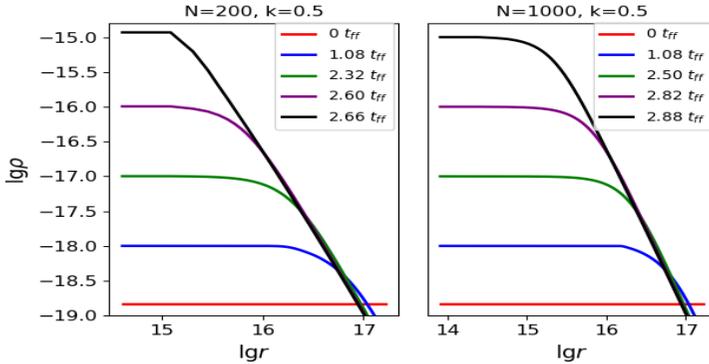


Рис. 1. Профиль плотности

На рисунке 1 представлены профили плотности, полученные с помощью расчётов при разном количестве ячеек N . Видно, что во всех случаях плотность увеличилась на 4-ре порядка, однако с увеличением N профиль становится более гладким. Для $N=1000$ и $k = 0.5$ был получен тангенс угла наклона, который равен -2.36 , что близко к тому что получили Дудоров и Сазонов [2], в их случае тангенс угла наклона составлял -2.3 , и близко к тому что получил Ларсон, -2 [3].

Работа С.И.М. выполнена при финансовой поддержке гранта фонда перспективных научных исследований (проект 2020/5), работа Д.А.Е. – при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-02-01067).

Литература

- 1 – Alexander E. Dudorov, Oleg A. Kuznetsov, Andrey G. Zhilkin, TVD Scheme for the Numerical Simulation of the Axisymmetrical Selfgravitating MHD Flows.
- 2 – А.Е. Дудоров, Ю.В. Сазонов Гидродинамика Коллапса Межзвёздных облаков. 1 Численный метод расчёта/А.Е. Дудоров, Ю.В. Сазонов.
- 3 – Richard B. Larson, Numerical Calculations of the Dynamics of a Collapsing Proto-Star/Richard B. Larson/Royal Astronomical Society – 1969 – V. 145.

© Султанов И.М., Дудоров А.Е., 2020 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДЕРЖКИ ШАПИРО ДЛЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ
ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ХЭЙВОРДА**

Байбулова Г.Ш., Григорьев А., Байбурин Э.И.

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,
г. Уфа, Россия

Гравитационное линзирование привлекает большое внимание из-за его обширных астрономических приложений [1]. В рамках этого геометрического эффекта гравитационная задержка электромагнитных волн является одним из наиболее важных свойств. Основная работа по получению гравитационной задержки первого порядка радиолокационных эхо-сигналов была проведена Шапиро [2] для проверки общей теории относительности. В более позднем исследовании [3] релятивистские поправки второго порядка, включающие эффекты, вызванные массой и вращением, были рассмотрены для расширения его результата благодаря быстрому прогрессу в точности наблюдений [4].

В работе будет вычислена временная задержка Шапиро в пространстве-времени Хейворда [5] для света от источника r_s до наблюдения r_{obs} в приближении третьего порядка, которая может быть записана в виде

$$\Delta t(r_s \rightarrow r_{obs}) = T(r_s) + T(r_{obs}) - \left(\sqrt{r_s^2 - r_0^2} + \sqrt{r_{obs}^2 - r_0^2} \right),$$

где r_0 – радиус наименьшего сближения черной дыры, $T(r_s)$ – время прохождения света от источника до радиуса наименьшего сближения, $T(r_{obs})$ – время прохождения света от радиуса наименьшего сближения до наблюдателя.

Литература

1. Cao, Z., Li, L., Wang, Y. Gravitational lensing effects on parameter estimation in gravitational wave detection with advanced detectors // Phys. Rev. D, 2014, v. 90, pp. 062003.
2. Shapiro, I.I. Fourth Test of General Relativity // Phys. Rev. Lett., 1964, v. 13, pp. 789-791.
3. Bozza, V., Mancini, L. Time Delay in Black Hole Gravitational Lensing as a Distance Estimator // Gen. Relativ. Gravit., 2004, v. 36, pp. 435.
4. Malbet, F. et. al. Formation flying for very high precision astrometry: NEAT and micro-NEAT mission concepts // Int. J. Space Sci. En., 2014, v. 2, pp. 3-15.
5. Bambi, C., Modesto, L. Rotating regular black holes // Phys. Lett. B, 2013, v. 721, pp. 329-334.

© Байбулова Г.Ш., Григорьев А., Байбурин Э.И., 2020 г.

ПРЕЦЕССИЯ ЛЕНЗЕ-ТИРРИНГА В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ ЙОХАНСЕНА-ПСАЛТИСА

Губайдуллина З.И., Панченко А.В., Калимуллина Л.Р., Галимова А.Э.
Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,
г. Уфа, Россия

В стационарных черных дырах с ненулевым угловым моментом (вращения), как известно, проявляется эффект под названием прецессия Лензе-Тирринга [1]. В результате этого эффекта локально инерциальные системы отсчета движутся вдоль вращающегося пространства-времени и возникает прецессия тестового гироскопа. Такая частота прецессии называется частотой прецессии Лензе-Тирринга. Отметим, что орбитальная прецессия Лензе-Тирринга была впервые измерена для спутников LAGEOS и LAGEOS II и полученные значения находятся в полном соответствии с общей теорией относительности.

В работе будет исследована прецессия Лензе-Тирринга вращающейся черной дыры Йохансена-Псалтиса [2], которая характеризуется массой, угловым моментом и параметром отклонения ϵ_3 . В зависимости от параметра отклонения меняется форма черной дыры: более вытянутая (сплюснутая), чем черная дыра Керра с тем же вращением при $\epsilon_3 > 0$ ($\epsilon_3 < 0$) и при $\epsilon_3 = 0$ решение переходит в пространство-время Керра.

В пределе слабого гравитационного поля ($R \gg M$), выражение прецессии скорости Лензе-Тирринга в пространстве-времени Йохансена-Псалтиса

$$\Omega_{LT}(r, \theta) = \frac{2aM}{r^3} \sqrt{\frac{r^3 + \epsilon_3 M^3}{r - 2M}} \cos^2 \theta + \frac{r^2}{4(r - 2M)^2} \sin^2 \theta.$$

Таким образом, с ростом параметра ϵ_3 величина прецессии скорости Лензе-Тирринга будет увеличиваться.

Литература

1. Chakraborty, C., Majumdar, P. Strong gravity Lense-Thirring precession in Kerr and Kerr-Taub-NUT spacetimes // *Class. Quantum Grav.*, 2014, v. 31, pp. 075006.
2. Johannsen, T., Psaltis, D. Metric for rapidly spinning black holes suitable for strong-field tests of the no-hair theorem // *Phys. Rev. D*, 2011, v. 83, pp. 124015.

© Губайдуллина З.И., Панченко А.В.,
Калимуллина Л.Р., Галимова А.Э., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ЗАРЯДА НА ВРЕМЯ ПРИБЫТИЯ СИГНАЛОВ В ДВОЙНОЙ СИСТЕМЕ ПУЛЬСАР – ЧЕРНАЯ ДЫРА

Тулеганова Г.Ю., Мухамадиева Л.Ю.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Основываясь на идее Сахарова [1] и Глинера [2], Бардин представил первую статическую сферически-симметричную модель регулярной черной дыры [3], который, помимо массы M и параметра вращения a , включает в себя имеет дополнительный параметр g , возникающий из-за магнитного заряда вследствие нелинейной электродинамики. В данной работе будет исследовано влияние параметра магнитного заряда g на время прибытия сигналов (ВПС).

Модель ВПС была впервые представлена в работе Измаилова и др. [4]. Рассматривая вращающуюся черную дыру Бардина в качестве компаньона двойной системы пульсар – черная дыра, получим оптимальную лабораторию для проверки предсказаний по ВПС. Метрика Бардина представлена в виде [3]:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2m(r)r}{\Sigma} \right) dt^2 - \frac{4m(r)ar \sin^2 \theta}{\Sigma} d\varphi dt + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + A d\varphi^2, \quad (1)$$

где

$$m(r) = M \left(\frac{r^2}{r^2 + g^2} \right)^{3/2}, \quad \Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta,$$

$$\Delta = r^2 + a^2 - 2m(r), \quad A = r^2 + a^2 + \frac{2m(r)ra^2 \sin^2 \theta}{\Sigma}. \quad (2)$$

В работе исследована ВПС до третьего пост-постньютоновского порядка в приближении тонкой линзы.

Разница ВПС Δt равна:

$$\Delta t = \left(\frac{1}{c} \right) \int_0^\pi d\varphi \left[\frac{4aM}{r} + \frac{2aM^2}{r^2} \psi_1 + \frac{8aM^3}{r^3} \psi_2 \right] \equiv \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3. \quad (3)$$

где параметры $\psi_1 = M - \frac{3g^2}{M}$ и $\psi_2 = M - \frac{3g^2}{M^2}$ являются параметрами отклонения от метрики. Как видно из уравнения (3), влияние магнитного заряда присутствует во втором и третьем порядке и с увеличением значения магнитного заряда величина ВПС увеличивается.

Литература

1. Sakharov, A. D. // Zh. Eksp. Teor. Fiz., 1966, 49, 345
2. Gliner, E. B. // Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics, 1966, 22, 378
3. Bardeen, J. // Tbilisi, USSR, 1968
4. R.N. Izmailov, E.R. Zhdanov, A. Bhadra et al. // Eur. Phys. J. 2019. С 79, 105.

© Тулеганова Г.Ю., Мухамадиева Л.Ю., 2020 г.

**WEAK FIELD LENSING OF BLACK HOLES COUPLED WITH
NONLINEAR ELECTRODYNAMICS**

Kamalova D.Yu., Lukmanova R.F.

M. Aknullah Bashkir State Pedagogical University (Ufa, Russia)

The study on global regularity of black holes (BHs) has attracted the attention of many researchers. None of the regular BHs are exact solutions to the field equations without any physically reasonable source. To derive the nonlinear electro-magnetic field, one requires enlarging the class of electrodynamics to nonlinear ones. One of such regular BH coupled with nonlinear electrodynamics known as Ayon-Beato and Garcia (ABG) BH [1].

In this work, we choose a more practical diagnostic, viz., the weak field lensing (WFL) observables[2]. The observables include light deflection, image position, total magnification, and magnification factor of images and compare their values with Reissner Nordström (RN) black hole solution. using the KeetonPetters method[3]. We shall, for illustration, assume the lens to be the compact object SgrA*.

References

1. Ayon-Beato, E., Garcia, A. Regular Black Hole in General Relativity Coupled to Nonlinear Electrodynamics // Phys. Rev. Lett., 1998, v. 80, pp. 5056.
2. Lukmanova, R.F., Tulegenova, G.Y., Izmailov, R.N., Nandi K.K. Lensing observables: Massless dyonic vis-\`a-vis Ellis wormholes // Phys. Rev. D, 2018, v. 97, pp. 124027.
3. Keeton, C.R., Petters, A.O. Formalism for testing theories of gravity using lensing by compact objects: Static, spherically symmetric case // Phys. Rev. D, 2005, v. 72, pp. 104006.

© Kamalova D.Yu., Lukmanova R.F., 2020 г.

INVESTIGATION OF DISCRETE MAGNETIC BREATHERS IN A MONOAXIAL CHIRAL HELIMAGNET

Ekomasov E.¹, Ovchinnikov. A.², Bostrem I.², Sinitsyn Vl.², Kishine J.³

¹Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

³The Open University of Japan, Chiba, Japan

We discuss localized spin modes in the model of monoaxial chiral helimagnet. Following the idea suggested in Ref. [1] we address the so-called phase of forced ferromagnetism, where in the ground state all spins align with an external magnetic field applied along the chiral axis [2]. Our analysis shows that the intrinsic localized modes, or discrete breathers, exist and the Dzyaloshinskii-Moryia (DM) interaction does not hinder their emergence.

We consider the spin Hamiltonian including the Heisenberg exchange coupling, the easy-plane anisotropy, the Zeeman coupling with an external magnetic field directed along the chiral axis, and the Dzyaloshinskii-Moryia interaction term along the chiral axis. It is supposed that the external field exceeds a critical value to stabilize the forced ferromagnetic phase. By using equations of motion for spin operators of a finite chain we find an approximate analytical solution of the discrete breather, establish necessary conditions for the breather frequency and the easy-plane anisotropy strength. The discrete breather accumulates not only magnon density but a topological charge. The topological charge depends on the balance between a scale of breather localization and a pitch of the spiral determined by the DM interaction.

We calculate the energy of the discrete breather. It includes a part that may be obtained in the continuum limit and a pinning part that takes into account discreteness of the spin chain.

The work was supported by the RFBR grant (project No. 20-02-00213).

References

1. R.F. Wallis, D.L. Mills and A.D. Boardman, *Physica Review B*, Vol. 52, p. R3828, (1995).
2. J. Kishine, A.S. Ovchinnikov, *Solid State Physics*, Vol. 66, Pp. 1-130.

© Ekomasov E., Ovchinnikov A., Bostrem I., Sinitsyn Vl, Kishi J., 2020.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПРОВОДЯЩИХ НАНОЦИЛИНДРАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Антонов Г.И., Степанов С.В., Левашова И.А., Мухамадеева В.В.,
Звездин К.А., Екомасов Е.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время большое внимание привлекают исследования вихревых решений Обобщенного уравнения Ландау-Лифшица [1-3]. Наличие в этом уравнении слагаемого, учитывающего взаимодействие намагниченности и спин-поляризованного тока, позволяет исследовать процессы переключения и возбуждения осциллирующей намагниченности в магнитных наноструктурах с помощью тока и внешнего магнитного поля. Интересны для рассмотрения, в этом плане, микроволновые спин-трансферные наноосцилляторы (СТНО). Большинство таких структур имеют два магнитных слоя, разделенных немагнитной прослойкой. Одной из наиболее перспективных разновидностей СТНО, является вихревая структура, в которой магнитный вихрь реализуется как основное состояние в ферромагнитных слоях. Появилось много экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию динамики магнитостатически связанных магнитных вихрей (см., например, [2-3]). Показано, что для системы из двух взаимодействующих магнитных дисков, находящихся в вихревом состоянии, спектр колебаний магнитных вихрей может кардинально измениться. Также экспериментально найдена зависимость величины магнитного поля переключения полярности каждого из вихрей от величины поляризованного тока.

С помощью микромагнитного пакета SPINPM проведено исследование динамики и структуры двух дипольно связанных магнитных вихрей в трехслойном наностолбике большого диаметра (400 нм), под действием внешнего магнитного поля и спин-поляризованного электрического тока. Показана возможность существования различных режимов движения вихрей, в зависимости от величины поляризованного тока и магнитного поля. Для случая стационарной динамики связанных магнитных вихрей, найдена зависимость частоты их колебаний от величины тока. С помощью аналитического метода, для упрощенного описания динамики связанных вихрей, получены зависимости частоты от величины тока и внешнего магнитного поля, качественно совпадающие с численными результатами. Построена зависимость величины магнитного поля, разделяющего полярность вихрей от величины спин-поляризованного тока. Показано, что динамический и квазистатический сценарии переключения полярности вихря имеют место при различных значениях поля и тока. Проведено сравнение динамики двух дипольно связанных

магнитных вихрей в трехслойном наностолбике диаметр которого составляет 400 нм.

Литература

1. Звездин А.К., Звездин К.А., Хвальковский А.В. // УФН.178, 436 (2008).
2. Locatelli N., Ekomasov A.E., Khvalkovskiy A.V. and et. el., Applied Physics Letters. **102**, 062401 (2013)
3. Екомасов А.Е., Степанов С.В., Екомасов Е.Г., Звездин К.А., Физика металлов и металловедение. **118**, 345 (2017).
4. А.Е.Екомасов, S.V.Stepanov, E.G.Ekomasov, K.A.Zvezdin, JMMM Volume 471, 1 February 2019, Pages 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.09.077>.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 19-02-00316.

© Антонов Г.И., Степанов С.В., Левашиова И.А., Мухаммадева В.В., Звездин К.А., Екомасов Е.Г., 2020 г.

УДК 538.7

БИПОЛЯРНОЕ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ МИКРОМАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ ГРАНАТОВ

Гареев Т.Т., Мясников Н.В., Антипин К.С., Куликова Д.П.,
Николаева Е.П., Пятаков А.П.

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Управление микромагнитными структурами представляет существенный интерес при создании устройств спинтроники и новых видов магнитной памяти. Явление неоднородного магнитоэлектрического эффекта, заключается в возможности контроля микромагнитных неоднородностей воздействием на них внешним электрическим полем. Магнитоэлектрический контроль и электроиндуцированное зарождение микромагнитных неоднородностей требует значительно меньших энергетических затрат, по сравнению с аналогичным управлением микромагнитными структурами магнитными полем [1].

В работах [2-5] была продемонстрирована возможность зарождения топологических микромагнитных неоднородностей (цилиндрических магнитных доменов и скирмионов) с помощью внешнего электрического поля. Однако, до настоящего момента зарождение подобных структур наблюдалось только при приложении к образцу электрического поля одного знака полярности.

В настоящей работе нами показана возможность биполярного зарождения микромагнитных структур – цилиндрических магнитных доменов. Данный эффект наблюдался в пленках ферритов гранатов $(\text{BiLu})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ на $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ подложке с кристаллографической ориентацией (110). Зарождение цилиндрических магнитных доменов происходило под электродом, на который подавалось электрическое напряжение с высоковольтного источника $U = \pm 500$ В (рис.1 а). В зависимости от знака полярности напряжения на источнике зарождение цилиндрических магнитных доменов происходило по разные стороны от электрода (рис. 1 б, в). Эффект зарождения микромагнитных неоднородностей наблюдался на границах магнитного фазового перехода.

Для обеспечения магнитного фазового перехода и усиления явления магнитоэлектрического эффекта к образцу дополнительно прикладывались магнитные поля, направленные параллельно ($H_{\parallel} = 170$ Э) и перпендикулярно ($H_{\perp} = 15$ Э) к плоскости подложки образца.

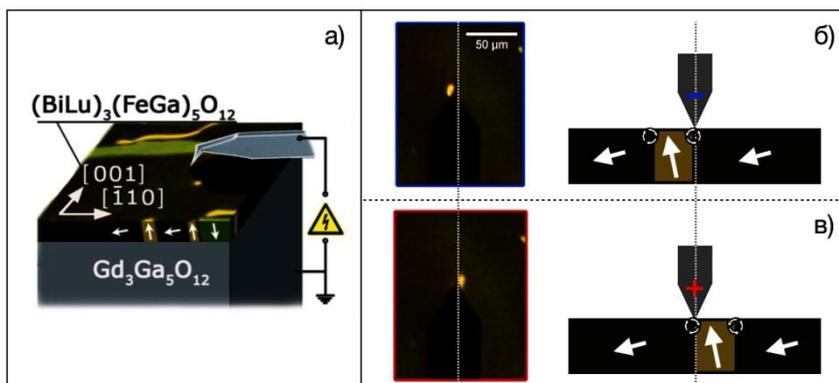


Рис. 1. а) схема эксперимента; б, в) электроиндуцированное зарождение микромагнитных неоднородностей (б – при приложении отрицательного напряжения к электроду; в – положительного)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-02-00828.

Литература

1. A. Ryatakov, et al. SPIN, 9(2):1940004 (2019);
2. Д. П. Куликова и др., Письма в ЖЭТФ, 104, 3, 196–200 (2016);
3. D.P. Kulikova et al., Phys. Status Solidi - Rapid Res., 12, 1800066 (2017);
4. P. Hsu et al, Nat. Nanotechnol. 12, 123–126 (2016);
5. P. Huang, Nano Lett., 18, 5167–5171 (2018).

*© Гареев Т.Т., Мясников Н.В., Антипин К.С.,
Куликова Д.П., Николаева Е.П., Пятаков А.П., 2020 г.*

**ДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВИХРЕЙ В ПРОВОДЯЩИХ
НАНОСТОЛБЧАТЫХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ**

Степанов С.В., Екомасов А.Е., Антонов Г.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Актуальной физической проблемой является разработка нового поколения высокоскоростных и эргономичных электронных устройств. Магнитные наностолбчатые структуры, содержащие в себе вихрь, с недавних пор привлекают к себе большое внимание благодаря возможности их практического применения, в частности, в магнитной памяти или наноразмерных спин-токовых генераторах, излучающих в ГГц-диапазоне, которые планируется использовать в телекоммуникационных приложениях. В настоящее время большой интерес привлекает спин-трансферный наногенератор (СТНГ) СВЧ, который отличается значительной выходной мощностью, небольшой шириной и относительно большим спектром частот, даже без приложения внешнего магнитного поля. Например, исследуется влияние поляризованного электрического тока и магнитного поля на динамику магнитных вихрей, находящихся в двух магнитных слоях, входящих в состав наностолбчатой спин-вентильной структуры.

В работе исследуется СТНГ, состоящий из трёх слоёв (пермалловый (P_y) 4 нм/Cu - 10 нм/P_y -15 нм) кругового сечения диаметром 120 нм. Намагниченности обоих магнитных слоёв находятся в вихревом состоянии. Рассматривается случай, когда два магнитных слоя взаимодействуют через поля размагничивания и спин-поляризованный ток и, при этом, система находится во внешнем магнитном поле, перпендикулярном плоскости слоёв. С помощью микромагнитного моделирования была исследована динамика движения вихрей, образование C-структуры вихревого состояния. Построены траектории движения вихрей в разных динамических режимах. Для больших токов, при выходе кора вихря на край диска в толстом и тонком слоях наблюдалась C-структура вихревого состояния [1]. Для случая небольших токов, когда наблюдается важный для практических применений режим стационарных связанных колебаний магнитных вихрей, в начальный момент движения наблюдается сильно нелинейный режим движения. Затем траектория движения выходит на расширяющуюся спираль и доходит до максимальной величины.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 19-02-00316.

Литература

1. Челябин. физ.-матем. журн. 2020. Т. 5, вып. 2., С. 161-173.

© Степанов С.В., Екомасов А.Е., Антонов Г.И., 2020 г.

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАКЕТА SPINPM ДЛЯ
ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СВЯЗАННЫХ
ВИХРЕВЫХ СОСТОЯНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СПИН-
ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА В ПРОВОДЯЩЕЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ
ФЕРРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ**

Мухамадеева В.В., Левашова И.А.

Степанов С.В., Антонов Г.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Большой популярностью пользуются исследования переключения и возбуждения колебаний намагничивания в магнитных наноструктурах с помощью токов достаточно высокой плотности, поляризованных вдоль спина [1-3].

Частоты, возбуждаемые переносом спинового момента колебаний намагничивания в магнитных наноструктурах, могут быть изменены путем приложения внешних магнитных полей и токов, и могут быть использованы для создания перспективных приложений в радиотехнике. Одно из многообещающих применений этого явления вырождается в создании Спин-трансферный наногенератор (СТНГ) СВЧ. В данной статье исследуются преимущества и недостатки использования пакета SPINPM для численного исследования STNG, который состоит из трех слоев кругового сечения. Намагниченность обоих магнитных слоев находится в вихре.

Рассматривается случай динамики связанных вихрей под действием только спин-поляризованного тока в наностолбике диаметром 120 нм, состоящий из трех слоев. В частности, были изучены процессы переключить полярность вихря только в одном магнитном слое.

Литература

1. Звездин А.К., Звездин К.А., Хвальковский А.В., УФН, 178, 4 (2008).
2. N. Locatelli et al, Appl. Phys. Lett. 98, 062501 (2013).
3. A.E.Ecomasov, S.V.Stepanov, E.G.Ecomasov, K.A.Zvezdin, JMMM, Volume 471.

© Мухамадеева В.В., Левашова И.А.,
Антонов Г.И., Степанов С.В., 2020 г.

**STABILITY OF SKYRMIONS IN THE FRUSTRATED
ANTIFERROMAGNETIC/FERROELECTRIC BILAYERS WITH THE
TRIANGULAR LATTICE**

Akhmetzyanova E.A., Yuldasheva A.R., Sharafullin I.F.
Bashkir State University, Ufa, Russia

Magnetic skyrmions - nanoscale topologically protected vortices of spin – have been investigated as potential information carriers in spintronics devices [1, 2, 3]. In these works, we have considered the magnetic and ferroelectric layers with a triangular lattice. Skyrmions are usually formed under the influence of an external magnetic field in noncentrosymmetric nanofilms or at interfaces in heterostructures and interfacial symmetry-breaking superlattices. In this work, we have considered the magnetic and ferroelectric layers with a triangular lattice.

The purpose of this work is thus to study the effect of the DM interface coupling on the properties of skyrmions. In this work we study the phase transition and ground state configurations in magnetoelectric superlattices formed by alternate antiferromagnetic and ferroelectric layers by the use of Monte Carlo simulation and the steepest descent method. We found the formation of a stable skyrmion crystal in the ground state of antiferromagnetic/ferroelectric superlattices with the triangular lattice at zero applied magnetic field. Very strong magnetoelectric interactions at the interface leads to the disappearance of the magnetic phase transition. The existence of skyrmions at the magneto-ferroelectric interface in the ground state at zero magnetic field is very interesting and may have practical applications in digital technologies and spintronics. We found the formation of a perfect skyrmions lattice at acceptable values of magnetoelectric interaction. We emphasize that the skyrmions structure is stable in a large region of the external magnetic field. As it turns out, we find several striking features among which i) skyrmions are created even without an applied magnetic field, ii) skyrmions are stable in a large region of magnetic field. These results are important for applications because skyrmions which are magnetic textures can be manipulated by an electric field.

References

1. Rosh A. Spintronics: Electric control of skyrmions // *Nat. Nanotechnol.*, 2017, v. 12, pp. 103-104.
2. Fert A, Cros V, Sampaio J. Skyrmions on the track // *Nat. Nanotechnol.*, 2013, v. 8, pp. 152-156.
3. Koshihara W, Kaneko Y, Iwasaki J, Kawasaki M, Tokura Y, Nagaosa N. Memory functions of magnetic skyrmions // *Japanese Journal of Applied Physics*, 2015, v. 54, p. 053001.

© Akhmetzyanova E.A., Yuldasheva A.R., Sharafullin I.F., 2020

**ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В КИРАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ:
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Синицын Вл.Е.¹, Овчинников А.С.¹, Бострем И.Г.¹, Екомасов Е.Г.²

¹Институт естественных наук и математики, УрФУ,

г. Екатеринбург, Россия

²Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В качестве модели кирального гелимагнетика мы рассматриваем цепочку спинов конечной длины L , гамильтониан которой выглядит следующим образом:

$$\mathcal{H} = -2J \sum_n \mathbf{S}_n \cdot \mathbf{S}_{n+1} + A \sum_n (S_n^z)^2 - H_0 \sum_n S_n^z + \mathcal{D} \sum_n [\mathbf{S}_n \times \mathbf{S}_{n+1}]_z,$$

Первое слагаемое описывает Гайзенберговский обмен, второе — антисимметричный обмен, третье — магнитная анизотропия типа легкая плоскость и последнее — Зеемановское взаимодействие с магнитным полем.

В работах [1-3] показано, что в фазе вынужденного ферромагнетизма в таких системах возможны локализованные в пространстве и осциллирующие по времени состояния в виде дискретных бризеров, как статических, так и движущихся.

В настоящей работе проверено численное моделирование статических бризерных состояний в конечной цепочке с вышеуказанным гамильтонианом.

Нами были получены выражения, которые позволяют через значение проекции спина на центральном узле цепочки вычислить значения спинов по всей длине слева и справа от центра с учетом антисимметричного обмена, причем как для случая симметричных решений, так и для антисимметричных:

Нами использовался следующий алгоритм нахождения решения: (1) задавалось пробное отклонение S_0 и по вышеуказанной формуле

$$\Omega s_n = -2B s_n \sqrt{1 - s_n^2} + s_n \left(\sqrt{1 - s_{n+1}^2} + \sqrt{1 - s_{n-1}^2} \right) - \sqrt{1 - s_n^2} (s_{n-1} + s_{n+1}) \sqrt{1 + \frac{D^2}{4J^2}}$$

рассчитывались значения S_n до концов цепочки. (2) Проверялось выполнение критерия для крайних узлов SL, SL-1. (3) Выбиралось новое значение S_0 и пункты 1-2 повторялись. Сначала подбор производился для крупного шага по S_0 , затем полученные примерные значения S_0 , для которых выполнялся критерий, уточнялись с более мелким шагом.

Были получены решения в виде бризерной решетки (Рис. 1). Видно, что учет антисимметричного обмена не препятствует возникновению бризерных

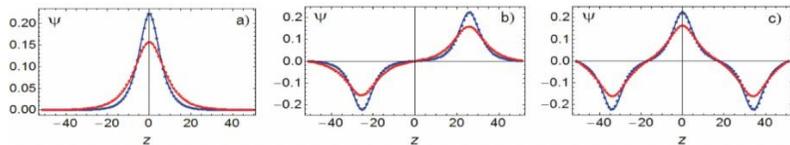


Рис. 2. Огибающая функция бризерных возбуждений для решетки размера L : а) пара кинк-антикинк ($L=100$), б) две пары кинк-антикинк ($L=101$), в) три пары кинк-антикинк ($L=100$)

мод, но уменьшает их амплитуду. Кроме того, в отличие от случая чисто изотропного обмена, волновой вектор дискретного бризера совпадает с соответствующей величиной для конической спирали $ka = -\arctg(D/2J)$, которая является основным состоянием гелимагнетика при полях, меньших критического.

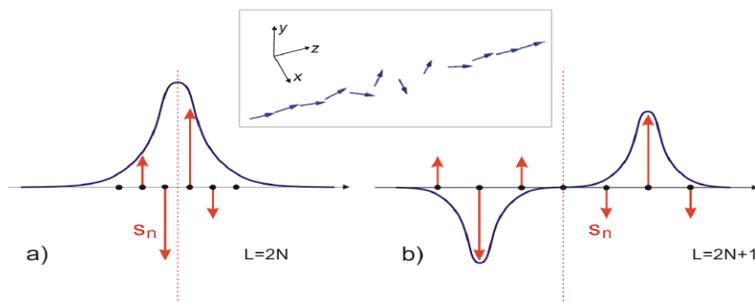


Рис. 1. Схематичное изображение антисимметричного упорядочения спиновых переменных S_n относительно центра системы (пунктирная красная линия) при учете антисимметричного обмена для (а) четного и (б) нечетного числа узлов. Сплошной синей линией показан профиль огибающей функции. Вставка: пространственное распределение спиновых моментов вдоль цепочки для одной пары кинк-антикинк

Вызванное наличием антисимметричного обмена понижение симметрии приводит к тому, что реализуются только те бризерные моды, в которых распределение спиновой плотности антисимметрично относительно центра системы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект No. 20-02-00213), Акта Правительства Российской Федерации (контракты No. 02.A03.21.0011 и No. 02.A03.21.0006).

Литература

1. R.F. Wallis, D.L. Mills, A.D. Boardman, Phys. Rev. B, 52, R3828 (1995).
2. S. Rakhmanova, D.L. Mills, Phys. Rev. B, 54, 9225 (1996).
3. R. Lai, S.A. Kiselev, A.J. Sievers, Phys. Rev. B, 54, R12665 (1996).

© Вл.Е. Синицын, А.С. Овчинников, И.Г. Бострем, Е.Г. Екомасов, 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКРМИОНОВ В ПЛЕНКАХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ С ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКОЙ

Нугуманов А.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы – стабильные наноразмерные спиновые вихри – потенциально могут найти широкое применение в качестве носителей информации в устройствах спинтроники [1]. Обычно они образуются под воздействием внешнего магнитного поля в нецентросимметричных нанопленках или в сверхрешеточных мультиферроиках [2].

В нашей работе пленочные мультиферроики представлены в виде гетероструктуры с чередующимися ферромагнитными и ферроэлектрическими слоями на треугольной решетке, которые мы моделируем с помощью методов «горячей ванны». Энергия магнитоэлектрического взаимодействия магнитных спинов \vec{S} и электрических диполей \vec{P} между слоями разной природы зададим в виде $H^{mf} = -\sum_{i,j} J^{mf} \vec{P}_i \cdot [\vec{S}_i \times \vec{S}_j]$, где сумма берется по i -м узлам пограничных слоев и ближайшим j -м соседним узлам в магнитном слое.

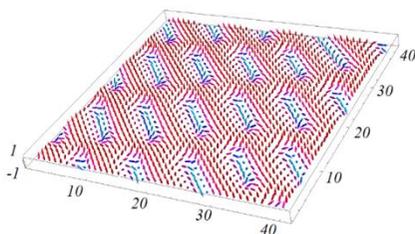


Рис. 1. Трехмерный вид конфигурации основного состояния интерфейсного магнитного слоя для $H = 0.5$, $J^m = J^f = 1$, $J^{mf} = -1.75$

При определённых значениях параметра магнитоэлектрического взаимодействия J^{mf} и внешнего магнитного поля были получены периодическая скирмионная структура, причем было обнаружено, что небольшое магнитное поле оказывает стабилизирующее влияние на образуемую структуру, тогда как при сильном поле неколлинеарная структура коллапсирует в ферромагнитную фазу, что может быть преодолено только при большом значении магнитоэлектрического взаимодействия (рис. 1).

Литература

1. Rosh A (2017), “Spintronics: Electric control of skyrmions,” Nat. Nanotechnol., vol. 12, pp. 103-104.
2. El Hog S, Bailly-Reyre A, Diep H (2018), “Stability and phase transition of skyrmion crystals generated by Dzyaloshinskii-Moriya interaction,” Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 455, pp. 32-38.

© Нугуманов А.Г., 2020 г.

МГД-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛАПСА ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТНЫХ ПРОТОЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ

Каргальцева Н.С.^{1,2}, Дудоров А.Е.^{1,2}, Хайбрахманов С.А.^{1,2}

¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Моделируется изотермический коллапс магнитных вращающихся протозвездных облаков. Расчеты выполняются с помощью МГД-кода Enlil, в основе которого лежит явная квази-монотонная TVD-схема повышенного порядка точности [1].

Расчеты показывают, что в процессе изотермического коллапса формируется иерархическая структура облака. Под действием электромагнитной и центробежной сил облако принимает форму сплюснутой оболочки. Внутри оболочки формируется первичный оптически и геометрически тонкий магнито-статический диск. Внутри первичного диска в дальнейшем образуется протозвезда. Угловой момент накапливается на границе первичного диска и затем отводится наружу из облака посредством магнитного торможения.

В данной работе определяются характеристики облака и первичного диска (размеры R_{cl} и R_{pd} , массы M_{cl} и M_{pd} , полный угловой момент облака J_{cl}), и изменение данных характеристик с течением времени. Пример результатов представлен в таблице 1. В первой строке показан расчет без магнитного поля, во второй строке – с магнитным полем (B_0 – начальная магнитная индукция). Оба расчета с одинаковой начальной угловой скоростью Ω_0 . Сравнение этих расчетов показывает, что магнитное торможение уменьшает полный угловой момент облака на 20% к моменту образования непрозрачной области в центре облака.

Таблица 1. Характеристики облака и первичного диска к моменту образования непрозрачного ядра

№	Ω_0, c^{-1}	$B_0, \text{мкГс}$	J_{cl}/J_0	R_{cl}/R_0	R_{pd}/R_0	M_{cl}/M_0	M_{pd}/M_0
1	$4 \cdot 10^{-14}$	0	0.94	0.60	0.02	0.94	0.04
2	$4 \cdot 10^{-14}$	0.5	0.81	0.79	0.25	0.95	0.40

Работа К.Н.С. и А.Е.Д. выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-72-10012), работа С.А.Х. – при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-02-01067).

Литература

1. Дудоров А.Е., Жилкин А.Г., Кузнецов О.А., Двумерный численный код для осесимметричных самогравитирующих МГД-течений, Матем. Моделирование, 1999, 109, 127.

© Каргальцева Н.С., Дудоров А.Е., Хайбрахманов С.А., 2020 г.

**ОБЛАСТИ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ С СИЛЬНЫМ
МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**Вахитов Р.Ф.¹, Дудоров А.Е.^{1,2}, Хайбрахманов С.А.^{1,2}¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

В данной работе исследуется интенсивность остаточного магнитного поля в аккреционных дисках молодых звёзд и влияние магнитного поля на скорость вращения газа в диске.

В расчётах используется кинематическая МГД-модель аккреционных дисков молодых звёзд [1], разработанная Дудоровым и Хайбрахмановым. Эта модель разработана на основе стандартной модели Шакуры и Сюняева [2]. В модели Дудорова и Хайбрахманова, помимо уравнений газодинамики, решаются уравнения ионизации и индукции. Магнитное поле определяется с учётом омической и амбиполярной диффузии, плавучести и эффекта Холла. Степень ионизации рассчитывается с учётом ударной и тепловой ионизации, лучистых рекомбинаций, диссоциативных рекомбинаций и рекомбинаций на пыли.

В данной работе определяется индукция магнитного поля в зависимости от радиуса пылевых гранул, типов рекомбинаций, турбулентного параметра и темпа аккреции. Показано, что динамически сильное магнитное поле $\beta=1$ (где β – это отношение газового давления к магнитному давлению) присутствует на внешней части диска в отсутствие пылинок и при радиусе пылинок больше 1 мкм, а также при турбулентном параметре $\alpha=0.1$.

Выведена формула угловой скорости из r -компоненты уравнения движения с учётом электромагнитной силы. Показано, что в случае, когда все три компоненты магнитного поля сравнимы по интенсивности, при динамически сильном магнитном поле $\beta=1$, магнитные натяжения уменьшают угловую скорость по сравнению с кеплеровской на 5 %.

Работа В.Р.Ф. выполнена при финансовой поддержке гранта фонда перспективных научных исследований (проект 2020/5), работа С.А.Х. – при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-02-01067).

Литература

2. Dudorov A. E., Khaibrakhmanov S. A. Fossil magnetic field of accretion disks of young stars //Astrophysics and Space Science. – 2014. – Т. 352. – №. 1. – С. 103-121.
3. Shakura N. I., Sunyaev R. A. Black holes in binary systems. Observational appearance //Astronomy and Astrophysics. – 1973. – Т. 24. – С. 337-355.

© Вахитов Р.Ф., Дудоров А.Е., Хайбрахманов С.А., 2020 г.

МАГНИТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В (111)-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТ ГРАНАТОВ С НЕОДНОРОДНЫМ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Ишманова Р.Ф., Вахитов Р.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Известно, что пленки ферритов-гранатов имеют большие перспективы быть использованными в различных устройствах микро – и нанoeлектроники из – за обнаружения в них ряда необычных явлений, в том числе и наличия в них магнитоэлектрических свойств, проявляющих при комнатных температурах [1]. В частности, сравнительно недавно в них был обнаружен неоднородный магнитоэлектрический (НМЭ) эффект, который заключался в контролируемом внешним электрическим полем поведении доменных границ (их перемещением, трансформацией и т. д.) [2]. В тоже время необычным в данном явлении оказалась степень его зависимости от ориентации пленки относительно кристаллографических осей: если в (210) – ориентированной пленке ферритов – гранатов НМЭ эффект проявлялся наиболее сильно, то в (111) – пленке эффект отсутствовал.

С целью выявления такой особенности НМЭ эффекта в данной работе были изучены структура и свойства доменных границ (ДГ) различной топологии в (111) – ориентированной пленке ферритов – гранатов при наличии в них НМЭ взаимодействия. Была найдено, что в отсутствии последнего в этих материалах возможно существование 180° ДГ блоховского и квазиблоховского типов, а также в 0° ДГ блоховского типа, которая устойчива лишь в узкой области изменения параметров анизотропии (вблизи линии спин – переориентационного фазового перехода) [2]. Были выявлены особенности структуры каждого из рассмотренных типов магнитных неоднородностей, как в отсутствии НМЭ взаимодействия, так и при его наличии. В частности было показано, что «включение» электрического поля, существенно усиливает их структурные различия.

Литература

1. А.П.Пятаков, А.С.Сергеев, Е.П. Николаева, А.В.Николаев, Т.Б. Косых К.А. Звездин УФН **185**, 1077 (2015)
2. A.S. Logginov, G.A. Meshkov, A.V.Nikolaeva, E.P.Nikolaeva, A.P. Ryatakov, A.K.Zvezdin. Appl.Phys.Lett. **93**, 182510(2008)
3. Плавский В.В., Шамсутдинов М.А., Филиппов Б.Н. Структура и ориентация доменных границ в (111)-пластинах кубических ферромагнетиков // ФММ. - 1999. Т.88. - № 3, с.22-29.

© Ишманова Р.Ф., Вахитов Р.М., 2020 г.

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 621.37/39

СИСТЕМА УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА СТАНДАРТА DVB-T2

Янсаитов А.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Система цифрового наземного телевидения стандарта DVB-T2 на территории Российской Федерации обеспечивает более 98% телезрителей 20 телеканалами высокой четкости. В республике Башкортостан сеть цифрового эфирного телевидения насчитывает 215 радиотелевизионных станций (РТС), из них только на 6 крупных объектах дежурит персонал. На остальных РТС остро стоит вопрос о своевременном обнаружении ошибок в цифровом тракте между приемной спутниковой антенной до передающей антенны, так как техническая остановка оборудования приводит к перерыву вещания в эфире и приносит убытки предприятию. В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения методов эффективного и оперативного контроля качества цифровых ТВ-программ, которые позволят определять и даже предупреждать сбои в сети DVB-T2. Очевидно, что для повышения объективности разрабатываемых методов требуется оценивать, как можно больше параметров в различных узлах тракта DVB-T2, которые способны влиять на результирующее качество изображения и звука.

В данной работе предлагается выбор ряда основных параметров телевизионного сигнала, измерение и анализ которых позволяет однозначно судить о качестве телевизионного изображения. Используя эти параметры, спроектирован алгоритм программы для дистанционного контроля его качества. На базе этой программы предлагается создать бюджетный промышленный компьютер, алгоритм программы которого будет анализировать параметры сигнала приемо-передающего оборудования телевизионного канала. Удаленный доступ на промышленный компьютер возможен благодаря блоку системы дистанционного контроля (СДК-5.3). Если значение того или иного параметра сигнала выходит за установленный диапазон, то на экране диспетчера появляется уведомление об этом и будет приниматься решение возможно ли устранить проблему удаленно своими силами или же выслать аварийно-профилактическую группу на объект.

Реализация данного решения позволит спрогнозировать возможную техническую остановку оборудования и оперативно устранить неполадки в системе, определить цикличность повторяющихся ошибок в определенное время, выявить факторы, влияющие на работоспособность оборудования, а также записывать и хранить логи, которые помогут в решении спорных вопросов со сторонними операторами связи, надзорными органами, а также с потребителями.

© Янсаитов А.Р., 2020 г.

**ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И РАЗРАБОТКА
СОБСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ
PIC16, STM32, ARDUINO**

Попов С.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время любые устройства, в том числе и устройства связи, радиоавтоматики или аудиовизуальной аппаратуры требуют в своем составе присутствия устройства управления (микроконтроллер). Микроконтроллеры требуются практически во всех предметах и устройствах, которые окружают нас. [1]. Вследствие этого радиолюбителям, студентам, школьникам, радиоинженерам и другим заинтересованным лицам необходимо освоить теоретические и практические навыки в области микропроцессорной техники и программирования микроконтроллеров. [2].

В настоящее время существуют различные курсы по робототехнике для обучения детей и взрослых основанные на конструкторах и применении микропроцессорных систем, где повышается интерес обучающихся к робототехнике, электронике и программированию. По нашему мнению, имеет смысл создавать кружки для обучения старшеклассников программированию микроконтроллеров, но здесь нужен другой подход – постепенное обучение, начиная с азов, т.е. с обучения машинному языку, затем языкам высокого уровня для 8-разрядных микроконтроллеров (наиболее известных PIC или AVR) затем перейти к 32-разрядным ARM. Для этого сейчас существуют лабораторные стенды на базе различных микроконтроллеров. Например от компании Atmel, Microchip, STMicroelectronics и др. их стоимость начинается от 8000 руб./шт. и доходит до 30000 руб./шт. [3-6]. Для группы состоящей, например из 20 человек необходимо несколько стендов, что вызывает значительные денежные затраты и является проблемой.

Для решения существующей проблемы наша команда разработала целый комплекс учебных курсов [7-9], использующих три разработанных нами стенда [10], отладочные платы STM32F0Discovery и STM32F4Discovery, платформу Ардуино.

Сейчас для продвижения учебных курсов наша команда разрабатывает сайт [11]. Там размещены разработки студентов, прошедших наши курсы во время обучения на кафедре по направлению подготовки “Электроника и нанoeлектроника”. На базе сайта возможно организовать дистанционное обучение по следующим имеющимся курсам:

- Программирование на ассемблере для микроконтроллеров PIC16 от Microchip [7].

- Программирование на языке Си с использованием компилятора MicroC PRO для микроконтроллеров PIC16 от Microchip [8].
- Учебный курс по программированию микроконтроллеров STM32 [9].
- Схемотехническое проектирование с использованием САПР ORCAD16.6 [12].

Литература

1. Микроконтроллеры <https://pandia.ru/text/78/411/64387.php>
2. Курсы дистанционного обучения программированию микроконтроллеров <http://www.electroniclab.ru/courses.htm>
3. Лабораторный стенд ЛС2-КЛ на базе 8-разрядного микроконтроллера AVR ATmega / ATMEL. <http://www.computerlink.ru/node/115>
4. Лабораторный стенд ЛС5-КЛ. <http://www.computerlink.ru/node/117>
5. MIKROE-1385, EasyAVR v7 Development System. <https://www.chipdip.ru/product/me-easyavr-v7>
6. Arduino UNO R3 ATMEGA 328P-16AU CH340G Micro Usb. <https://www.ebay.com/itm/Version-Arduino-UNO-R3-ATMEGA328P-16AU-CH340G-Micro-USB-Board>
7. Основы программирования и отладки устройств на микроконтроллерах Microchip https://elib.bashedu.ru/dl/local/Abdrahmanov_sost_Osnovy_programmirovaniya_p_r_2019.pdf.
8. Программирование и отладка устройств на микроконтроллерах PIC16 [Электронный ресурс] : лабораторный практикум по дисциплине «Микропроцессорная техника» / Башкирский государственный университет; сост. В.Х. Абдрахманов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2019 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:https://elib.bashedu.ru/dl/local/Abdrahmanov_sost_Programmirovanie_iotladka_sost_2019.pdf>.
9. Учебный курс по программированию микроконтроллеров STM32. [Электронный ресурс] : лабораторный практикум по дисциплине "Информационные Технологии". / Башкирский государственный университет; сост. В.Х. Абдрахманов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2019 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:https://elib.bashedu.ru/dl/local/Abdrahmanov_sost_Uceb_kurs_po_programmirovaniyu_mikrokontrollov_2019.pdf>.
10. Abdrahmanov, V. K., Bikbaev, N. N., Salikhov, R. B. (2016, October). Development of low-cost electronic training boards based on universal microcontroller. In Actual Problems of Electronics Instrument Engineering

(APEIE), 2016 13th International Scientific-Technical Conference on (Vol. 1, pp. 319-325). IEEE.

11. Лаборатория электроники БашГУ <URL: <https://vadyum388.wixsite.com/piclab>>.
12. Схемотехническое проектирование с использованием САПР ORCAD16.6 [Электронный ресурс] : лабораторный практикум по дисциплине «Основы проектирования электронной компонентной базы» / Башкирский государственный университет; сост. В.Х. Абдрахманов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2019 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ .— <URL:https://elib.bashedu.ru/dl/local/Abdrahmanov_sost_Shemotehnicheskoe_proektirovani_e_pr_2019.pdf>.

© Попов С.А., 2020 г.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Зиганшина А.Р., Вальшин А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Эффективность, стабильность энергетических и пространственных характеристик твёрдотельных лазеров во многом определяется системой накачки.

На сегодня существуют два направления развития источников накачки импульсных ламп для твёрдотельных лазеров, это традиционный разряд импульсного или постоянного напряжения однополярным током и диодная накачка.

Полупроводниковая накачка диодными лазерами на сегодня является наиболее эффективной и распространенной, так как обладает максимальным КПД, минимальными массогабаритными параметрами, а так же сравнительно узкой шириной спектра излучения, совпадающей с полосой поглощения твердотельного лазера. Однако требуется стабилизация температурного режима диодных лазеров накачки для совпадений полос излучения с полосой поглощения активного элемента.

Традиционный вид накачки, который мы называем условно С-накачкой, обладает минимальным КПД, хотя является самым простым. Минимальный КПД объясняется тем, что полоса излучения сильно отличается от полос поглощения активного элемента твердотельного лазера. На графике спектра излучения С-накачки (*рис .1*) наряду с линейчатым

спектром мы наблюдаем также и появление сплошного спектра излучения в видимом диапазоне.

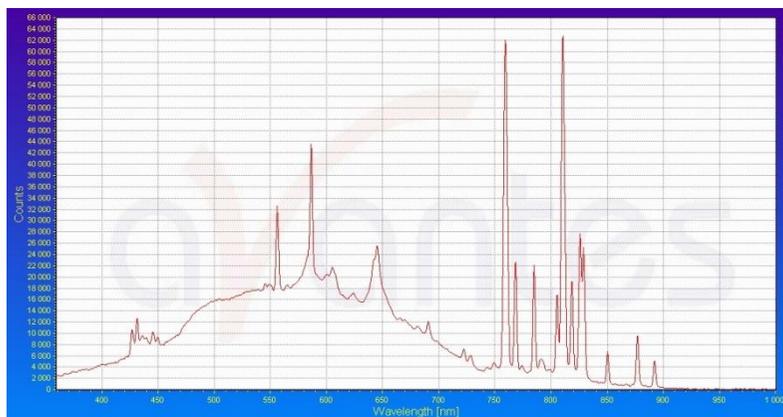


Рис. 1. Спектр излучения С-накачки

Целью данной работы является высокочастотная накачка твердотельного лазера с ламповой накачкой в импульсно-периодическом режиме с целью создания оптимальных спектров излучения плазмы в лампах накачки со спектром поглощения активного элемента твердотельного лазера [1].

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы поджигаем лампу, на втором этапе, подавая высокочастотные колебания, мы вкачиваем энергию в лампу.

При проведении эксперимента на графике (*рис. 2*) мы наблюдаем только линейчатый спектр излучения высокочастотной накачки твердотельного лазера в импульсно-периодическом режиме, что говорит о возможности повышения КПД ВЧ накачки, так как отсутствует сплошной спектр, который является мешающим фактором.

Таким образом, нам удалось осуществить импульсно-периодический режим высокочастотной накачки в указанных лампах.

В результате экспериментов нами были исследованы различные лампы высокого давления, низкого давления, а также с разными газовыми наполнениями.

Проведены измерения спектральных параметров излучения на разных частотах при разных давлениях и с разными газами.

В связи с этим нами была рассмотрена накачка высокочастотными импульсами тока твердотельного лазера на гранате.

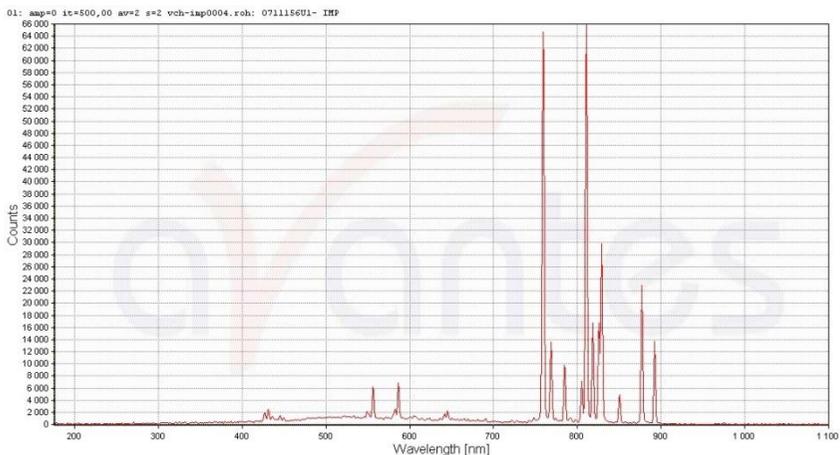


Рис. 2. Спектр излучения высокочастотной накачки в импульсно-периодическом режиме

Приведены характерные осциллограммы тока и напряжения на лампе. Проанализированы сравнительные характеристики данной лампы при ВЧ накачке и питании постоянным током.

Показана перспективность использования высокочастотного источника питания для накачки твердотельных лазеров.

Литература

1. А.М.Вальшин, Р.Ф. Тавлыкаев, Г.М. Михеев, С.М. Першин Управление параметрами газоразрядной плазмы низкого давления при высокочастотной накачке, инженерная физика №3, 2015, стр.42-49.

© Зиганшина А.Р., Вальшин А.М., 2020 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Сагитов Ф.И., Вальшин А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

При напряженности электрического поля, превосходящей предел электрической прочности диэлектрика, наступает пробой. Пробой представляет собой процесс разрушения диэлектрика, в результате чего диэлектрик теряет электроизоляционные свойства в месте пробоя. Величину напряжения, при котором происходит пробой диэлектрика, называют пробивным напряжением, а соответствующее значение напряженности электрического поля называется электрической прочностью диэлектрика.

Пробой твердых диэлектриков представляет собой или чисто электрический процесс (электрическая форма пробоя), или тепловой процесс (тепловая форма пробоя). В основе электрического пробоя лежат явления, в результате которых в твердых диэлектриках имеет место лавинное возрастание электронного тока, подобно тому, как это наблюдается в процессе ударной ионизации в газообразных диэлектриках.

Тепловой пробой имеет место при повышенной проводимости твердых диэлектриков и больших диэлектрических потерях, а также при подогреве диэлектрика посторонними источниками тепла или при плохом теплоотводе. Процесс теплового пробоя твердого диэлектрика состоит в следующем. Вследствие неоднородности состава отдельные части объема диэлектрика обладают повышенной проводимостью. Они представляют собой тонкие каналы, проходящие через всю толщину диэлектрика. Вследствие повышенной плотности тока в одном из таких каналов будут выделяться значительные количества тепла. Это повлечет за собой еще большее нарастание тока вследствие резкого уменьшения сопротивления этого участка в диэлектрике. Процесс нарастания тепла будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет тепловое разрушение материала (расплавление, науглероживание) по всей его толщине - по ослабленному месту.

При пробое твердых диэлектриков часто наблюдаются случаи, когда до определенной температуры имеет место электрический пробой, а затем в связи с дополнительным нагревом диэлектрика наступает процесс теплового пробоя диэлектрика. Аналогичный переход электрической формы пробоя в тепловую происходит в зависимости от времени выдержки твердого диэлектрика под напряжением.

В данной работе осуществляется высокочастотный импульсно-периодический режим воздействия на стеклянную трубку с целью

исследования электрических характеристик стекла на предмет пробоя и измерения электропроводности.

В экспериментах использовались ВЧ генераторы собственной разработки, которые перекрывали диапазон частот от 1 МГц до 6 МГц, могли работать в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим осуществляется в 2 этапа: на 1 этапе мы пробиваем стекло, на втором этапе проводится измерение электропроводности стекла.

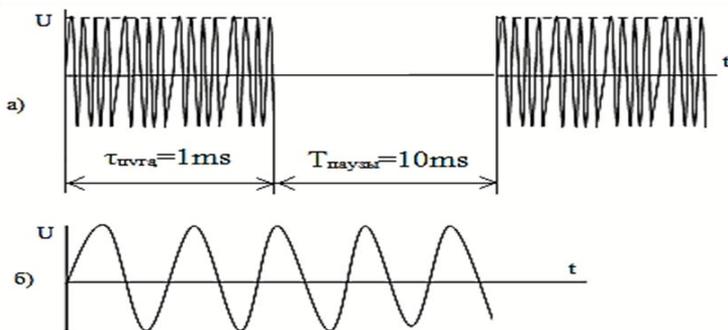


Рис. 1. Форма выходного сигнала ВЧ генератора

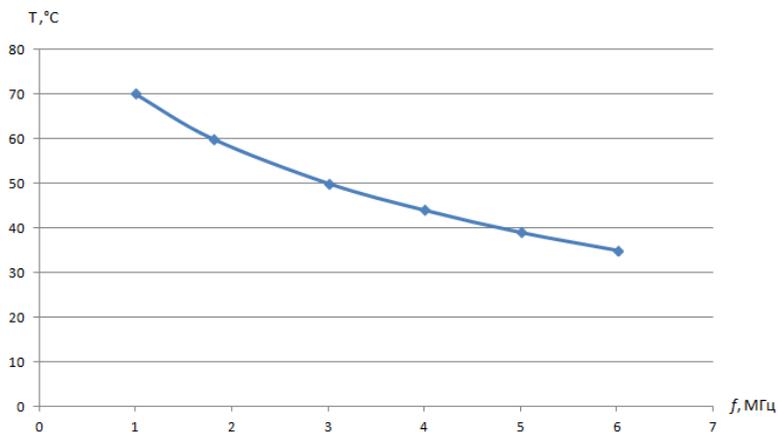


Рис 2. График зависимости температуры стекла от частоты

Также нами была проведена ВЧ емкостная безэлектродная накачка стандартных люминесцентных ламп на разных частотах. В качестве электродов используется алюминиевая фольга, намотанная на поверхность стекла. ВЧ накачка подаётся на эти электроды. После зажигания лампы ВЧ

ток проходит через электроды(фольга), далее через стекло и через газовую смесь внутри трубки замыкается через стекло со вторым электродом. Нами была измерена температура на поверхности стекла рядом с внешним электродом (фольгой). На рис.2 показана зависимость температуры стекла от частоты накачки. Видно, что с увеличением частоты накачки температура стекла уменьшается от 70 до 35 градусов.

Также проведены измерения параметров пробоя и электропроводности различных стекол на разных частотах при высокочастотном импульсно-периодическом воздействии.

© Сагитов Ф.И., Вальшин А.М., 2020 г.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКАЯ НАКАЧКА ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ГАЗЕ НА NE

Сибатуллин А.И., Вальшин А.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Актуальной проблемой современной светотехники, возникающей при использовании источников света высокой интенсивности, являются низкий ресурс работы мощных ламп, а также создание экологически чистых, безртутных источников света. Эффективным способом решения проблемы становится переход к принципиально новой, безэлектродной технологии генерации газового разряда.

В нашей работе [1] показаны результаты исследований режима безэлектродной высокочастотной индукционной накачки стандартных цилиндрических люминесцентных ламп путем намотки на лампу определенного количества витков. Выявлен эффективный ввод энергии в плазму разряда и повышение КПД светоотдачи. Обсуждается физика обнаруженного явления и область применения энергосберегающей технологии безэлектродной накачки люминесцентных ламп с повышенным ресурсом работы.

В данной работе описаны экспериментальные исследования индукционного высокочастотного разряда в газоразрядной плазме низкого давления на инертном газе Ne. В процессе эксперимента использовали высокочастотный генератор перестраиваемой частоты собственной разработки и три кварцевые трубки, наполненные Ne, диаметром 68 мм и высотой 38 мм, 38 мм и 80 мм при разных давлениях- 0,3 и 1 Торр. Частота перестройки составляла от 1 МГц до 7,7 МГц, стабильность частоты около 0,3%. Выходное сопротивление составляло менее 5 Ом. Ввиду малости выходного сопротивления нет необходимости в использовании

согласующего устройства, поэтому выход непосредственно соединен в последовательный колебательный контур. В качестве индуктивности используется индуктор, который представляет собой соленоид, намотанный на трубку, наполненную инертным газом Ne, а в качестве емкости используются высокочастотные высоковольтные керамические конденсаторы.

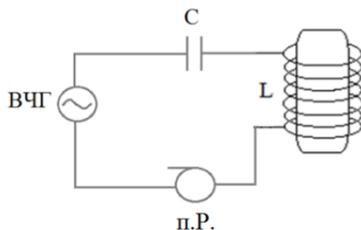


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
ВЧГ - высокочастотный генератор, п.Р. - пояс Роговского

В процессе экспериментов мы наблюдали "зажигание" безэлектродного разряда за счет электрического поля индуктора, а также индукционного разряда, когда возникает яркий кольцевой разряд.

Проведены измерения параметров зажигания при разных частотах с разными трубками и при разных давлениях. Также измерены спектры излучения и мощность излучения при разных мощностях накачки.

Таким образом, нам удалось осуществить высокочастотную индуктивную накачку в газоразрядном источнике света на инертном газе Ne. Проводятся оптимизация параметров накачки и характеристик излучения с точки зрения получения максимального КПД.

Литература

1. А.М.Вальшин, С. М. Першин, Г. М. Михеев. Эффективный ввод энергии в плазму разряда люминесцентной лампы с повышением светоотдачи при резонансной индуктивной накачке. Инженерная физика. 2017. № 2. С. 37-41.

© Сibaгатуллина А.И., Вальшин А.М., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ Y-ОБРАЗНОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

Лопатюк А.В., Мигранова Д.Р., Алексеев К.С.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Y-образные ответвители предназначены для деления оптической мощности между двумя каналами или объединения оптической мощности из двух каналов в один. Ответвители бывают волоконно-оптическими, микрооптическими и планарными.

В формате основной программы САПРа VeamPROP мы моделировали внешний вид такого ответвителя (рис.1). Данная модель может быть использована в качестве лабораторной работы по курсу оптические и цифровые телекоммуникационные системы.[1]

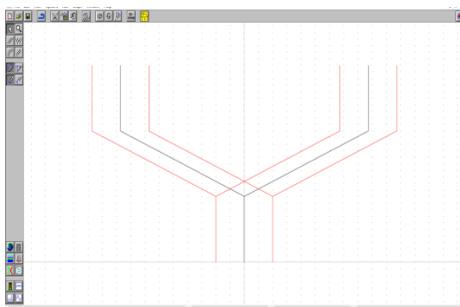


Рис. 1. Модель Y-образного ответвителя

На рисунке 2 представлено распространение излучения в ответвителе при заданных параметрах ($\lambda=1,3$ мкм): а) основная мода ; б) спектр мод для источника с гауссовым типом излучения

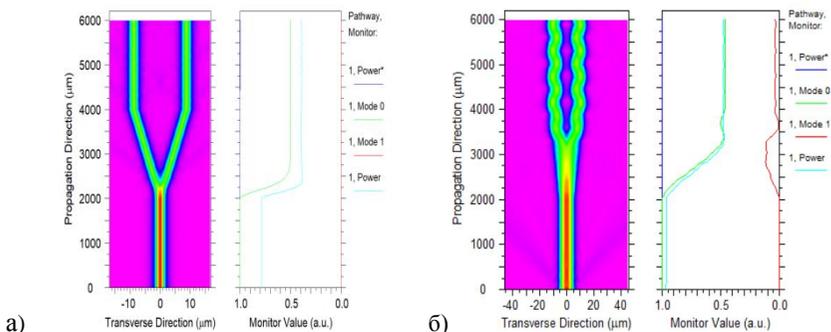


Рис. 2. Распространение излучения в ответвителе

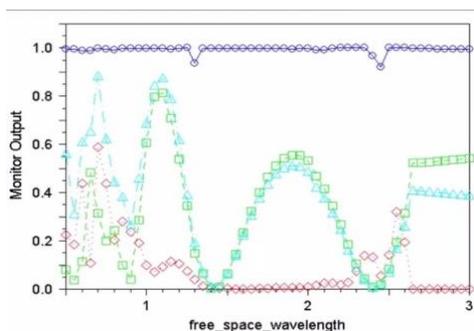


Рис. 3. График зависимости мощности от длины волны

На рис. 3. видно, что наибольшая часть излучения проходит через первый канал. При длине волны 0,8 мкм у 2,3,4 каналов мощность равна 0,1 Вт. При длине волны 1,4 мкм наступает длина волны отсечки и нулевая мода совпадает с мощностью в ответвителе. Следующий максимум наблюдается при длине волны 1,9 мкм .На данный момент источник для данной длины волны еще не разработано.

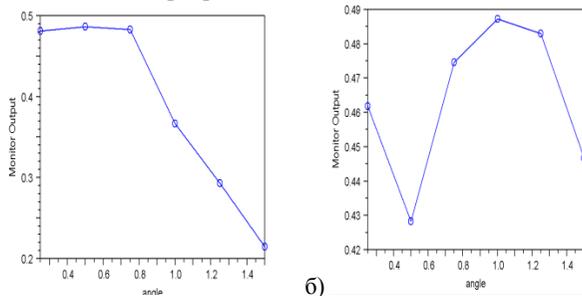


Рис. 4. График зависимости мощности от угла между волноводами: а) для диаметра 4 мкм; б) для диаметра 10 мкм

Графики на рис.4 показывают, что для больших значений диаметров необходимо увеличивать угол между волноводами.

Мы смоделировали разветвитель у которого максимальная мощность в каналах 1300 нм. Моделирование дает возможность для исследования и проектирования различных видов ответвителей ,что позволяет оптимизировать их параметры , уменьшить стоимость изготовления.

Литература

1. Лопатюк А.В. , Мигранова Д. Р., Алексеев К.С., Исследование волоконно-оптического ответвителя и потерь в волоконно-оптическом тракте// Тезисы ВНКФС-26,2020-203стр.

© Лопатюк А.В., Мигранова Д.Р., Алексеев К.С., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТСЕЧКИ МОД В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Вагапов Э.И., Лопатюк А.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В работе исследуются одномодовые режимы распространения света оптических волокон в зависимости от диаметра сердцевины.

Минимальная длина волны, при которой волокно поддерживает только одну распространяемую моду, называется длиной волны отсечки. Этот параметр характерен для одномодового волокна. Если рабочая длина волны больше длины волны отсечки, то имеет место одномодовый режим распространения света.

Расчёт длины волны отсечки волновода проводится для каждого диаметра (от 5 мкм до 50 мкм, с шагом 5 мкм).

Параметры волокна: $\lambda=0,63$ мкм; $n_o=1,453$; $n_c=1,461$; $\Delta=0,005$.

Расчёт теоретических значений длин волн отсечки производится по формуле[1]:

$$\lambda_{отс} = \frac{\pi d_c n_c \sqrt{2\Delta}}{2,405}$$

Таблица 1. Значения $\lambda_{отс}$ для соответствующих d_c .

d_c , мкм	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\lambda_{отс}$, мкм	0,95	1,91	2,86	3,81	4,76	5,72	6,67	7,63	8,58	9,53

Ниже представлен график зависимости $\lambda_{отс}(d_c)$ для теоретически рассчитанных значений $\lambda_{отс}$:

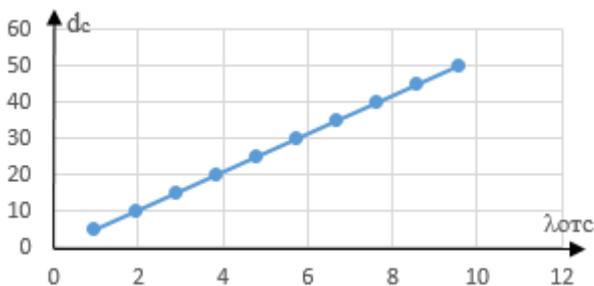


Рис. 1. График зависимости $\lambda_{отс}(d_c)$

По графику зависимости $\lambda_{отс}(d_c)$ и таблице 1 видно, что рабочими диаметрами сердцевины могут быть значения до 15 мкм для получения

одномодового режима. Учитывая это, дальнейшее исследование будет производиться именно в этом диапазоне.

Ввод значений $\lambda_{отс}$ (для диаметров $d_c=5$ мкм и $d_c=10$ мкм) в программу даёт следующие результаты:

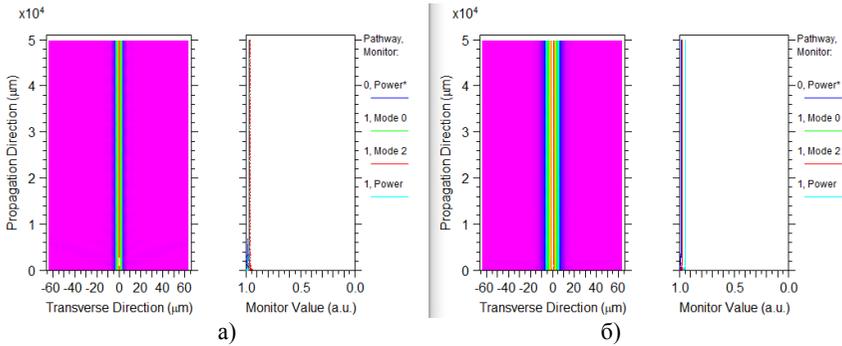


Рис. 2. Распределение излучения в волокне: а) Для диаметра сердцевины 5 мкм; б) Для диаметра сердцевины 10 мкм

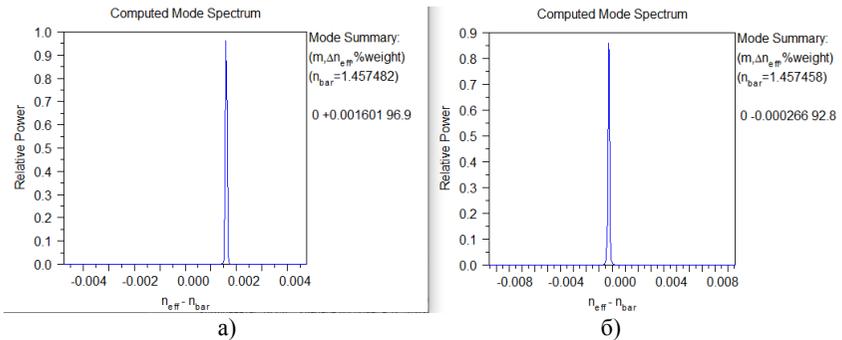


Рис. 3. Спектр мод: а) Для диаметра сердцевины 5 мкм; б) Для диаметра сердцевины 10 мкм

На графиках спектра представлено два одномодовых режима распространения света (для длин волн отсечки 0,95 мкм и 1,91 мкм). Данные волокна поддерживают лишь одну распространяемую моду.

Литература

1. Лопатюк А. В. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС: Учебное пособие/ А.В. Лопатюк. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2018.

© Ваганов Э.И., Лопатюк А.В., 2020 г.

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕ

Гатиятуллин Д.Т.

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

Одной из главных особенностей пылевой плазмы является существование сил притяжения между одноименно заряженными частицами, приводящие к формированию упорядоченных структур – плазменно-пылевых кристаллов. Обычно пылинки в плазме вследствие большей подвижности электронов заряжаются отрицательно, причем, величина заряда может достигать 10^3 - 10^4 зарядов электронов в зависимости от состояния плазмы. К настоящему времени предложено относительно много различных по своему проявлению механизмов сил притяжения [1, 2 и др.].

Наиболее цитируемым является механизм гравитации Лесажа-Игнатова[3], возникающий при взаимодействии двух изолированных пылинок в отсутствии других макрочастиц и заключающийся преобладающим потоком ионов с внешней стороны между пылинками.

Вданной работеприводятся результаты расчетов для предложенного [4]механизма притяжения, в основе которого лежат физические процессы в слое пространственного заряда вокруг пылевой частицы.

Известно [5], что вокруг находящегося в плазме изолированного тела создается экранирующий его от остального объема плазмы слой положительного пространственного заряда толщиной λ_f , большей дебаевской длины экранирования. Этот пограничный слой возникает вследствие того, что электроны, обладающие большими по сравнению с ионами скоростями, попадая на поверхность помещенных в плазму тел (в том числе стенок трубки), заряжают их отрицательно относительно плазмы. При этом отрицательный заряд помещенного в плазму тела компенсируется зарядом заполняющих слой ионов

Рассмотрим две одинаковые макрочастицы радиуса r_0 , находящиеся на расстоянии r друг от друга и окруженные слоем положительного пространственного заряда радиуса λ_f . В плазме всегда имеют место диффузия и (или) дрейф вследствие неизбежного градиента концентрации зарядов и наличия электрического поля. Однако если в невозмущенной плазме объемный ток равен нулю, то в слое течет “чистый” ионный ток. Тогда области локализации этих слов можно рассматривать как элементы объемных токов плотностью j . Таким образом, мы имеем аналог взаимодействия двух параллельных токов.

Расчеты проведем при следующих упрощающих предположениях: электрическое поле однородно; концентрации ионов в невозмущенной плазме и в слое не зависят от координаты и равны друг другу; $\mathbf{j} \perp \mathbf{r}$.

Элемент объема dV_2 на расстоянии r_2 от центра второй макрочастицы создает на расстоянии r_1 от центра первой пылинки магнитное поле индукции

$$d\mathbf{B}(\mathbf{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[\mathbf{j}(\mathbf{r}_2) \times (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)]}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3} dV_2 \quad (1)$$

интегрируя которую можно найти в этой точке индукцию магнитного поля, создаваемого током слоя пространственного заряда:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \text{rot}_{\mathbf{r}_1} \int_V \frac{\mathbf{j}(\mathbf{r}_2)}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|} dV_2 \quad (2)$$

Разлагая знаменатель в ряд по сферическим функциям и интегрируя, находим силу взаимодействия между двумя пылинками:

$$F_0 = 4\pi\mu_0 j^2 \lambda_f^6 / 9r^2 \quad (3)$$

Пусть одну макрочастицу окружает совокупность пылинок, которые располагаются на поверхностях сфер с общим центром и радиусами $2n\lambda_f$, где $n=1, 2, 3$ и т.д. Тогда число пылинок, находящихся на поверхности каждой из сфер $n_i = \frac{4\pi r^2}{\pi r_0^2} \sim r^2$. Отсюда следует, что по мере удаления от этой макрочастицы уменьшение силы взаимодействия компенсируется увеличением количества притягивающихся пылевых частиц, и суммарная сила $F_M = \frac{2\pi\mu_0}{9} j^2 \lambda_f^4 n$.

Как видно, эта сила имеет коллективный характер притяжения, т.е. становится значительной в присутствии многих макрочастиц. Качественный анализ показывает, что в предоставленной самой себе системе пылинки будут стремиться к упорядоченности, выстраиваясь в цепочки, которые, в свою очередь, будут притягиваться друг к другу. Эти цепочки будут ориентированы вдоль силовых линий электрического поля и по эквипотенциальным поверхностям. Именно такую форму имеют эти параметры электрического поля в стратифицированном разряде, чему соответствует форма плазменно-пылевой структуры.

Литература

1. Фортов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. // УФН. 2004. Т. 174, № 5. С. 495-544.
2. Цытович В.Н. // УФН. 2007. Т.177, №4. С.427-472.
3. Игнатов А.М. // Физика плазмы. 2005. Т.31, №1. С.52-63.
4. Шайхитдинов Р.З. // ДАН. 2007. Т.417, №5. С. 624-626.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда / М.: Наука, 1987.

© Гатиятуллин Д.Т., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦА НА СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДЛИННЫХ МОЛЕКУЛ ДНК В ПРОЦЕССЕ ИХ ИММОБИЛИЗАЦИИ

Шарипов Т.¹, Копышев А.², Лёбнер С.², Йелкен Й.², Соколовски М.²,
Арья П.², Бахтизин Р.¹, Сантер С.²

¹Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

²Потсдамский университет, Потсдам, Германия

Наблюдение с высоким разрешением детальной структуры молекул ДНК после их осаждения на поверхность твердотельной подложки является весьма интересной, очень важной фундаментальной научной задачей. Одним из активно используемых методов изучения физических параметров нуклеиновых кислот является атомно-силовая микроскопия (АСМ), которая благодаря своему высокому разрешению позволяет изучать различные объекты на молекулярном и субмолекулярном уровнях [1-5]. Исследования проводили на воздухе на приборе MultiMode Nanoscope V (“Veeco”, США). Кроме определения экспериментальным путем концентрации раствора ДНК, мы также изучили влияние условий нанесения ДНК на подложку. Мы варьировали температуру раствора ДНК, время выдержки раствора на подложке после прикапывания, а также время и скорость центрифугирования. Оказалось, что время выдержки раствора на подложке после прикапывания не сильно влияет на результат и оптимально может составлять несколько минут. А наиболее оптимальным является центрифугирование на скорости 1500-2000 об/мин в течение около 2 мин. Выбранными таким образом параметрами приготовления образца для АСМ-исследований, получили наилучшее АСМ-изображение высокого разрешения (рис. 1а).

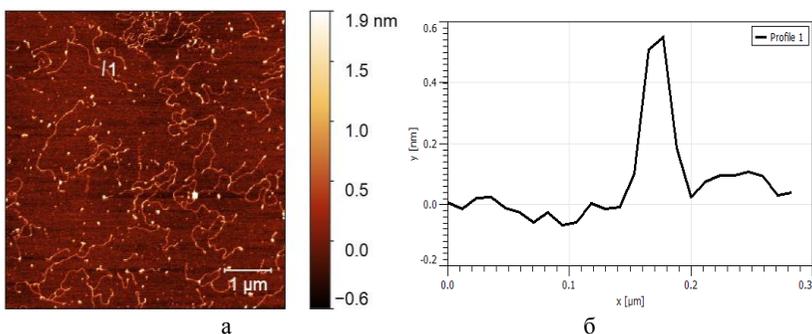


Рис. 1. а) АСМ-изображение молекул ДНК Calf thymus, иммобилизованных на поверхности слюды отдельно друг от друга;
б) профиль сечения вдоль линии, указанной цифрой 1 на рисунке 1а

На нем отлично визуализируются структуры в виде отдельных извивающихся нитей ДНК, имеющих длину в несколько единиц микрон. По профилю сечения (рис. 1б) можно определить диаметр нитей, который оказался примерно равным 0.55 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым на 2019 год, договор №29ГР, и частичной поддержке гранта РФФИ №17-42-020616.

Литература

1. A. B. Kotlyar, N. Borovok, T. Molotsky, H. Cohen, E. Shapir, D. Porath. Long, Monomolecular Guanine-Based Nanowires. // *Adv. Mater.* 2005, 17, 1901-1905.
2. Dmitry A. Ryndyk, Errez Shapir, Danny Porath., Arrigo Calzolari, Rosa Di Felice, and Gianarelio Cuniberti. Scanning Tunneling Spectroscopy of Single DNA Molecules // *ACS Nano*. V. 3. No 7. 2009. P.1651-1656.
3. T I Sharipov, R R Garafutdinov, I T Amangulova and R Z Bakhtizin. The SPM study of oligonucleotides consisting of repeated nucleotide sequences. // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. V. 669. No 1. 2019. 012045.
4. Шарипов Т.И., Гарафутдинов Р.Р., Бахтизин Р.З. Исследование одноцепочечных ДНК с повторяющейся нуклеотидной последовательностью методами сканирующей зондовой микроскопии. // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2020. Том 84. № 5. С. 675-678.
5. Fatima Linares, Emilio Garcia-Fernandez, F. Javier Lopez-Garzon, Maria Domingo-Garcia, Angel Orte, Antonio Rodriguez-Dieguez and Miguel A. Galindo. Multifunctional behavior of molecules comprising stacked cytosine–Ag–cytosine base pairs; towards conducting and photoluminescence silver-DNA nanowires. // *Chem. Sci.*, 2019, 10, 1126–1137.

© Шарипов Т., Копышев А., Лёбнер С., Йелкен Й., Соколовски М., Арья П., Бахтизин Р., Сантер С., 2020 г.

AUGER ANALYSIS OF W-TI ALLOY

Zagidullin A.A.

Bashkir State University, Ufa, Russia

Auger spectroscopy is one of the most common methods of surface chemical analysis and is widely used in many fields of science and technology. A microanalysis of the chemical composition, which allows one to establish the surface composition and explain a number of properties of the studied structure, is successfully used in the method of the Auger electron spectrometer. Currently, this method is also used in the semiconductor industry, for identifying surface contaminants, quantitative and qualitative analysis of the surface of solids.

The object of the study is the tungsten-titanium alloy. The content of titanium is 15 percent of the total weight of the alloy. Silicon substrates with thermally grown layers of silicon oxide are used as raw materials.

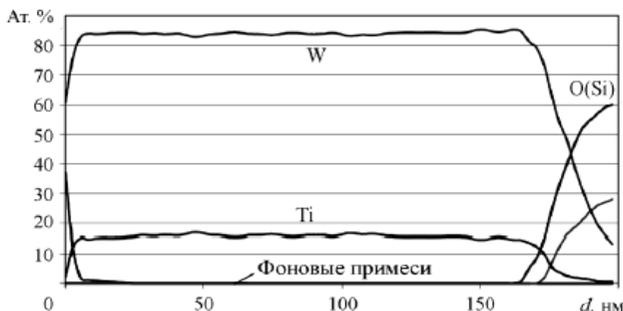


Figure 1. The Auger spectrum of the structure of a tungsten-titanium alloy film deposited on an oxidized silicon substrate

The figure 1 shows the elemental composition of the deposited films. The experimental data confirm the presence of a uniform distribution of titanium in the thickness of films of tungsten with titanium.

As the percentage of titanium in tungsten films increases, the resistivity increases noticeably. This is negative when they are used as interconnects.

Литература

1. Еловиков С.С. Оже-электронная спектроскопия // Соросовский Образовательный Журнал. 2001. №2. с. 82-88.

© Zagidullin A.A., 2020 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

При исследовании фликкер-шума методом компенсации напряжения [1] с помощью лабораторных источников питания (ИП) для оценки неопределённостей измерения требуется знать величину флуктуаций выходных напряжений ИП. В данной работе мультиметр измерял разность напряжений на выходе ИП и на батарейке «крона». Напряжение на выходе ИП устанавливалось равным напряжению на батарейке «крона» (9,6 В).

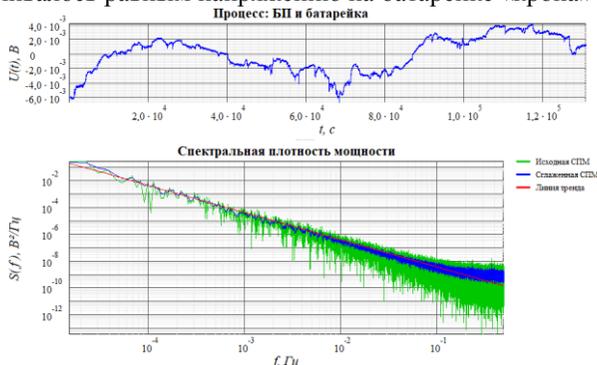


Рис. 1. Зависимость от времени и СПМ флуктуаций напряжения ИП

На рисунке 1 показана полученная реализация флуктуаций и спектральная плотность мощности (СПМ). Для сглаживания СПМ использовался алгоритм, использованный в программе [2]. Среднеквадратичное отклонение напряжения равно 2,4 мВ.

Литература

1. Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З. Экспериментальное исследование низкочастотных флуктуаций тока в вольфрамовых нитях накала при высоких температурах // Проблемы современного физического образования: сборник материалов V Всероссийской научно-методической конференции, 24-26 октября 2019 г., Уфа, БашГУ. С. 64-66.
2. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019667792. Расчёт СПМ (с фильтрацией спектральной плотности мощности) / Захаров Ю.А., Гоц С.С. Заявка № 2019666742 пост. 16.12.2019; рег. 27.12.2019.

© Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З., 2020 г.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

УДК 538.945

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СПИРАЛЬНО-МАГНИТНОГО ЭЛЕМЕНТА СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СПИНОВОГО ВЕНТИЛЯ

Джепаров Д.И.¹, Гусев Н.², Пугач Н.Г.^{1,3}

¹Национальный Исследовательский Университет
Высшая Школа Экономики, г. Москва, Россия

²Российский Квантовый Центр, Сколково, Моск. обл., Россия

³НИИЯФ Московский Государственный Университет
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Спиновая электроника, или спинтроника, рассматривает и изучает протекание спин-поляризованного тока. Управление током происходит путем воздействия на спины электронов с помощью магнитных свойств материалов. Сверхпроводящая спинтроника исследует структуры, в которых возникают явления и эффекты, требующие для своего появления контакта сверхпроводящих и магнитных материалов. Для исследований фундаментальной физики, а также прикладных применений, наиболее интересными являются исследования сложных магнитных структур.

Актуальность работы заключается в формировании и расширении знаний фундаментальной теории сверхпроводящей спинтроники, а также применении этих знаний для реализации инженерных прикладных разработок.

В работе рассматривается структура из ферромагнитного слоя F и двух прилегающих к ней слоев сверхпроводника S . Ферромагнитный слой должен обладать спиральной намагниченностью. Магнитная спираль описывается вектором Q , который может быть направлен в нескольких направлениях под различными углами α под влиянием внешнего магнитного поля. Магнитная структура упорядочивается в спираль геликоидальной формы. За такое упорядочение и одностороннюю закругленность (спиральную хиральность) спирали отвечает взаимодействие Дзялошинского-Мория, обусловленное нецентросимметричностью кристаллической системы. Будет обсуждаться процесс и моделирование перемагничивания структуры между двумя состояниями, которое осуществляется с помощью коротких импульсов магнитного поля.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, Мегагрант № 075-15-2019-1934.

© Джепаров Д.И., Гусев Н., Пугач Н.Г., 2020 г.

КВАНТОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАНАЛАХ

Арутюнов К.Ю.^{1,2}

¹Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа
Экономики», г. Москва, Россия

²Институт физических проблем им. П.Л. Капицы
Российской Академии Наук, г. Москва, Россия

В последнее время проявился интерес к изучению квазиодномерной сверхпроводимости [1]. Спецификой таких систем является яркое проявление флуктуационных эффектов, которые влияют как на транспортные [2] (Рис. 1), термодинамические свойства [3], так и на локальные свойства: плотность состояний и сверхпроводящая щель [4]. При рассмотрении флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка $\Delta = |\Delta|e^{i\phi}$, являющегося комплексной величиной, необходимо различать флуктуации фазы ϕ и модуля $|\Delta|$.

Частным случаем проявления квантовых флуктуаций параметра порядка сверхпроводника является, так называемое, *квантовое проскальзывание фазы* (КПФ): кратковременное обнуление модуля $|\Delta|$, сопровождающееся одновременным изменением фазы на $\pm 2\pi$. КПФ - явление, дуальное эффекту Джозефсона [5]. С той только разностью, что стандартный джозефсоновский контакт локализован в пространстве (слабая связь), в то время как КПФ - динамический эквивалент, делокализованный в пространстве и времени. Соответственно, все многообразие явлений физики джозефсоновских контактов может наблюдаться и в сверхтонких сверхпроводящих каналах в режиме КПФ.

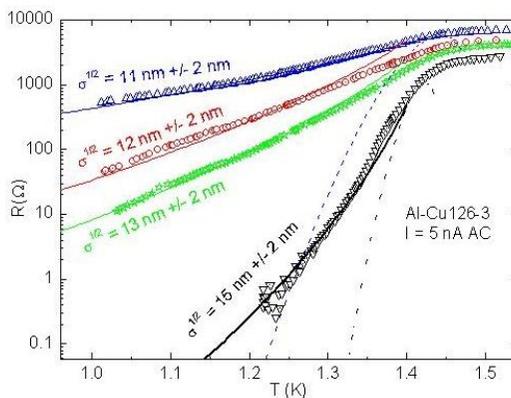


Рис. 1. Подавление бездиссипативного состояния в алюминиевом нанопроводе в процессе уменьшения эффективного диаметра [2]

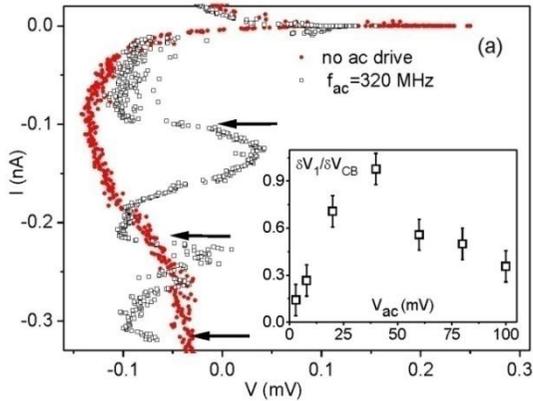


Рис.2. Вольт-амперные характеристики сверхпроводящего нанопровода в режиме КПФ (кружки) и при облучение ВЧ сигналом с частотой f_{ac} (квадраты). Стрелками показаны расчетные значения сингулярностей при значениях тока $I(n)=2ef_{ac}n$, где $2e$ - заряд куперовской пары, n - целое число. На вставке приведена зависимость величины кулоновской щели от амплитуды ВЧ накачки [9]

Квантовые флуктуации параметра порядка могут не только негативно влиять на "обычные" свойства сверхпроводников, но и способствовать проявлению ряда интересных эффектов. Открывается перспектива получения устройств нового поколения: элементы квантовой логики (qubit) [6], транзисторы, не содержащие диэлектрические элементы [7] и квантовый эталон силы электрического тока (Рис. 2) [8-9].

Выражается благодарность проекту I9-01-050 "Сверхпроводящие системы с высокой кинетической индуктивностью" Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. Arutyunov K.Y., Golubev D.S., and Zaikin A.D. Superconductivity in one dimension // *Phys. Rep.* 464, 1 (2008).
2. M. Zgirski, K.-P. Riikonen, V. Touboltsev and K.Yu. Arutyunov. Quantum fluctuations in ultranarrow superconducting nanowires // *Phys. Rev. B.* 77, 054508 (2008).
3. Arutyunov K.Y., Hongisto T.T., Lehtinen J.S., Leino L., Vasiliev A. Quantum phase slip phenomenon in ultranarrow superconducting nanorings, *Nature: Sci. Rep.* 2, 293 (2012).
4. Arutyunov, K.Yu. et al. Smearing of electron density of states in quasi-one-dimensional superconducting channels due to quantum phase fluctuations // *J. Magn. Magn. Mat.* 459, 356 (2018).
5. J. E. Mooij and Yu. V. Nazarov. Superconducting nanowires as quantum phase-slip junctions // *Nature Physics* 2, 169 (2006).

6. O. V. Astafiev, L. B. Ioffe, S. Kafanov, Yu. A. Pashkin, K. Yu. Arutyunov, D. Shahar, O. Cohen, J. S. Tsai. Coherent quantum phaseslip // *Nature* 484, 355 (2012).
7. K. Yu. Arutyunov and J. S. Lehtinen. Junctionless Cooper pair transistor // *Physica C* 533, 158(2017).
8. J. S. Lehtinen, K. Zakharov, and K. Arutyunov. Coulomb blockade and Bloch oscillations in Superconducting Ti nanowires // *Phys. Rev. Lett.* 109, 187001 (2012).
9. Z. Wang, J. S. Lehtinen, and K. Yu. Arutyunov. Towards quantum phase slip based standard of electric current // *Appl. Phys. Lett.* 114, 242601 (2019).

© Арутюнов К.Ю., 2020 г.

УДК 538.94

ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Арутюнов К.Ю.^{1,2}

¹Национальный Исследовательский Университет
«Высшая Школа Экономики», г. Москва, Россия

²Институт физических проблем им. П.Л. Капицы
Российской Академии Наук, г. Москва, Россия

Мировой информационный шторм, охвативший во второй половине XX века практически всё население Земли, требует совершенствования устройств обеспечивающих передачу, хранение и обработку информации. Очевидными следствиями являются постоянное увеличение скорости соответствующих процессов и повышение компактности устройств - миниатюризация. Сейчас все мировые авторитеты в области микро- и нанотехнологий сходятся во мнении, что дальнейшее увеличение степени интеграции коммерческих нанoeлектронных изделий перестает быть возможным: наблюдаются отклонения от закона Мура (рис. 1). При этом приводятся две основные причины. Первая, чисто технологическая - невозможность эффективного отвода тепла, выделяемого в единице объема (площади) интегральной схемы. Вторая проблема - фундаментальная: при достижении определенных размеров (очень грубая оценка - порядка 10 нм) процесс протекания электрического тока в таких сверхминиатюрных элементах уже не подчиняется законам классической электротехники, и начинают проявляться качественно новые квантовые явления, нарушающие штатный режим работы устройства. Типичным проявлением таких квантовых явлений является уменьшение электрической проводимости вплоть до перехода в изолирующее состояние [1].

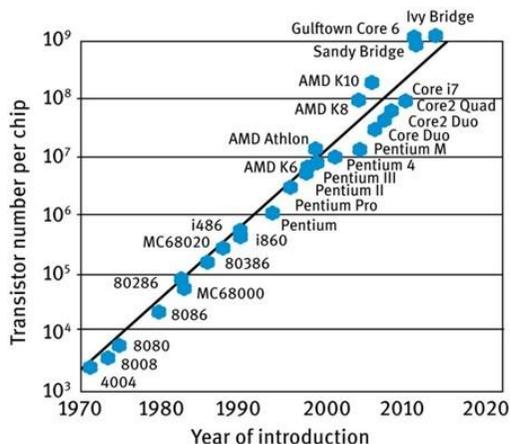


Рис. 1. Закон Мура (
<https://www.pinterest.com/pin/251497960426418633/>)

Очевидно, что перечисленные размерные ограничения не могут игнорироваться при проектировании сверхминиатюрных нано-электронных устройств нового поколения. Различного рода размерные эффекты, в том числе - квантовые, качественным образом меняют штатный режим работы стандартных микро- и наноэлектронных устройств. Решением проблемы тепловыделения, на первый взгляд, могло быть использование сверхпроводящих материалов. Однако, как стало понятно относительно недавно, в сверхпроводниках мезоскопических размеров квантовые флуктуации параметра порядка "убивают" такие, казалось бы, неотъемлемые свойства как нулевое сопротивление, незатухающие токи и щель в плотности состояний [2]. Исходя из сказанного, прогноз развития наноэлектроники достаточно пессимистичен, если под этим понимать исключительно миниатюризацию соответствующих элементов.

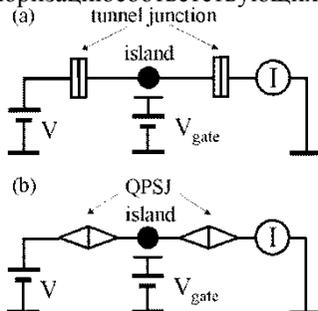


Рис. 2. Схематика (а) стандартного одноэлектронного транзистора с туннельными контактам и (б) на эффекте квантового проскальзывания фазы [4]

Однако (квантовые) размерные явления могут не только негативно влиять на работу нанoeлектронных систем сверхмалых размеров, но и способствовать проявлению интересных эффектов. Открывается перспектива получения устройств нового поколения, таких как, например, элементы квантовой логики (qubit) [3] или транзисторов, не содержащих диэлектрические элементы [4] (рис. 2).

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. Sedov E. A., K.-P. Riikonen and K. Yu. Arutyunov. Quantum size phenomena in single-crystalline bismuth nanostructures // *npj: Quantum Materials*, 12, 18 (2017).
2. K. Yu. Arutyunov, D. S. Golubev, and A.D. Zaikin. Superconductivity in one dimension // *Physics Reports* 464, 1 (2008).
3. O. V. Astafiev, L. B. Ioffe, S. Kafanov, Yu. A. Pashkin, K. Yu. Arutyunov, D. Shahar, O. Cohen, J. S. Tsai. Coherent quantum phase slip // *Nature* 484, 355 (2012).
4. K. Yu. Arutyunov and J.S. Lehtinen. Junctionless Cooper pair transistor // *Physica C* 533, 158 (2017).

© Арутюнов К.Ю., 2020 г.

ВОЗВРАТНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В СТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК/ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ИЗОЛЯТОР

Карабасов Т.

МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

В данной работе представлено количественное исследование критической температуры в гибридной S/TI (Сверхпроводник/Топологический изолятор) структуре как функции от различных параметров системы с использованием метода квазиклассических функций Грина.

Мы рассматриваем 2D-наноструктуру, которая изображена на рисунке 1. Она состоит из сверхпроводника S толщиной d_s и топологического изолятора TI толщиной d_n с наведенной геликоидальной намагниченностью $\mathbf{h} = h_0(\cos(Qy), \sin(Qy), 0)$, где $Q = 2\pi/\lambda$, λ – период пространственных осцилляций.

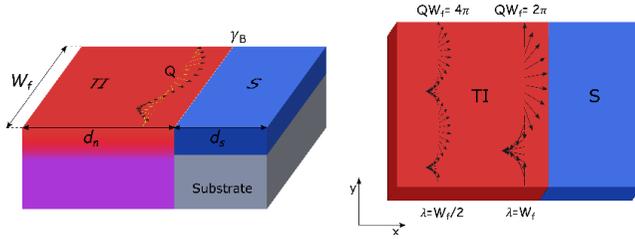


Рис. 1. Графическая модель структуры. π -топологический изолятор, S-сверхпроводник

Математическая модель описывающая поведение температуры строится на базе линеаризованных дифференциальных уравнений Узалея [1].

В сверхпроводящем слое S [1,2] уравнение принимает вид:

$$\xi_s^2 \pi T_{cs} \left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} \right) f_s - |\omega_n| f_s + \Delta = 0. \quad (1)$$

В π слое мы используем уравнение полученное в раб.[4]. Таким образом, уравнение Узалея [4] имеет вид,

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 f_T}{dx^2} + \frac{d^2 f_T}{dy^2} - \frac{4iQh_x(y)}{\alpha} x \frac{df_T}{dy} = \\ & = \frac{2iQ^2 h_y(y)}{\alpha} x f_T + \frac{4Q^2 h_x^2(y)}{\alpha^2} x^2 f_T + \frac{|\omega_n|}{\xi_n^2 \pi T_{cs}} f_T \end{aligned} \quad (2)$$

Также самосогласованное уравнение [2] принимает вид:

$$\Delta \ln \frac{T_{cs}}{T} = \pi T \sum_{\omega_n} \left(\frac{\Delta}{|\omega_n|} - f_s \right), \quad (3)$$

Поскольку рассматриваемая система периодична вдоль направления y , разложим функцию Грина в π слое в ряд Фурье,

$$f_T(x, y) = \sum_{p=-\infty}^{+\infty} f_T^{(p)}(x) e^{ipQy}$$

Также, мы пренебрегаем вторым слагаемым в правой части уравнения (2), ввиду его малости относительно первого в $1/\sqrt{h_0 \tau}$ раз в диффузионном пределе. Затем, для упрощения задачи проводится усреднение по y уравнения (2).

Уравнения (1-3) должны быть дополнены соответствующими граничными условиями [3]. Таким образом, после некоторых преобразований выражения для расчета критической температуры:

$$\ln \frac{T_{cs}}{T_c} = \psi \left(\frac{1}{2} + \frac{\Omega^2 + Q^2 p^2 T_{cs}}{2 T_c} \right) - \psi \left(\frac{1}{2} \right), \quad \Omega \tan \left(\Omega \frac{d_s}{\xi_s} \right) = W^{(p)}(\omega_n)$$

$$(4) \quad T_c = \max \left(T_c^{(p)} \right) \quad p = 0, 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

где ψ -дигамма функция.

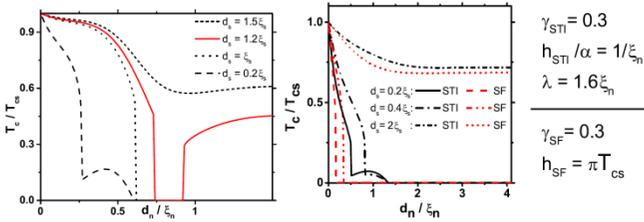


Рис. 2. График зависимости критической температуры сверхпроводника T_c от толщины слоя d_n . Сравнение с поведением критической температуры в S/F структуре

На рис. 2 показаны зависимости $T_c(d_n)$ для разных толщин S слоя d_s , а также сравнение с поведением критической температуры в S/F (F-ферромагнетик) бислое.

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. Usadel, K. D. Generalized diffusion equation for superconducting alloys // Phys. Rev. Lett., 1970, v. 25, 507.
2. Buzdin, A. I. Proximity effects in superconductor-ferromagnet heterostructures // Rev. Mod. Phys., 2005, v. 77, 935.
3. Kuprianov, M. Yu. and Lukichev, V. F. Influence of boundary transparency on the critical current of "dirty" SS'S structures // ZhETF, 1988, v. 94, 139.
4. Zyuzin, A. Alidoust, M. and Loss, D. Josephson Junction through a Disordered Topological Insulator with Helical Magnetization // Phys. Rev. B, 2016, 93, 214502.

© Карabasов Т., 2020 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ СТРУКТУРЫ С ДВУМЯМНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Губина А.С.¹, Пугач Н.Г.^{1,2}

¹Национальный Исследовательский Университет
Высшая Школа Экономики, г. Москва, Россия

²НИИЯФ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Изучается гибридная структура, состоящая из двух тонких слоёв сверхпроводящего материала с диэлектрическим барьером между ними. Слои сверхпроводящего материала рассматриваются в виде двух потенциальных ям, диэлектрик – в виде потенциального барьера конечной высоты U_0 , как показано на рисунке 1.

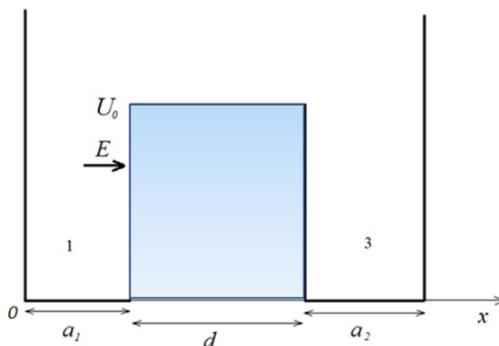


Рис. 1. Модель туннельной сверхпроводящей структуры

Волновые функции для каждой области найдены из уравнения Шредингера, на их основе построены нормальная и аномальная функции Грина в координатно-импульсном представлении.

В микроскопической теории сверхпроводимости [1] строятся уравнения Горькова для каждой области. Уравнения Горькова – это дифференциальные уравнения второго порядка, которые зависят от трёх переменных. В данной задаче рассматривается двумерная пленка, ограниченная по оси z , поэтому удобно перейти к величине разности радиус-векторов в плоскости плёнки благодаря инвариантности её свойств. Тогда, после преобразования Фурье, уравнения Горькова становятся зависимыми только от величины двумерного импульса χ и координаты в направлении, перпендикулярном пленке. Граничные условия для уравнений Горькова [2] соответствуют граничным условиям для функций Грина: функции Грина и их производные

должны быть непрерывны на границах между слоями, на внешних границах они обращаются в ноль или же составляют замкнутые граничные условия (периодическая структура).

Уравнения Горькова в координатно-импульсном представлении для данной задачи имеют вид:

$$\left[i\omega + \varepsilon_F - U_0 - \chi_n^2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] G_{n\omega}(z_n, z_n', \chi_n) + \Delta_n(z) F_{n\omega}(z_n, z_n', \chi_n) = \delta(z_n - z_n') (1)$$

$$\left[i\omega - \varepsilon_F + U_0 + \chi_n^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] F_{n\omega}(z_n, z_n', \chi_n) + \Delta_n^*(z) G_{n\omega}(z_n, z_n', \chi_n) = 0, (2)$$

здесь ω – частота; ε_F – энергия Ферми; n – номер рассматриваемой области; χ – проекция импульса; z – координата в направлении, перпендикулярном плоскости плёнки; G_ω – нормальная функция Грина; F_ω – аномальная функция Грина; Δ – параметр порядка; $\delta(z_n - z_n')$ – дельта-функция Дирака.

Для области, соответствующей потенциальному барьеру, параметр порядка Δ_2 равен нулю, а величина потенциального барьера U_0 не равна нулю только в области 2.

Использование формализма уравнений Горькова упрощает математическое описание сверхпроводящих структур. С помощью уравнений Горькова будет возможно описать туннельный эффект и возникновение квантового резонанса.

Авторы благодарят проект «Зеркальные Лаборатории» НИУ ВШЭ за поддержку сотрудничества.

Литература

1. Свидзинский, А.В. Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости / А.В. Свидзинский - М.: Наука, 1982, 311 с.
2. Kopnin, N.B. Theory of Nonequilibrium Superconductivity/ N.B. Kopnin- Clarendon Press, 2001, 425 p.

© Губина А.С., Пугач Н.Г., 2020 г.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОТОЭМИССИИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ

Ихсанов Р.Ш.

Национальный Исследовательский Университет
«Высшая Школа Экономики», г. Москва, Россия

В докладе представлены разработанные нами теоретические модели фотоэмиссии из металлических наночастиц (нанопроволок и наноэллипсоидов) в полупроводниковую матрицу. Рассматриваются два механизма фотоэффекта: объемный [1-3] и поверхностный [4].

В обеих моделях учитывается эффект возбуждения локализованного плазмонного резонанса и скачок эффективной массы электрона на границе металл-полупроводник. Показано, что понижение эффективной массы электрона при переходе из металла в полупроводник может приводить к существенному (в разы и более) снижению внутренней квантовой эффективности объемной фотоэмиссии. Для объемного механизма фотоэффекта учтен эффект охлаждения горячих электронов за счет электрон-электронных столкновений в металле. Для простых типов наночастиц (наносфера и нанопроволока) и тонкой металлической пленки получены аналитические выражения для внутренней квантовой эффективности фотоэмиссии.

Изложенная теория может быть использована для повышения эффективности фотопреобразователей и фотоприемников.

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. Р. Ш. Ихсанов, В. Е. Бабичева, И.Е. Проценко, А.В. Усков, М.Е.Гужва Объемная фотоэмиссия из металлических пленок и наночастиц. // Квантовая электроника. Т.45 (1), (2015) 50-58.
2. R.Sh. Ikhsanov, A.V. Novitsky, I.E. Protsenko, A.V. Uskov Bulk Photoemission from Plasmonic Nanoantennas of Different Shapes. // The Journal of Physical Chemistry C. 2018. Vol. 122. No. 22. P. 11985-11992.
3. Ikhsanov R., Усков А., Проценко И., Новицкий А. Bulk photoemission from plasmonic nanoparticles: physical models and software tools. // Proceedings of 38th Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 22-25 May, 2017, St Petersburg, Russia. , 2017.
4. V. E. Babicheva, S. V. Zhukovsky, R. Sh. Ikhsanov, I. E. Protsenko, I. V. Smetanin, A.V. Uskov Hot Electron Photoemission from Plasmonic Nanostructures: The Role of Surface Photoemission and Transition Absorption // ACS Photonics, 2015, 2 (8), pp. 1039–1048.

© Ихсанов Р.Ш., 2020 г.

ЭЛЕКТРОННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Карнаух А.Ю., Байбулова Г.Ш., Алтыншина Г.Р.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Общим свойством всех материалов органической электроники является повышенная чувствительность их свойств к условиям внешней среды. Одним из факторов, влияющим на электропроводность полимерных материалов, является атмосферный кислород, который наряду с другими газами может влиять на электронные свойства полимеров [1-2].

В работе [3] был проведен анализ экспериментальных результатов и теоретических расчетов органических соединений, нашедших применение в электронике, с целью систематизации данных о природе ловушечных состояний в органических материалах. В связи с этим целью настоящей работы является исследование влияния кислорода на электропроводящие свойства полиметилметакрилата (ПММА).

Экспериментальные исследования влияния химического состава газов на электропроводность полимерных пленок показали, что с увеличением концентрации содержания кислорода проводимость уменьшается (рис.1).

В работе были смоделированы и проанализированы фрагменты ПММА с кислородом. Квантово-химические расчеты модельных систем проводились полуэмпирическим методом в параметризации AM1 и методом теории функционала плотности (DFT) в приближении B3LYP/6-31+G(d).

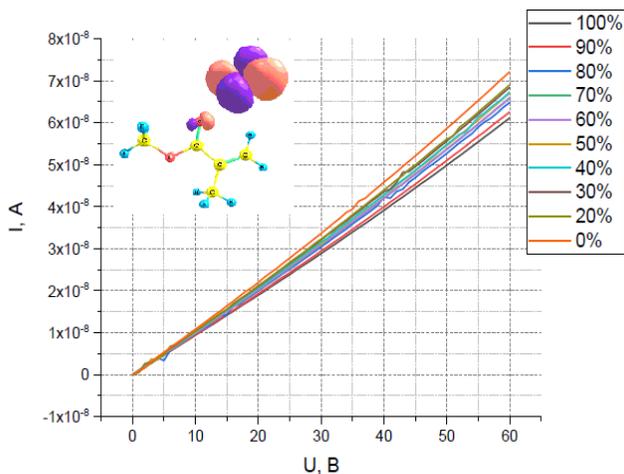


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика 5% ПММА в зависимости от содержания кислорода в камере и распределение электронной плотности комплекса MMA+O₂

Было установлено, что взаимодействие с кислородом приводит к уменьшению электронной плотности на фрагменте молекулы ПММА (рис. 1). Можно предположить, что в результате подобного взаимодействия будут формироваться глубокие электронные ловушки, приводящие к уменьшению плотности протекающего тока.

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

Литература

1. Kemp, N.T. Temperature-dependent conductivity of conducting polymers exposed to gases / N.T. Kemp, G.U. Flanagan, A.B. Kaiser, H.J. Trodahl, B. Chapman, A.C. Partridge, R.G. Buckley // *Synthetic Metals*. – 1999. – V. 101. – Is. 1–3. – P. 434-435.
2. Vitoratos, E Conductivity degradation study of PEDOT: PSS films under heat treatment in helium and atmospheric air / E. Vitoratos, S. Sakkopoulos, N. Paliatsas, K. Emmanouil, S.A. Choulis // *Open Journal of Organic Polymer Materials*. – 2012. – № 2. – P. 7-11.
3. Nicolai, T. Unification of trap-limited electron transport in semiconducting polymers / T. Nicolai, M. G. Kuik, A. H. Wetzelaer, B. Boer., C. Campbell, C. Risko, P.W. M. Blom // *Nature materials*. – 2012. – V. 11. – № 10. – P. 882-887.

© Карнаух А.Ю., Байбулова Г.Ш., Алтынишина Г.Р., 2020 г.

ИТЕРТИПНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В СИСТЕМАХ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Васенко А.С.

МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

Традиционная дихотомическая классификация сверхпроводящего магнитного отклика на I и II типы является неполной даже в простейшем случае чистого однозонного объемного сверхпроводника и должна быть дополнена дополнительным режимом, который можно назвать интертипной (ИТ) сверхпроводимостью. Это явление связано с вырождением состояния сверхпроводящего конденсата в критической точке Богомольного (точка В) [1,2]. Домен ИТ-сверхпроводимости находится в области вблизи точки В, где вырождение снимается. Мы обсудим механизмы снятия вырождения, связанные с образцами пониженной размерности [2] и / или нелокальными взаимодействиями в конденсате [3]. В двумерных образцах мы наблюдаем спонтанное формирование сложных структур конденсата в магнитном поле,

которые отличаются от таковых в массивных образцах [2,3]. Наши результаты поднимают важные вопросы о полноте учебной классификации типов сверхпроводимости.

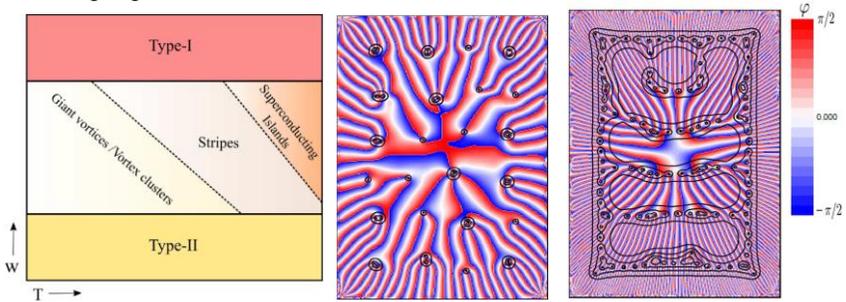


Рис. 1. Левая панель: схематическая фазовая диаграмма в плоскости (w, T) тонкопленочных сверхпроводников. Здесь w - толщина пленки, T - температура $T < T_c$ [1]. Средняя и правая панели: фазовый портрет, соответствующий пространственному профилю плотности конденсата в тонкопленочном образце для меньшего (в центре) и большего (справа) магнитного поля $H < H_c(0)$ [2]

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. W.Y. Córdoba-Camacho, R.M. da Silva, A. Vagov, A.A. Shanenko, and J. Albino Aguiar, Phys. Rev. B 94, 054511 (2016).
2. W.Y. Córdoba-Camacho, R.M. da Silva, A.A. Shanenko, A. Vagov, A.S. Vasenko, B.G. Lvov, and J. Albino Aguiar, J. Phys.: Condens. Matter 32, 075403, (2020).
3. W. Y. Córdoba-Camacho, A. Vagov, A. A. Shanenko, J. Albino Aguiar, V. S. Stolyarov, and A. S. Vasenko., arXiv:1911.08524 (unpublished).

© Васенко А.С., 2020 г.

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИНЕТИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНКАХ

Шеин К.В.¹, Арутюнов К.Ю.^{1,2}

¹Национальный Исследовательский Университет
Высшая Школа Экономики, г. Москва, Россия.

²Институт Физических Проблем
им. П. Л. Капицы РАН, г. Москва, Россия

Аннотация

Мы работали со сверхпроводящими меандрами, изготовленными из ультратонких полосок нитрида ниобия (NbN) шириной примерно 100 нм. Был обнаружен сдвиг резонансной частоты при температурах ниже критической температуры относительно нормального состояния, что указывает на то, что в таких системах индуктивность возрастает и меняется в зависимости от температуры.

Введение

Катушки индуктивности повсеместно используются в различных высокочастотных устройствах, как в промышленных, так и научных. Последнее десятилетие мы наблюдаем тенденцию к миниатюризации электронных компонентов. Соответственно катушка индуктивности не исключение. Но ее сложно сделать на микро масштабах. Еще одним важным замечанием является то, что геометрическая индуктивность линейно зависит от длины катушки и лишь логарифмически от ее диаметра. Следовательно, проблематично сделать катушку индуктивности достаточно малых размеров с большой индуктивностью. Одним из возможных решений данной проблемы является использования тонких сверхпроводящих меандров, в которых кинетическая индуктивность в несколько раз выше обычной (геометрической индуктивности).

Теоретическая часть

Кинетическая индуктивность L_k возникает не из запасенной энергии магнитного поля, как в обычной геометрической (магнитной) индуктивности, а скорее из-за кинетической энергии, запасенной за счёт движения носителей заряда. Основное преимущество кинетической индуктивности заключается в том, что она линейно зависит от размеров меандра.

Формулу кинетической индуктивности можно получить из двух основных теории, описывающих природы сверхпроводимости: теория Гинзбурга – Ландау и теория Бардина – Купера – Шрифера.

1. Согласно теории Гинзбурга-Ландау [1] мы получили:

$$L_k = \left(\frac{ml}{2e^2 wd} \right) \left(\frac{1}{n_s(0) \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)} \right) = L_k(0) \frac{1}{\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)}, \quad (1)$$

где l, w, d - длина, ширина и толщина сверхпроводящего меандра. $n_s(0)$ и $L_k(0)$ – плотность куперовских пар и кинетическая индуктивность при T близкой к 0 градусов. Данное приближение (1) работает только для температур близких к T_c и при токе смещения $I = 0$.

1. Согласно БКШ теории [2]

$$L_k = \left(\frac{l}{w}\right) \frac{R_{кв} h}{2\pi^2 \Delta} \frac{1}{\tanh\left(\frac{\Delta}{2k_b T}\right)}, \quad (2)$$

где $R_{кв}$ – сопротивление на квадрат в нормальном состоянии. На основании [2] при температурах $T \ll T_c$ получаем $\Delta(T) \approx \Delta(0) * 1.74(1 - T/T_c)$, где $\Delta(0) = 1.76kT_c$ [12]. Для других случаев $\Delta(T)$ – должна быть вычислена аналитически.

Образцы

Были изготовлены микроструктуры, представляющие из себя длинные и тонкие каналы, плотно упакованные в форме меандра. Материалом для сверхпроводящих структур был выбран NbN.

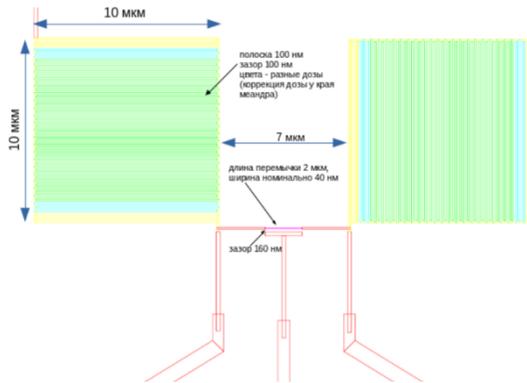


Рис.1. Структура и взаимное расположение сверхпроводящих тонких пленок

Результаты эксперименты

Для измерения АЧХ данных структур была изготовлена установка [3], которая представляла из себя колебательный LC контур. Где в роле индуктивности был наш меандр, C – чип конденсатор на 50пФ. Для измерений был использован векторный анализатор (VNA) в режиме потерь отраженный мощности (Returnloss). Измерения проводились выше и ниже критической температуры. Для данного меандра $T_c = 6.5$ К.

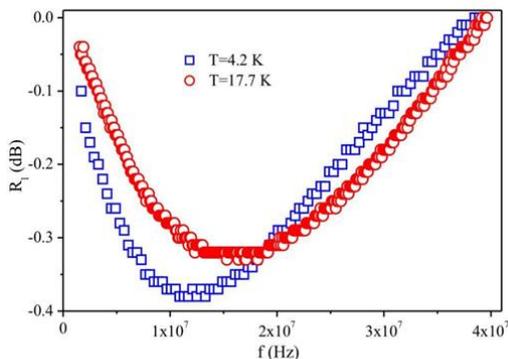


Рис. 2. Зависимость затухания отраженной мощности(Returnloss) от частоты для меандра NbN при температурах выше критической и ниже критической

Кинетическая индуктивность выражалась из формулы для нахождения резонансной частоты колебательного контура.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

Как видно из графика, при температуре ниже критической резонансная частота сдвигается в более низкочастотную область, что может означать, что индуктивность такой системы возрастает.

Авторы выражают благодарность команде SCONTEL и лично А. А. Корнееву за изготовление образцов NbN, А. Ю. Кунцевичу и В. И. Чичкову за обучение студентов (В. О. Емельянова, М. А. Логунова и А. А. Заруднева). Исследование проведено в рамках программы Академического фонда Национального «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) в 2019–2020 гг. (Грант № 19-01-050) и Проекта повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов «5-100».

Литература

1. Tinkham M. Introduction to Superconductivity. Second edition. McGraw-Hill, New York, 1996.
2. Annunziata A J : Ph.D. dissertation, Yale University (2010).
3. Zavyalov V. V., Chernyaev, S. A., Shein K. V. Shukaleva, A. G., Arutyunov K. Yu. : Journal of Physics Conference. Series 969, 012086 (2017).

© Шейн К.В., Арутюнов К.Ю., 2020 г.

КВАНТОВЫЙ РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ПОЛУМЕТАЛЛАХ И СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Седов Е.А., Арутюнов К.Ю., Завьялов В.В.

Национальный Исследовательский Университет

«Высшая Школа Экономики», г. Москва, Россия

Институт физических проблем им. П.Л. Капицы

Российской Академии Наук, г. Москва, Россия

С уменьшением электронных устройств и улучшением технологий производства микроструктур открывается новый мир физики, в котором решающую роль играют не привычные нам явления, а квантовые размерные эффекты. Такие эффекты возникают в телах, размеры которых становятся сопоставимы с величиной волны де Бройля. Вследствие ограничения движения носителей заряда по одному или нескольким направлениям происходит квантование энергетического спектра и смещение уровней энергии зарядов относительно поверхности Ферми, что приводит к пересечению энергетическими подзонами уровня Ферми и как результат скачкообразному изменению проводящих характеристик материала. Квантовый размерный эффект является универсальным и наблюдается во всех материалах, но не всегда одинаковым образом. Так, например, в полуметаллах можно наблюдать переход образца из проводящего состояния в изолятор при достижении некоей пороговой толщины тела, а в сверхпроводниках немонотонным образом изменяются сверхпроводящие свойства при уменьшении их размеров.

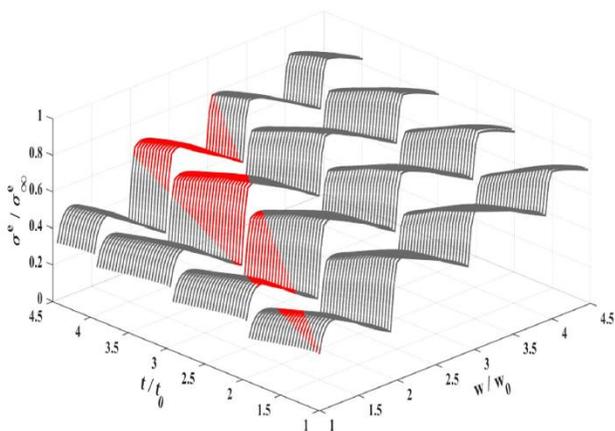


Рис. 1. Вычисленная электронная проводимость нанопровода из висмута [1]

Начав с изучения квантового размерного эффекта в висмуте, мы сумели показать переход метал-изолятор на тонких проводах, а также наблюдали осциллирующую зависимость проводимости с уменьшением диаметра нанопровода (рис. 1). Оригинальность нашего метода состояла в изучении динамики не на разных образцах с разной толщиной, а на одном объекте с последующим его уменьшением низкоэнергетическим аргонным пучком.

Продолжив изучение КРЭ, мы перешли к сверхпроводникам, а именно изменению температуры сверхпроводящего перехода T_c с уменьшением толщины образца. Вопрос, который беспокоит учёных уже порядка 50 лет, но до сих пор до конца не решённый. Проблема определения скорее кроется в большом количестве факторов, влияющих друг на друга, которые возникают в тонких наноструктурах, нежели в отсутствии подходящей теории. Исходя из этого, можно рассчитывать на получение «чистого» результата, только при минимизации одних факторов и сосредоточении внимания на других. В данном случае мы изготовили плёнки алюминия методом молекулярно-лучевой эпитаксии, что позволило нам получить образцы с размером гранул сопоставимых с размерами плёнки сведа таким образом к минимуму колоссальный вклад от электрон-фононного взаимодействия между отдельными кристаллитами в массиве плёнки.

Однако, при измерении эпитаксиальных плёнок мы всё равно наблюдали увеличение T_c , что говорит об ином вкладе в увеличении T_c в алюминии, отличном от электрон-фононного взаимодействия и учитывая опыт прошлой работы, мы предполагаем наличие квантового размерного эффекта в сверхпроводниках, ответственного за изменение параметра T_c .

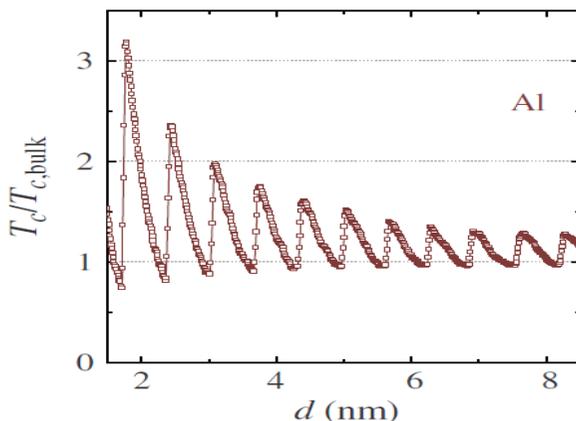


Рис. 2. Теоретическая зависимость отношения критической температуры образца, к критической температуре объёмного тела от толщины образца [2]

Наши измерения хорошо соответствуют модели из работы [2], которая была разработана с учётом влияния КРЭ на сверхпроводящие свойства [3].

Литература

1. Sedov E. A., K.-P. Riikonen and K. Yu. Arutyunov. Quantum size phenomena in single-crystalline bismuth nanostructures // npj Quantum Materials, 2017, V. 12, No. 18
2. F. M. Peeters, M. D. Croitoru and A. A. Shanenko. Nanowires and nanofilms: Superconductivity in quantum-size regime // Physica C, 2008, V. 468, pp. 326 – 330.
3. K. Yu Arutyunov et. Al. Nanoarchitecture: Toward Quantum-size tuning of superconductivity // Physica Status Solidi RRS, 2019, No. 1800317.

© Седов Е.А., Арутюнов К.Ю., Завьялов В.В., 2020 г.

МАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ ХАЛДЕЙНОВСКИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ

$(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$

Попова Е.А.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Интерес к изоструктурным соединениям R_2BaNiO_5 (R - редкоземельный ион или ион иттрия) обусловлен одномерным характером их магнитных свойств. Кристаллическая структура указанных соединений содержит цепочки сильно сплюснутых октаэдров NiO_6 , соединенных апикальными вершинами. Цепочки ионов Ni^{2+} спинов $S=1$ вытянуты вдоль оси a и разделены в плоскости bc ионами R^{3+} и Ba^{2+} . В Y_2BaNiO_5 магнитного упорядочения не происходит, по крайней мере, вплоть до 0.1К, и в спектре магнитных возбуждений наблюдается энергетическая щель ~ 10 meV [1]. Полная или частичная замена иона Y^{3+} на магнитный ион R^{3+} к антиферромагнитному. Однако, как показали нейтронографические исследования [2], щель в спектре магнитных возбуждений Ni цепочки остается даже в упорядоченном состоянии. В настоящей работе проведены исследования температурных зависимостей теплоемкости $C(T)$ и магнитной восприимчивости $\chi(T)$ поликристаллических образцов семейства $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$ в широком диапазоне концентраций, от $x = 0.01$ до $x = 1$. Анализ зависимостей $\chi(T)$ показал, что во всех исследованных соединениях в области высоких температур никелевая подсистема ведет себя как халдейновский магнетик со щелью в спектре магнитных возбуждений. При понижении температуры аномалии на зависимостях $C(T)$ и $\chi(T)$ указывают на возникновение магнитного упорядочения в соединениях с $x > 0.05$. Температура магнитного фазового перехода

уменьшается с уменьшением концентрации неодима в соединении. В упорядоченном состоянии внутреннее магнитное поле приводит к расщеплению основного кramerсовского дублета иона Nd^{3+} , что проявляется в виде аномалии Шоттки на зависимостях $C(T)$ и $\chi(T)$. Температурная зависимость величины расщепления $\Delta(T)$, полученная из спектроскопических измерений, использовалась для расчета вклада подсистемы неодима в полную теплоемкость и восприимчивость. На возможность магнитного упорядочения в соединениях с низкой концентрацией неодима ($x \leq 0.05$) указывает только аномалия Шоттки на температурной зависимости теплоемкости, измеренной вплоть до 0.3 К. Анализ зависимостей $C(T)$ для соединений с $x \leq 0.05$ показал, что взаимодействие ионов неодима, приводящее к магнитному упорядочению, осуществляется через внутренне разупорядоченную никелевую подсистему. Во всех соединениях в области низких температур ($T \approx 3\text{K}$) обнаружена аномалия на зависимостях $\chi(T)$ и дополнительный вклад в теплоемкость. Указанные особенности связаны с дефектами никелевой цепочки, при этом никелевая подсистема в $(\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x)_2\text{BaNiO}_5$ в упорядоченной области проявляет такие же свойства, как и в неупорядоченной халдейновской системе Y_2BaNiO_5 .

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

1. J. Darriet and L. P. Regnault, SolidStateCommun. **86**, 409 (1993).
2. A. Zheludev, J. M. Tranquada, T. Vogt, and D. J. Buttrey, Phys.Rev. B **54**, 7210 (1996).

© Попова Е.А., 2020 г.

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СПИНТРОНИКИ

Пугач Н.Г.

НИИЯФ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва

Национальный Исследовательский Университет
Высшая Школа Экономики, г. Москва, Россия

Сверхпроводниковая спинтроника является новой областью в наноэлектронике квантовых систем, которая появилась в 21 веке и активно развивается последние годы. Её основной идеей, как и в обычной спинтронике, является использование переноса спина электронов для хранения и обработки информации, но реализованная в сверхпроводящих контурах при низкой температуре.

Решением проблем энергосбережения и быстродействия современных наноэлектронных устройств после насыщения закона Мура, мог бы быть отказ от использования десятилетиями отработанных методов КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник), и переходом на сверхпроводящие материалы.

Будет дан обзор существующих направлений развития сверхпроводниковой наноэлектроники, включая магнитную память, Джозефсоновскую логику, кубиты, и квантовые компьютеры. Эта новая область призвана решать следующие задачи: энергосбережение, миниатюризация элементов, их быстродействие, и наконец, обеспечение работы принципиально нового типа устройств – квантовой логики. Основными, хорошо разработанными на сегодняшний день элементами сверхпроводниковой спинтроники являются сверхпроводящие спиновые вентили. Будет дан обзор этих разработок. Будут обсуждаться перспективы и проблемы их применения в качестве совместимой магнитной памяти для сверхпроводниковых классических и квантовых логических устройств. В заключение расскажу о нашей последней разработке – сверхпроводниковых спиновых вентилях нового типа.

Автор благодарит проект «Зеркальные Лаборатории» НИУ ВШЭ за поддержку сотрудничества.

© Пугач Н.Г., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТАХ С ГРАФЕНОВОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Саматов М.Р.

МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

В данной работе представлены теоретические результаты термоэлектрического транспорта в СГС (сверхпроводник – графен – сверхпроводник) структуре. Схема рассматриваемого контакта представлена на рис. 1.

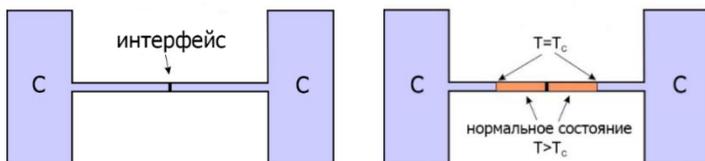


Рис. 1. Схема Джозефсоновского контакта с графеновой прослойкой (интерфейс)

Данная СГС структура состоит из двух больших сверхпроводящих резервуаров, двух сверхпроводящих линий и графенового интерфейса. При подаче напряжения потечет сверхпроводящий ток. В силу наличия сопротивления в виде интерфейса при увеличении напряжения, будет происходить нагрев структуры вокруг интерфейса. При достижении температуры выше критической T_c вокруг интерфейса начнут появляться зоны нормального металла (Рис. 1). При этом электрический ток через структуру будет больше критического тока $I > I_{CS}$.

Электрически ток через СГС структуру при высоких напряжениях можно записать в виде:

$$I(V) = \frac{V}{R} + \gamma \frac{\Delta_L(T_L) + \Delta_R(T_R)}{2eR} \quad (1)$$

Предполагаем, что интерфейс короткий, т.е. электроны, проходящие через него, не успевают взаимодействовать с чем-либо. В этом случае мощность $IV/2$ рассеивается в каждой из двух сверхпроводящих линий.

Решением уравнения 2 является зависимость температуры от напряжения, представленная на рис. 2 (а).

$$\int_0^T T \int_{\Delta(T)/2k_B T}^{\infty} \frac{x^2}{\cosh^2 x} dx dT - \int_0^{T_b} T \int_{\Delta(T)/2k_B T}^{\infty} \frac{x^2}{\cosh^2 x} dx dT = \frac{IR_{lead} V}{8} \frac{e^2}{k_B^2} \quad (2)$$

Используя формулу 1 и 2 строим график зависимости электрического от напряжения (рис. 2 (b)).

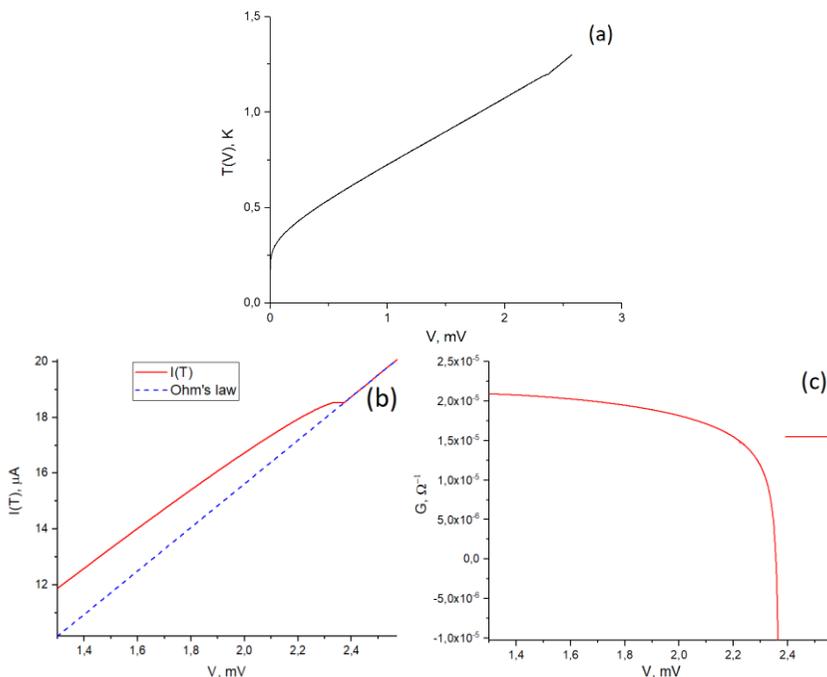


Рис. 2. (a) График зависимости температуры от напряжения. (b) Зависимость электрического тока от напряжения. Синяя пунктирная линия – закон Ома. (c) Зависимость дифференциальной проводимости от напряжения

На рис. 2 (c) представлена дифференциальная проводимость, как функция от напряжения. Важно отметить резкое падение дифференциальной проводимости при значении 1.8 мкВ.

Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Литература

1. B. D. Josephson. "Possible new effects in superconductive tunneling". Phys. Lett. 1 (7): 251–253.
2. Bardeen, J.; Cooper, L. N.; Schrieffer, J. R. "Microscopic Theory of Superconductivity". Physical Review. 106 (1): 162–164.
3. Bardeen, J.; Cooper, L. N.; Schrieffer, J. R. "Theory of Superconductivity". Physical Review. 108 (5): 1175–1204.

© Саматов М.Р., 2020 г.

HIGH-TC MULTI-BAND SUPERCONDUCTORS WITH A QUASI-1D AND A 3D BANDS

Saraiva T.T.

National Research University Higher School of Economy, Moscow, Russia

In this work [1], we explore the interplay between two overlapping superconducting bands where one of these shows strong anisotropy on the mobility of electrons, behaving effectively as a quasi-one dimensional band (q1D). We show how one can benefit from the the best features of both condensates: q1D bands present strong increase in the mean-field critical temperature when the bottom of the band surpasses the chemical potential (the so-called Lifshitz transition) while 3D bands are much less sensitive to the effect of fluctuations i.e. have very small Ginzburg number.

In our model, based on the Suhl-Mathias-Walker Hamiltonian [2], we explore materials with two superconducting bands: one 3D and a highly anisotropic, q1D band. In the first case, the Fermi surface is characterized by the usual spherical Fermi Surface while in the second case we assume a flat FS. The isolated q1D system shows a transition at the Lifshitz point, when the chemical potential of the system surpasses the bottom of the band (sketched in Fig. 1). Before this point, the superconducting ordering is unstable but beyond this point the critical temperatures found can be up to the order of the Debye energy of the system, $\hbar\omega_c$.

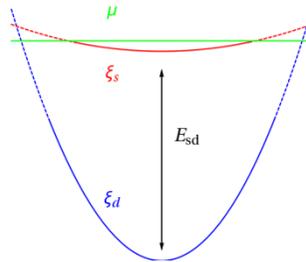


Fig. 1. Sketch of the band-dependent dispersion relations (the bottom of the bands differ from an energy E_{sd}) and the position of the chemical potential

Within the Extended Ginzburg-Landau formalism [3], one can formulate the free energy of the two-band system, calculate the coherence lengths and finally calculate the effect of fluctuations over the critical temperature. After analyzing this renormalized critical temperature over a wide range of microscopic parameters of the system, plotted in Fig. 2 (b) and (c), one concludes that the effect of the 3D band in the system is to screen the fluctuations and recover the high values of the critical temperature at the mean-field level.

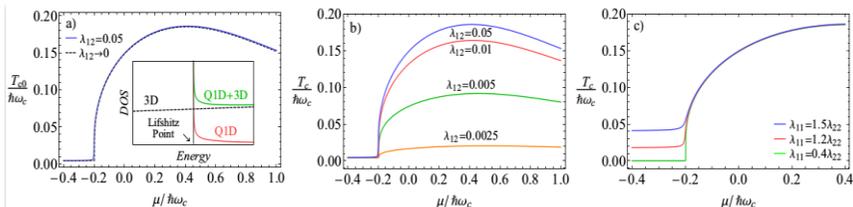


Fig. 2. a) Mean-field critical temperature of the two-band system as a function of the chemical potential. b) Renormalized critical temperature as a function of the critical temperature for different values of the inter-band coupling. c) Renormalized critical temperature as function of the ratio of intra-band coupling

Author acknowledges the support of the project "Mirror labs" of National Research University Higher School of Economy.

References

1. T. T. Saraiva, P. J. F. Cavalcanti, A. Vagov, A. S. Vasenko, A. Perali, L. Dell'Anna and A. A. Shanenko, *Quasi-one-dimensional system as a high-temperature superconductor* arXiv:2002.01989v2.
2. H. Suhl, B. T. Matthias, and L. R. Walker, *Bardeen-Cooper-Schrieffer theory of superconductivity in the case of overlapping bands*, *Phys. Rev. Lett.*, 3, 552 (1959).
3. Shanenko, M. V. Milosevic, F. M. Peeters, and A. V. Vagov, *Extended Ginzburg-Landau formalism for two-band superconductors*, *Phys. Rev. Lett.* 106, 047005 (2011).

© Saraiva T.T., 2020 г.

УДК 538.971

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

¹Алтыншина Г.Р., ^{1,2}Лачинов А.Н.

¹Институт физики молекул кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

²Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В докладе представлены результаты исследования электрофизических свойств границы раздела двух субмикронных пленок полиметилметакрилата (ПММА). Ранее в работах [1,2] сообщалось о возможности формирования двумерного электронного газа (ДЭГ) вдоль границы раздела двух диэлектрических материалов. Было сделано предположение, что причиной

высокой проводимости является электронная реконструкция, необходимая для предотвращения «поляризационной катастрофы». Согласно модели «поляризационной катастрофы» необходимым условием для получения квазидвумерного электропроводящего слоя является наличие в структуре боковых функциональных групп с большим дипольным моментом. В связи с этим был выбран ПММА, структура которого удовлетворяет предъявляемым требованиям. Ранние исследования показали, что боковые группы ориентируются преимущественно по нормали к границе раздела.

Исследования проводили классическим методом вольт-амперных характеристик. Граница раздела на стеклянных подложках создавалась путем последовательного нанесения полимерных пленок из растворов в циклогексаноне методом центрифугирования. Медные электроды наносили на первый слой полимерной пленки методом термодиффузионного напыления в вакууме. Расстояние между электродами составляло ~ 60 мкм. Толщины пленок контролировались методом атомно-силовой микроскопии, суммарная толщина пленок составляла ~ 560 нм.

Полученные ВАХ подобны ранее полученным зависимостям на полимерах класса полиариленфталидов [1]. Анализ ВАХ, проведенный в рамках инжекционной модели позволил рассчитать подвижность и концентрацию носителей заряда (НЗ). Результаты расчета показали, что вдоль границы раздела формируется квазидвумерное состояние с аномально высокой подвижностью заряда при низкой концентрации собственных НЗ. В докладе обсуждается влияние поверхностной поляризации на проводимость области вдоль границы раздела, механизм транспорта НЗ вдоль границы раздела. Проведено сравнение полученных результатов с известными литературными данными.

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

Литература

1. Р.М.Гадиев, А.Н.Лачинов, В.М.Корнилов и др. // Письма в ЖЭТФ, 2009, Т 90, в.11, с.821-825.
2. Ohtomo and H. Y. Hwang, Nature 427, 423 (2004).

© Алтынишина Г.Р., Лачинов А.Н., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ РЕКОМБИНАЦИИ ЭКСИТОНОВ НА ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНКАХ

Киан М.Ф.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В последнее время большое значение придается изучению свойств контакта двух различных сопряженных органических материалов. Это, прежде всего, связывают с необходимостью согласования энергетических параметров контактирующих слоев в многослойных органических устройствах, например, в органических диодах или солнечных элементах.

В докладе представлены результаты изучения влияния контакта двух полимерных пленок, изготовленных из одного и того же несопряженного полимера – полидифениленфталида (ПДФ), на транспорт носителей заряда в структуре металл/полимер/полимер/ITO (смесь окислов индия и олова). Ранее [1], транспорт носителей заряда в основном изучался вдоль границы раздела полимер/полимер. И было установлено, что имеется достаточно оснований представлять такую границу как квазидвумерную область с локализованным электронным газом. Тем не менее, недавно [2], было установлено, что положение границы раздела внутри полимерной пленки в значительной мере определяет эффективность излучательной рекомбинации экситонов. Однако до сих пор не было исследовано влияние положения границы раздела на транспорт носителей заряда.

Выбор ПДФ был обусловлен тем, что он обладает уникальными пленкообразующими свойствами вплоть до толщин в несколько нанометров, а также наличием достаточного количества информации о свойствах границ раздела полимер/полимер, включая и теоретические исследования [3].

Были изучены вольт-амперные характеристики при изменении положения границы раздела относительно электродов экспериментальной структуры.

В результате проведенной работы было установлено большое влияние положения границы раздела на электропроводность системы при неизменной суммарной толщине полимерной пленки. Причем, имеется четко выраженный максимум проводимости для конкретного положения границы раздела. Нелинейная форма ВАХ (рис. 1) свидетельствует о влиянии объемного заряда. Анализ полученных ВАХ в рамках инжекционной модели позволил провести оценки концентрации собственных носителей заряда и подвижность носителей заряда. Было установлено, что при расположении границы раздела по середине образца, подвижность максимальная, а концентрация и высота потенциального барьера минимальные.

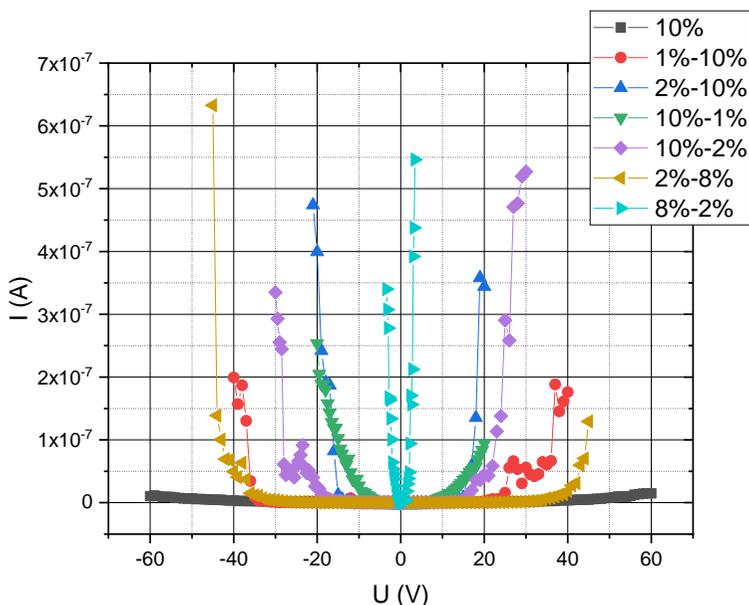


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики структур с различным положением границы раздела полимер-полимер

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

Литература

1. Салихов Р. Б. и др. Свойства транспортного слоя, сформированного на границе раздела двух полимерных пленок //Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79. – №. 4. – С. 131-134.
2. Лежнев С. К. и др. Электролюминесценция полимерной пленки, содержащей границу раздела полимер/полимер //Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2019. – Т. 110. – №. 7. – С. 437-442.
3. Никитенко В. Р., Тамеев А. Р., Ванников А. В. Механизм металлической проводимости вдоль границы раздела органических диэлектриков //Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44. – №. 2. – С. 223-229.

© Куан М.Ф., 2020 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЭФФЕКТА

Ладин П.А., Киан М.Ф., Лачинов А.Н.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы

В работе [1] был обнаружен дистанционный эффект при исследовании проводимости структуры металл/полимер/металл (МПМ) вблизи фазового перехода в одном из металлов. Этот эффект объяснялся перераспределением контактных потенциалов при изменении эффективной работы одного из электродов вследствие фазового перехода в нем. При условии справедливости предложенного объяснения существует большое количество вариаций реализации дистанционного эффекта, например, за счет выбора схем подключения металла с изменяемой работой выхода электрона. В связи с этим в настоящей работе было проведено исследование влияния условий контактирования тестируемого металла гетероструктуройМПМ на электронные характеристики последней. Предметом исследования явились такие параметры, как высота потенциального барьера на контакте с полимерной пленкой, концентрация и подвижности носителей заряда полимера. Изменение условий контактированияпроизводили путем изменения схемы соединения массивного металлического образца с одним из электродов МПМ структуры. Металлические образцы выбирались с разной работой выхода электрона. Были использованыдве схемыподключения: потенциальная и токовая. В качестве полимерного материала использовали полидифениленфталид. Электроды были медными, которые были изготовлены методом термодиффузионногоосаждения в вакууме. Металлические образцы были в форме пластин из Al и Cu, с близкой массой $\sim 29 \pm 1$ г. Основным методом исследования был метод вольтамперных характеристик (ВАХ).

На рис. 1 представлено типичное поведение ВАХ структуры МПМ при различных способах подключения дополнительного металлическогообразца. Полученные ВАХ были интерпретированы в рамках инжекционной модели, которая позволила оценить изменение концентрации и подвижности носителей заряда в полимерной пленке согласно формулам, приведенным ниже.

Формула для расчета подвижности носителей заряда:

$$\mu = J \cdot L^3 / \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n^2, \quad (1)$$

где U_n – пороговое напряжение, соответствующее точке перехода, J – плотность тока, L – расстояние между электродами, ε – диэлектрическая проницаемость материала.

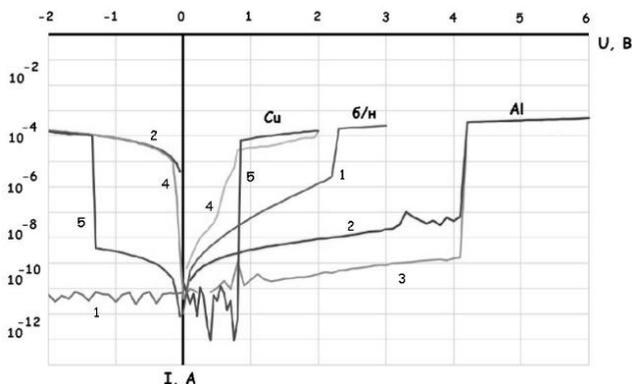


Рис. 1. ВАХ структуры МПМ. Типы подключения: 1 – без нагрузки, 2, 4 – потенциометрическое, 3, 5 – токопроводящее

Концентрация носителей заряда:

$$n_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n / e \cdot L^2, \quad (2)$$

Установлено, что наличие в схеме измерения ВАХ дополнительного элемента в виде металлического образца приводит к изменению вида ВАХ. Последнее связано с изменением высоты потенциального барьера на зондовой МПМ структуре, и, как следствие подвижности носителей заряда. Фактически подтверждено значение схемы включения МПМ структуры в измерительную цепь, содержащую дополнительные пассивные металлические элементы, влияющие на распределение контактной разности потенциалов внутри цепи. В докладе обсуждаются возможности практического применения полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

Литература

1. I.R. Nabiullin, R.M. Gadiev, A.N. Lachinov, Effect of Changes in Junction Potential at the Metal1/Metal2 Interface on the Conductivity of a Metal1/Polymer/Metal1/Metal2 Structure //Materials Science Forum (2015) Vol. 845, pp 21-24.

© Ладин П.А., Киан М.Ф., Лачинов А.Н., 2020 г.

ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТ БЛИЗОСТИ В СИЛЬНО СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ СТРУКТУРАХ ФЕРРОМАГНЕТИК-СВЕРХПРОВОДНИК

Яговцев В.О.

Национальный Исследовательский Университет
Высшая Школа Экономики, Москва, Россия

Новая область наноэлектроники, называемая сверхпроводящей спинтроникой, появилась в 21 веке. Так же, как и вобычнойспинтронике, основным исследуемым явлением является перенос спина электронов, но реализованный в сверхпроводящих структурах при температурах ниже критической температуры сверхпроводника. Структуры, описываемые сверхпроводящей спинтроникой, потенциально очень хорошо подходят для хранения и обработки информации. В ряде экспериментальных статей[1,2] исследовался обратный эффект близости в структурах со спин-активными слоями. В последнее время классической электроники активно ищут замену, поскольку закон Мура перестал выполняться в 10-ых годах 21 века. Поэтому актуальной задачей стала разработка теоретических моделей для различных структур сверхпроводящей спинтронике. Модель, представленная в нашей работе, разработана с целью сравнить предсказанные ею значения индуцированной обратным эффектом близости наведенной намагниченности с экспериментом. В дальнейшем могут быть созданы логические элементы на основе структур с обратным эффектом близости.

Исследовались бислойныеструктуры, в которых слой сверхпроводника граничит со слоем ферромагнетика. Рассматривались два случая, в первом в качестве ферромагнетика выступал слой ферромагнитного изолятора (ФИ), во втором – ферромагнитного металла (ФМ). В допущении грязного сверхпроводника аналитически решена задача нахождения функций Грина в линейном приближении, предполагающем, что температура близка к критической температуре сверхпроводника. Получены оценки для величин наведенной намагниченности и параметра порядка в сверхпроводнике, а также зависимости этих величин от координаты и угла спинового смешивания. Рассмотрены случаи С-ФИ в пределе температур, близкой к критической, С-ФМ в аналогичном пределе и С-ФМ в пределе слабого эффекта близости. Полученные для трех случаев зависимости намагниченности от различных параметров структур был проанализированы и по результатам анализа были сделаны выводы о возможных причинах различий в поведении наведенной в результате обратного эффекта близости намагниченности. Для наведенной намагниченности проведено сравнение с опубликованными экспериментальными данными для ферромагнитного изолятора. В расчете использованы модифицированные граничные условия для контакта с ферромагнитным изолятором, записанные группой Эшрига[3,4].

Литература

1. Wolf M.J., Sürgers C., Fischer G., Beckmann D. Spin-polarized quasiparticle transport in exchange-split superconducting aluminum on europium sulfide // *Phys. Rev. B*. 2014. Vol. 90, № 14. P. 144509.
2. Zhu Y., Pal A., Blamire M.G., Barber Z.H. Superconducting exchange coupling between ferromagnets // *Nat. Mater.* 2017. Vol. 16, № 2. P. 195–199.
3. Ouassou J.A., Pal A., Blamire M., Eschrig M., Linder J. Triplet Cooper pairs induced in diffusive s-wave superconductors interfaced with strongly spin-polarized magnetic insulators or half-metallic ferromagnets // *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7, № 1. P. 1932.
4. Eschrig M., Cottet A., Belzig W., Linder J. General boundary conditions for quasiclassical theory of superconductivity in the diffusive limit: Application to strongly spin-polarized systems // *New J. Phys.* 2015. Vol. 17, № 8. P. 083037.

© Яговцев В.О., 2020 г.

УДК 538.9

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ

Киан М.Ф.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Тонкие нанометровой толщины пленки полиариленфталидов обладают уникальными электронными свойствами, изучение которых имеет большое значение не только для фундаментальной науки, но и для практического использования в устройствах органической электроники. Однако до сих пор мало внимания уделялось изучению стадии формирования полимерной пленки и влиянию окружающей среды на электронные свойства тонкопленочных устройств [1]. В докладе представлены результаты изучения электронных свойств тонких пленок полидифениленфталида при различных условиях их формирования от стадии растворения до стадии конечной твердой пленки.

Экспериментальные образцы имели структуру металл – полимер – металл. В ходе изготовления образцов, полимерные пленки были отожжены в присутствии атмосферы и в вакууме. В данной работе, в качестве метода

исследования был использован метод вольтамперных характеристик. Анализ полученных результатов был проведен в рамках модели инжекционных токов, ограниченных объемным зарядом. Это позволило оценить подвижности и концентрации носителей заряда.

В результате проведенных исследований установлено, что наличие кислорода при формировании пленки приводит к более высокой проводимости (Рис. 1.). Полученные результаты объясняются повышением подвижностей носителей заряда плёнок, изготовленные при присутствии кислорода. В докладе обсуждаются возможные применения данного явления на практике.

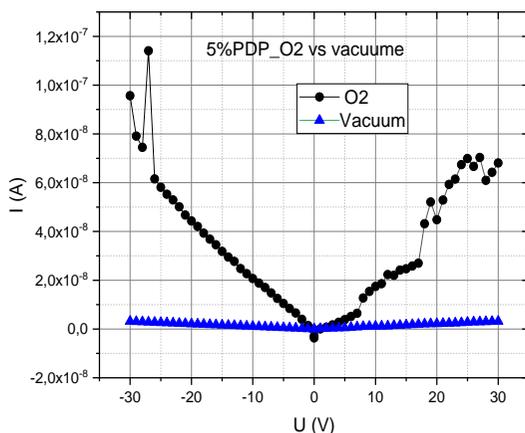


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики тонких полимерных плёнок, изготовленные на воздухе и в вакууме; пленка изготовлена из 5% раствора полидифениленфталид

Литература

1. А.Р. Юсупов, А.Н. Лачинов, Л.Р. Калимуллина, Р.М. Гадиев, Д.В. Никитина //Физика твердого тела, 2019, том 61, вып. 3, С.581-586.

© Киан М.Ф., 2020 г.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ СВЕРХПРОВОДНИКА

Заруднева А.А.

Национальный Исследовательский Университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Миниатюризация электронных устройств, а также увеличение их точности и быстродействия можно назвать одними из наиболее привлекательных задач современных исследований. Применение новых для области эффектов и материалов – стратегия в решении данных задач. Эффект кинетической индуктивности привлекает большой интерес в последнее время не только среди теоретических исследований, но и с точки зрения применения в электронике и оптоэлектронике.

Однако, прежде чем говорить о применении, необходимо изучить зависимость кинетической индуктивности от различных параметров как самого устройства, так и внешней среды, научиться разрабатывать геометрию образцов с заданным значением кинетической индуктивности. Необходимо продумать и отработать технологию изготовления устройств с высоким значением кинетической индуктивности микро и нано размеров из различных сверхпроводящих материалов с применением современных технологий изготовления.

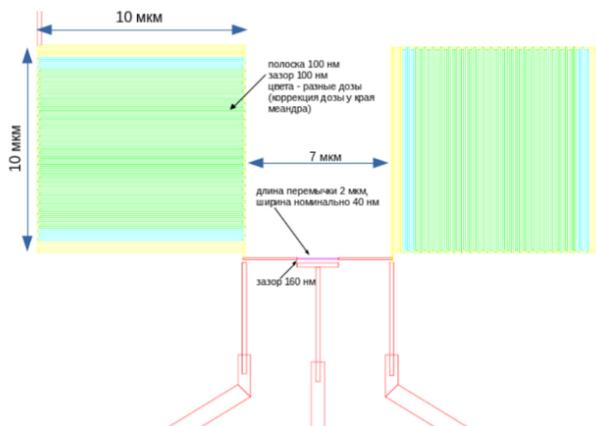


Рис. 1. Структура и взаимное расположение сверхпроводящих тонких пленок

Исследование проводилось в рамках программы Академического фонда Национального «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) в 2019–2020 гг. (Грант № 19-01-050). Выражается благодарность проекту «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

© Заруднева А.А., 2020 г.

МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК МОЛЕКУЛЯРНО ДОПИРОВАННЫХ НЕСОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Карамов Д.Д.^{1,2}, Лачинов А.Н.^{1,2}, Корнилов В.М.², Пшеничнюк С.А.¹,
Лачинов А.А.¹, Галиев А.Ф.¹

ИФМК УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия
БГПУ им. М.Акмиллы, г. Уфа, Россия

В последние годы использование низкомолекулярных органических допантов часто применяется для корректировки (тюнинга) электронных состояний полимерной матрицы, позволяющей управлять электропроводящими свойствами в органических гетероструктурах. Интерес для целей управления процессом генерации и переноса заряда в органической среде могут представлять молекулярные допанты с несколькими энергетически устойчивыми состояниями, переходы между которыми происходят в зависимости от условий взаимодействия с молекулами матрицы. Однако механизмы взаимодействия не всегда предсказуемы. В частности, особый интерес использования в качестве допантов вызывают соединения типа фенолфталеина (ФФ), которые могут находиться в двух устойчивых состояниях нейтральном и заряженном, возникающем в результате взаимодействия с избыточным зарядом среды. Цель исследования – изучение влияния молекулярного допанта с несколькими энергетически устойчивыми состояниями, переходы между которыми происходят в зависимости от условий взаимодействия с молекулами матрицы, на проводимость тонких пленок несопряженных полимеров.

В качестве допанта использованы соединения производных фталида (3-бензелиденфталид, фенолфталеин, 3,3-дифенилфталид-4,4-дикарбоновая кислота), а в качестве полимера выбраны полидифениленфталид и полиметилметакрилат. Субмикронные пленки изготовлены методом центрифугирования из раствора полимера с добавлением молекулярного допанта. Контроль пленкообразующих свойств и морфологических особенностей проведен методом АСМ. Электропроводящие свойства изучены методом измерения ВАХ. Экспериментальные данные проанализированы согласно инъекционной модели ТОПЗ. В докладе будут представлены основные результаты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 19-13-00021.

*© Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Корнилов В.М., Пшеничнюк С.А.,
Лачинов А.А., Галиев А.Ф., 2020 г.*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗОНЫ СВАРНОГО ШВА

Ишбулатова А.И.¹, Лачинов А.Н.^{1,2}, Александров И.В.³

¹Институт физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия

²Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

³Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Целью настоящей работы явилось изучение области сварного соединения полученного сваркой трением металлических образцов методом поверхностного потенциального барьера. Потенциальный барьер формировался с использованием органической диэлектрической пленки субмикронной толщины. Для оценки достоверности полученных результатов измерялась микротвердость образцов по методу Виккерса. Исследование параметров потенциального барьера сформированного на границе раздела Ti/полимерная пленка проводили методом вольт-амперных характеристик (ВАХ).

Многочисленные измерения ВАХ вдоль линий перпендикулярных направлению шва позволили выявить закономерности изменения высоты потенциального барьера, концентрации подвижности носителей заряда в органическом диэлектрике. Вдоль тех же измерительных линий были проведены измерения микротвердости. Установлена корреляция результатов, полученных разными методами. Обсуждается природа осцилляций параметров при удалении места сварки. Представлено объяснение взаимосвязи микротвердости, параметров барьерной структуры Ti/полимер и параметров носителей заряда в органическом диэлектрике.

Таким образом, в работе показана возможность применения метода поверхностного потенциального барьера для исследования сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием.

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

© Ишбулатова А.И., Лачинов А.Н., Александров И.В., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТООБЛУЧЕНИЯ НА ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/ПОЛИМЕР

Панова Н.А.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М Акмуллы, г. Уфа, Россия

Исследования границы раздела двух полимерных диэлектриков показали, что облучение образца ультрафиолетовым светом приводит к росту тока. Механизм роста фототока может быть связан с изменением дипольного момента, который также определяет наблюдаемое в работе [1] длительное послесвечение в тонких пленках полидифениленфталата. Следует также отметить, что аналогичный эффект, роста фототока наблюдается на структурах с полиметилметакрилатом (ПММА). Облучение ПММА используемого в качестве подзатворного диэлектрика в структуре полевого транзистора приводит к существенному улучшению характеристик транзистора за счет изменения дипольного момента вызванного изменением функциональных групп ПММА с $-\text{CH}_3$ на $-\text{COOH}$, что в свою очередь приводит к изменению заряженных состояний вблизи поверхности полимера. Особенностью фотопроводимости границ раздела таких структур является наличие длительной релаксации фотопроводимости. Таким образом, целью настоящей работы является изучение релаксации фотопроводимости в структуре с границей раздела полимер/полимер при различных значениях интенсивности светового потока.

Исследование временных зависимостей фототока показало, что рост тока происходит не мгновенно, а с некоторой задержкой составляющей 5-10 с. В дальнейшем было установлено, что процесс релаксации фототока носит длительный характер. По результатам измерения были проведены оценки времени релаксации, которое составляло от 5 до 30 минут.

В докладе приводятся результаты экспериментальных измерений, а также интерпретация полученных результатов.

Литература

1. Антипин В.А. и др. Рекомбинационная люминесценция пленок полиарилефталидов. II. Послесвечение, инициированное электровозбуждением пленок полиарилефталидов // Химия высоких энергий. – 2010. – Т. 44, № 4. – С. 345-347.

© Панова Н.А., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ

Шагбалова Э.Р.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Оптические исследования органических полупроводников и диэлектриков позволяют получить важную для исследователя информацию. В частности по спектрам поглощения можно сделать оценку ширины запрещенной зоны.

В работе [1] была проведена оценка вклада в изменение спектров фотолюминисценции предыстории образцов и структуры концевых звеньев полимерной цепи. Данная работа чрезвычайно важна в связи с наблюдаемой фотопроводимостью границы раздела полимер/полимер. Как было установлено в работе [2] высокопроводящее состояние на границе раздела полимер/полимер, во многом зависит от наличия боковых фрагментов молекул полидифениленфталида обладающих большим дипольным моментом. Поэтому чрезвычайно важной и актуальной задачей является исследование предыстории изготовления пленок на фотопроводящие свойства границы раздела полимер/полимер.

Для изучения влияния методики изготовления полимерных пленок спектры поглощения были подготовлены полимерные пленки на поверхности кварцевых подложек методом центрифугирования, которые облучались УФ источником с длиной волны 405 нм и находящиеся в электрических полях напряженностями 2,3 и 4 кВ/см.

Исследование спектров поглощения экспериментальных структур показали (что действие электрического поля и облучение тонких пленок оказывает незначительное влияние на спектры поглощения. В частности, на облученных образцах наблюдается понижение интенсивности поглощения.

Литература

1. Антипин В.А., Хурсан С.Л. Химия высоких энергий, 2019, том 53, № 4, с. 280–288
2. Gadiev R. M. et al. Applied Physics Letters. – 2011. – Т. 98. – №. 17. – С. 82.
3. Антипин В. А., Лачинов А. Н., и др. Химия высоких энергий. – 2010. – Т. 44. – №. 4. – С. 340.

© Шагбалова Э.Р., 2020 г.

ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/ПОЛИМЕР ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Юсупов А.Р.¹, Лачинов А.Н.^{1,2}, Карамов Д.Д.², Калимуллина Л.Р.¹

¹Башкирский государственный педагогический университет им. М

Акмуллы, г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Исследование фотопроводимости вдоль границы раздела двух полимерных пленок полидифениленфталата (ПДФ) показало, что основной вклад вносит ультрафиолетовое излучение [1]. Следует отметить, что область поглощения для тонких пленок ПДФ находится в области 250-300 нм. Соответственно, при меньших 405 нм длин волн можно ожидать рост фототока границы раздела. Таким образом, целью данной работы является изучение влияния длины волны на фотопроводимость границы раздела

Были измерены ВАХ при разных длинах волн в диапазоне от 330 нм до 550 нм.

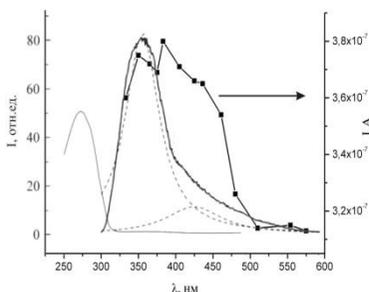


Рис. 1. Спектры поглощения и флуоресценции пленки ПДФ. Тонкая линия – спектр поглощения, жирная спектр флуоресценции при длине волны возбуждения 270 нм.

Квадратиками показаны значения токов при соответствующих длинах волн оптического излучения измеренные при напряжении 20В

Как можно видеть из рисунка 1 с уменьшением длины волны фототок возрастает. Однако при достижении максимума на длине волны 375 нм величина тока уменьшается. Форма полученной зависимости хорошо согласуется со спектром возбуждения тонких полимерных пленок ПДФ представленным на рисунке 1

Литература

1. Юсупов А. Р. и др. Фотопроводимость вдоль границы раздела полимер/полимер //Физика твердого тела. – 2020. – Т. 62. – №. 7. – С. 1111-1115.

© Юсупов А.Р., Лачинов А.Н.,
Карамов Д.Д., Калимуллина Л.Р., 2020 г.

ИЗУЧЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛЬФРАМОВЫХ КАТОДОВ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Нуритдинов Д.Ф., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Задача создания эффективных автоэмиссионных источников электронов заключается в поиске низковольтных и высокостабильных катодов. Основные физические принципы, которые применяются в данное время для снижения порога электронной эмиссии, - это отрицательное электронное сродство или топографическое усиление электрического поля на поверхности катода. Тем не менее у этих материалов имеются существенные недостатки: сложная технология производства, низкая стабильность, высокие электрические поля. В то же время есть работы, которые свидетельствуют о перспективности применения полимерных покрытий как эмитирующих поверхностей [1].

Использование полимерных покрытий для вольфрамовых острых катодов позволило значительно уменьшить эффективную работу выхода, снизить напряжение зажигания и повысить стабильность работы катодов [2]. До сих пор отсутствует сколько-нибудь полное объяснение механизма взаимодействия материала катода и покрытия, приводящего к существенному уменьшению работы выхода.

Идея данной работы состоит в следующем: создать на проводящей поверхности (вольфрамовом острие) тонкую полимерную пленку и реализовать автоэлектронную эмиссию в условиях высокого вакуума. Предполагается, что применение полимерных материалов в качестве эмиссионного покрытия позволит уйти от требований сверхвысокого вакуума и создать эффективные автоэмиссионные катоды для работы в условиях высокого вакуума. Предполагается определить основные параметры: работа выхода, долговечность, стабильность, зависимость эмиссионных свойств от толщины полимерного слоя, от напряженности электрического поля.

Литература

1. I. Musa, D.A.I. Munindrasdasa, G.A.J. Amaratunga, W. Eccleston. Ultra-low-threshold field emission from conjugated polymers. *Nature*, 1998, v.395, №24, p.362-365.
2. Ю.М. Юмагузин, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов. Энергетические распределения электронов в системе металл-полимер-вакуум. *ЖЭТФ*, 130, 303 (2006).

© Нуритдинов Д.Ф., Корнилов В.М., 2020 г.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРАФедоров А.А.^{1,2}, Данилова А.Д.^{1,2}, Сафонов С.С.¹, Логунов М.В.¹¹Институт электроники и радиотехники им. В. А. Котельникова РАН,
г. Москва, Россия²Московский физико-технический институт (технический университет),
г. Москва, Россия

Поиск решений проблемы межсоединений в больших интегральных схемах – актуальная задача микроэлектроники. Традиционные решения основаны на многоуровневой разводке соединений [1], насчитывается до десятков уровней. Сложность межсоединений ограничивает рост производительности процессоров, надежность и стоимость интегральных схем. В качестве перспективного способа решения проблемы активно исследуется возможность перехода от металлических к оптическим межсоединениям [2-4], что позволит исключить перекрестные помехи и многократно повысить пропускную способность.

В данной работе представлены результаты исследований магнитооптических пленок и наноструктур ферритов со структурой граната, наиболее привлекательного материала для невзаимных элементов оптики-на-кристалле благодаря рекордным магнитооптическим эффектам. Невзаимные устройства в виде циркуляторов, интерферометров Маха-Цандера и др. [2-4] в оптике являются аналогами диода – они пропускают световой сигнал только в одном направлении. Нами построена модель оптического изолятора на базе пленок ферритов-гранатов. Изучены спектральные зависимости в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра эффекта Фарадея, магнитного циркулярного и линейного дихроизма пленок нанометровых толщин на гранатовых и кремниевых подложках, результаты использованы для оптимизации модели оптического изолятора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 18-29-27020, 18-52-16006.

Литература

1. Металлизация ультрабольших интегральных схем / Д.Г. Громов и др. М., 2012. – 277 с.
4. Hu, Juejun et al. Monolithic on-chip nonreciprocal photonics based on magneto-optical thin films // Proc. SPIE, 2016, v. 9750, p. 97500W.
5. Višňovský, Š. Nonreciprocal propagation in optical fibers // Japan. J. Appl. Phys., 2020, v. 59, p. SEEB01.
6. Никитов, С.А. и др. Диэлектрическая магноника — от гигагерцев к терагерцам // УФН, 2020, т. 190, с 1009.

© Федоров А.А., Данилова А.Д., Сафонов С.С., Логунов М.В., 2020 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЕВ МЕТОДОМ
АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ
С ПРОВОДЯЩИМ ЗОНДОМ**

Сигагатова Э.А., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акумлы, г. Уфа, Россия

Эффективным инструментом экспериментального исследования локальных электрофизических свойств ультратонких диэлектрических полимерных пленок является метод атомно-силовой микроскопии с проводящим зондом. Знание взаимосвязи микроструктуры полимерного пленочного образца и его электронных свойств может обладать ценным предсказательным качеством при проектировании каких-либо электронных устройств. Эта методика позволяет производить одновременное картографирование морфологии поверхности и регистрацию электрических неоднородностей в пленке полимера.

Для исследования было предложено исследовать полимерную пленку, изготовленную на металле. Часть полимерной пленки механически удалялась для одновременного наблюдения полимерной пленки на металле и чистого металла. Было получено изображение морфологии поверхности исследуемого образца при разных режимах регистрации. Построение профиля позволило определить толщину пленки. Значение толщины пленки составило 56 нм.

В режиме поддержания постоянной силы взаимодействия кантилевера с образцом. Токовые особенности носят характер "тока смещения". Многочисленные исследования показали, что в данном случае реальные токи не наблюдаются. На следующем этапе был использован режим работы с неконтролируемой силой прижима кантилевера к образцу, в области металла наблюдаются большое количество мест протекания тока. За пределами чистого металла протекание тока не происходит.

Таким образом, было установлено, что в режиме поддержания постоянной силы ни на полимере, ни на металле токовые особенности не регистрируются. В режиме работы с неконтролируемой силой в области металла наблюдается токопроводящие каналы в виде резких пиков, соответственно на полимере токовые особенности не регистрируются.

Литература

1. Д.Д. Карамов, В.М. Корнилов, А.Н. Лачинов, В.А. Крайкин, И.А. Ионова. Атомно-силовая микроскопия субмикронных пленок электроактивного полимера. ЖТФ, 2016, т. 86, № 7.

© Сигагатова Э.А., Корнилов В.М., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЕВ

Усманова К.З., Корнилов В.М.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию электронных транспортных свойств двумерного граничного слоя, образованного двумя пленками органического полимерного материала. Было установлено, что электропроводность этого слоя на несколько порядков превышает поверхностную проводимость отдельных пленок. По некоторым данным двумерный транспортный слой обладает свойствами квазидвумерного электронного газа. С помощью атомно-силовой микроскопии можно получить информацию о рельефе и метрологических характеристиках образцов с транспортным слоем. Для формирования транспортного слоя использовалось два метода, отличающиеся последовательностью нанесения слоев. Для визуализации границы раздела двух полимерных пленок было предложено произвести деформацию образца. При достаточно большой толщине пленки можно процарапать ее поверхность и разломить пленку в месте царапины. Было получено АСМ-изображение скола полимерной пленки на кремниевой подложке, обнаружено, что слой при этом имеет различную структуру. Профиль поверхности в месте разрыва позволил оценить толщину (946 нм) полимерного слоя. Более детальные исследования показали, что при последовательном нанесении полимерных слоев между ними формируется граница раздела, имеющая конечную толщину порядка 15 нм. Таким образом, было установлено, что формирование транспортного слоя зависит от условий нанесения пленок. Для получения более точных результатов лучше наносить раствор на раскрученную подложку, что обеспечивает меньшее растворение слоев. Толщина переходного слоя, сформированного на границе между двумя пленками, оказалась равной 14.74 нм, что является сопоставимым с толщиной слоя боковой фталидной группировки.

Литература

1. А. Н. Лачинов, Н. В. Воробьева. Электроника тонких слоев широкозонных полимеров. УФН, 2006, т. 176, № 12, с. 1249.
2. Gadiev R.M., Lachinov A.N., Salikhov R.B., Rakhmiev R.G., Kornilov V.M., Yusupov A.R. The conducting polymer/polymer interface. Applied Physics Letters, 2011, vol. 98, №17, p.173305.

© Усманова К.З., Корнилов В.М., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОТЫ ВЫХОДА МЕТАЛЛА В ОБЛАСТИ ЕГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Солодовников Р.А.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М Акмуллы, г. Уфа, Россия

В данном докладе представлены результаты исследования проводимости плёнки в структуре нитинол/ПДФ/индий в области фазового превращения нитинола. Основным методом исследования являлся метод вольт-амперных характеристик (ВАХ).

Для проведения исследования была изготовлена структура нитинол/ПДФ/индий, где полидифениленфталид был нанесён методом центрифугирования на поверхность нитинола. Индий наносился на поверхность плёнки из расплава. Переход нитинола из одного фазового состояния в другое производилось посредством изменения температуры на нагревателе.

ВАХ измерялись с помощью регулируемого источника тока GwInstekPSM-6003 и вольтметра Agilent-34401A. Графики зависимости и значения тока и напряжения получались в программе LabView. Полученные данные были отображены в графиках зависимости тока от приложенного напряжения.

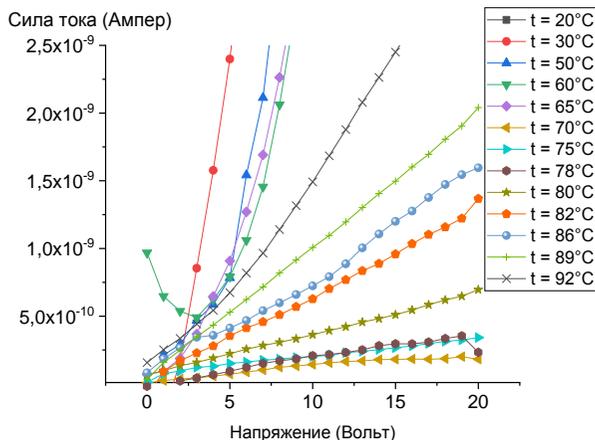


Рис. 1. График зависимости силы тока от напряжения при нагревании

На рис.1 представлены типичные ВАХ при нагревании образца до 92°C. На графике видно, что при 70°C происходит резкое уменьшение проводимости структуры.

Анализ полученных функциональных зависимостей тока от приложенного напряжения показал, что в данном случае применим подход, используемый в формализме моделей токов, ограниченных объемным зарядом. В рамках этих моделей можно провести оценки таких параметров, как подвижность инжектированных носителей заряда:

$$\mu = J \cdot L^3 / \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n^2 \quad (1)$$

концентрация равновесных носителей заряда:

$$n_0 = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot U_n / e \cdot L^2, \quad (2)$$

где J - плотность тока, L - расстояние между электродами, ε - диэлектрическая проницаемость материала, U_n - напряжение, соответствующее точке перехода.

Используя теорию Ричардсона-Шоттки, можно оценить высоту потенциального барьера:

$$\varphi_{B_n} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_s}\right), \quad (3)$$

где A^* - эффективная постоянная Ричардсона, A – площадь протекания тока; T - температура, при котором проводился эксперимент, k - постоянная Больцмана, q - заряд электрона.

На основе полученных данных были рассчитаны такие параметры, как подвижность носителей заряда (1), концентрация носителей заряда (2) и высота потенциального барьера (3) в соответствии с приведёнными формулами. Подвижность носителей заряда изменяется с $6,05 \cdot 10^{-4}$ см²/(В*с) до $2,65 \cdot 10^{-5}$ см²/(В*с) с резким уменьшением при 70°С. Концентрация носителей заряда изменяется с $9,22 \cdot 10^{14}$ м⁻³ до $3,23 \cdot 10^{15}$ м⁻³ без заметных скачков в области фазового перехода. Высота потенциального барьера изменяется с 0,09 эВ до 0,27 эВ без резких скачков.

В ходе данной работы было установлено, что при фазовом переходе в нитиноле происходит резкий скачок подвижности носителей заряда и уменьшение силы тока.

В докладе обсуждается интерпретация полученных результатов исследования, а также перспективы практического применения.

Работа выполнена при поддержке совместного с НИУ ВШЭ проекта «Зеркальные Лаборатории».

© Солодовников Р.А., 2020 г.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА

Севостьянова Е.Г.

Башкирский государственный педагогический университет
им. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Исследование электроактивных полимеров связано с перспективами применения данных материалов в современных электронных устройствах. В большинстве случаев, исследуются материалы, ограниченные в объеме, такие как полиарилефталиды, в которых наблюдается эффект электронного переключения, т.е. переход полимера из диэлектрического состояния в высокопроводящее [1].

Объектом исследования был выбран полидифениленфталид (ПДФ). В качестве источника монохроматического излучения были выбраны лазеры мощностью 5 мВт и длинами волн 405нм, 520нм и 650нм. Измерения проводились последовательно в темновом режиме, зеленом и фиолетовом облучении. Было установлено, что ток в отсутствие освещения и освещении зеленым лазером существенно отличаются от тока при освещении фиолетовым лазером. Исследования структур показало, что образец после освещения возвращается в исходное состояние в течении длительного времени.

Анализ полученных результатов влияния ультрафиолетового излучения на свойства границы раздела полимер/полимер показал, что электропроводность границы раздела и подвижность носителей заряда возрастает. Наблюдается длительный процесс возвращения образца в исходное состояние после отключения источника УФ.

Литература

1. Антипин, В. А., А. Н. Лачинов, Д.А. Мамыкин, А. А. Ковалёв, С. С. Остахов, В. В. Шапошникова, С. Н. Салазкин, В. П. Казаков.// Химия высоких энергий, 2010 - Т. 44, № 4, С. 345–347.

© Севостьянова Е.Г., 2020 г.

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 620.179.14

К ВЫЯВЛЕНИЮ ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО НАПРЯЖЕННОМУ СОСТОЯНИЮ МЕТАЛЛА

Мардамшин В.Р., Загидулин Р.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Дефекты сплошности сварных соединений и стресс-коррозионные трещины в стальных трубопроводах являются концентраторами механических напряжений и создают опасность разрушения металла.

На практике неразрушающего контроля опасность дефекта сплошности, выявленного при дефектоскопии стального трубопровода, определяется на основе сравнения его линейных размеров с пороговыми значениями, что не всегда надежно.

Известно, что около опасных дефектов сплошности формируется область с повышенным напряженным состоянием металла. Контролируя фактическое напряженное состояние металла и сопоставляя его с линейными размерами дефектов, полученными при дефектоскопии стальных труб, можно уверенно оценивать опасность дефектов металла [1].

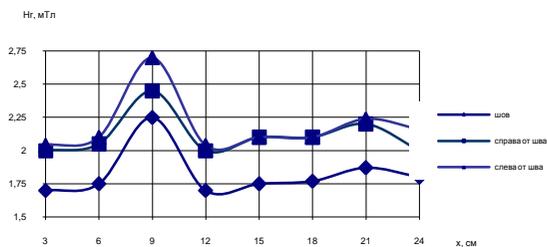
Магнитный контроль напряженного состояния сварных соединений стального трубопровода можно проводить индикаторами механического напряжения металла ИН-01м и ИН-02, принцип работы которых основан на корреляции остаточной намагниченности и эффективных механических напряжений металла [2]. В работе [1] показано, что с помощью индикаторов механического напряжения можно надежно обнаруживать зоны пластичности металла, формируемые при вершинах краевых трещин. Несмотря на то, что дефекты сплошности залегают на большой глубине (до 6- 8 мм), зоны пластичности при вершинах трещин достигают поверхности стальной трубы и уверенно регистрируются преобразователями магнитного поля индикаторов механического напряжения металла.

На рис. 1а показано распределение напряженности поля остаточной намагниченности металла, полученное над кольцевым сварным швом стальной трубы с толщиной $t = 6$ мм, где в результате рентгеновского контроля были обнаружены внутренние поры в точках с координатами $x = 90$ мм...150 мм (рис. 1б). В распределении напряженности поля остаточной намагниченности имеется максимум, совпадающий с месторасположением дефекта в сварном шве, который является концентратором механических напряжений металла, зона пластичности которого достигает поверхности.

На рис. 1а приведены также графики распределения напряженности поля остаточной намагниченности, измеренные вдоль околошовной области стальной трубы, с отступом по обе стороны от сварного шва на ± 30 мм.

Характер распределения напряженности поля остаточной намагниченности над кольцевым сварным швом и в околошовной области одинаков, при этом разница амплитуд, измеренных над сварным швом и в околошовной области меняется в интервале $\pm 20\%$.

а)



б)



Рис.1. Распределение напряженности поля остаточной намагниченности (а) кольцевого сварного шва и его рентгенограмма (б)

Эти результаты показывают, что магнитный контроль напряженного состояния сварного соединения стальной трубы можно проводить также вдоль около шовной области, где влияние дефектов сплошности сварного шва на напряженное состояние металла остается весьма значительным.

Литература

1. Мардамшин В.Р., Бакиев Т.А., Загидулин Т.Р., Загидулин Р.В. Исследование возможности магнитного контроля напряженного состояния металла и сварных соединений стальных трубопроводов. - Нефтегазовое дело, 2018, т.16, №2, с.139-146.
2. Загидулин Т.Р., Загидулин Р.В. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций индикатором механического напряжения металла ИН-02 сканирующего типа. - Нефтегазовое дело, 2017, т.15, №4, с.143-149.

© Мардамшин В.Р., Загидулин Р.В., 2020 г.

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАД ГРУППОЙ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В МЕТАЛЛЕ

Бакиев А.Т., Загидулин Р.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Для обнаружения стресс-коррозионных трещин и коррозионных повреждений металла стальных газопроводов применяются технические средства вихретокового контроля стальных изделий (портативные дефектоскопы, ручные и автоматизированные сканеры) [1-2].

Известно, что стресс-коррозионные трещины в металле стальных газопроводов образуют локализованные группы трещин (около сварных соединений, зон с повышенным напряженным состоянием металла и т.д.), с линейными размерами в определенном диапазоне значений и с некоторым интервалом относительно друг друга.

Исследования сигналов вихретоковых преобразователей (ВТП) над группами стресс-коррозионных трещин в металле показали, что форма и величина сигнала ВТП над группой трещин может существенно отличаться от формы сигнала ВТП над отдельной трещиной [3]. При близком расположении группы дефектов наблюдается их пространственное неразрешение по сигналу ВТП (они не разделены для восприятия). На практике это ведет к тому, что сигнал ВТП над группой трещин воспринимается как сигнал от отдельной трещины, но с большей глубиной, чем в действительности.

Это приводит к ошибочной оценке опасности обнаруженных стресс-коррозионных трещин в металле и к перебраковке стальных труб, содержащих такие дефекты сплошности при технической диагностике.

Комплексный анализ сигналов накладных ВТП над группой трещин в металле, не разрешающихся в пространстве, показал, что существует информативный параметр сигнала ВТП, зависящий от количества дефектов сплошности - полуширина сигнала абсолютного трансформаторного накладного ВТП (здесь мы определяем этот параметр как половину ширины сигнала z , измеренная на уровне половины максимума сигнала ВТП), или половина расстояния между экстремумами сигнала дифференциального параметрического накладного ВТП.

Из теоретической модели сигнала накладного ВТП над группой трещин [3] следует, что в первом приближении полуширина сигнала накладного ВТП z над группой n узких трещин, расположенных с постоянным интервалом Δ , может быть определена по формуле:

$$z = z_1 + \Delta(n-1)/2, \quad (1)$$

где z_1 – полуширина сигнала накладного ВТП над отдельной трещиной в

металле (экспериментально полученное значение $z_1 \approx 2.7$ мм).

В формуле (1) параметр $\Delta(n-1)$ равен ширине группы трещин (расстояние между крайними трещинами) на поверхности металла. На рис. 1 показана экспериментально полученная зависимость полуширины сигнала накладного ВТП над группой дефектов сплошности от ширины группы трещин $\Delta(n-1)$.

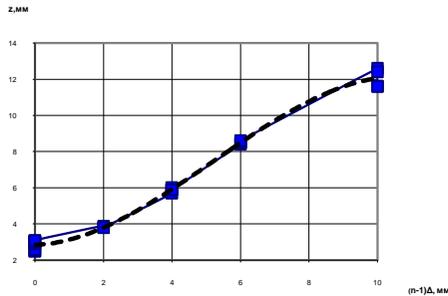


Рис. 1. Зависимость полуширины сигнала накладного ВТП (диаметр сердечника $D=1.8$ мм) от ширины группы трещин в металле

Эта зависимость интерполируется полиномом второго порядка (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,99$), которая качественно хорошо согласуется с формулой (1):

$$z = 2.7109 + 0.7864 \Delta(n-1) + 0.016 \Delta^2 (n-1)^2. \quad (2)$$

Из формул (1)-(2) следует, что если полуширина сигнала накладного ВТП z превышает полуширину сигнала над отдельной трещиной z_1 ($z > z_1$), то можно заключить, что группа трещин в металле содержит не менее 2 дефектов сплошности (то есть, $n \geq 2$). Однако следует заметить, что величина интервала между отдельными дефектами сплошности Δ не может быть определена точно.

Литература

1. Федосенко Ю.К., Шкагов П.Н., Ефимов А.Г. Вихретоковый контроль. – ИД «Спектр», 2011. – 224 с.
2. Загидулин Р.В., Бакиев А.Т. Моделирование сигнала вихретокового преобразователя над стресс-коррозионными трещинами магистрального газопровода. - Современные проблемы физики: межвузовский сборник научных статей, посвященный 100-летию открытия Уфимского Физического института /отв. ред. М.Х. Балапанов. - Уфа: РИЦ БашГУ, 2019, с.99 - 102.

© Бакиев А.Т., Загидулин Р.В., 2020 г.

К ВОПРОСУ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Якшибаев Б.Р., Бакиев Т.А.

Уфимский нефтяной государственный технический университет,
г. Уфа, Россия

Размагничивание стальных изделий после проведения магнитной дефектоскопии является обязательной технологической операцией. Особенно важную роль этот процесс играет после магнитного контроля крупногабаритных объектов, таких как стальные трубопроводы, резервуары и т.д.

Исследования показали, что предельное значение остаточной магнитной индукции в разделке (область между кромками) стальных труб, не оказывающее влияния на процесс сварки должна быть не более $B_{\min} = 3$ мТл. Расчеты показывают, что в этом случае пондемоторная сила, действующая на дугу электрической сварки от стороны магнитного поля стальной трубы, не превышает $F \leq 4.1$ Н [1].

Анализ способов размагничивания металлов показал, что для размагничивания стальных трубопроводов, имеющих большие протяженности, наиболее эффективным и рациональным является компенсационный способ, заключающийся в снижении остаточной намагнитченности металла дозированным компенсирующим постоянным магнитным полем [1]. При этом процесс размагничивания стальных труб состоит из 2 этапов и реализуется внутритрубным размагничивающим устройством (РУ), состоящим из 3 магнитных полюсов [2].

Эффективность этого подхода показывает рис.1, где приведено распределение напряженности поля остаточной намагнитченности металла, измеренное в разделке стальных труб, до и после прохождения макета внутритрубного РУ. Напряженность поля остаточной намагнитченности распределена однородно вдоль поверхности разделки стальной трубы и многократно превышает допустимую величину поля H_n (рис.1а). После размагничивания металла стальных труб РУ (рис.1б), напряженность поля остаточной намагнитченности в разделке стальной трубы уменьшается, не превышает допустимую величину H_n в разделке и меньше ее в 3-4 раза.

Следует заметить, что этот тип РУ может применяться также и для размагничивания других видов нефтегазового оборудования, имеющих ограниченные размеры. С учетом этого обстоятельства, следует выделить два класса РУ:

- внутренние, когда РУ располагается внутри оборудования (например, РУ внутри стального трубопровода большого диаметра, оборудованного камерами запуска-приема);

а)

б)

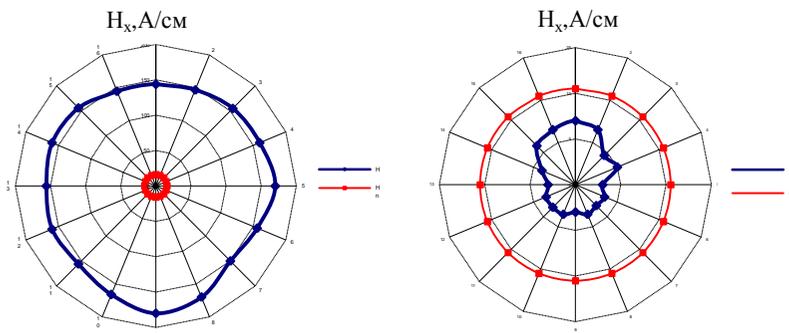


Рис. 1. Распределение напряженности поля остаточной намагниченности по периметру разделки стальных труб до (а) и после размагничивания металла (б)

- наружные, когда РУ располагается снаружи оборудования (например, РУ охватывает трубы НКТ и штанги, имеющие сравнительно малые диаметры).

При создании РУ следует также учесть, что на практике технической диагностики нефтегазового оборудования (стальных трубопроводов, НКТ и штанг) возникает ситуация, когда однотипный объект изготовлен из разных марок конструкционных сталей, идентичных по механическим свойствам, но различных по магнитным свойствам. В данном случае следует обратить внимание на величины релаксационных коэрцитивных сил, присущих маркам стали нефтегазового оборудования.

Для одинакового размагничивания всех марок сталей, входящих в состав оборудования, следует проводить расчеты магнитной системы РУ, исходя из минимальной величины релаксационной коэрцитивной силы.

Литература

1. Загидулин Р.В., Якшибаев Б.Р., Загидулин Т.Р. Исследование и расчет устройства внутритрубного размагничивания стального трубопровода (УВР). 1. О магнитном состоянии магистрального стального трубопровода. – Контроль. Диагностика, 2009, №12, с.8-12.
2. Якшибаев Б.Р., Бакиев Т.А. Снижение остаточной намагниченности стального трубопровода – задача неразрушающего контроля. - Современные проблемы физики: межвузовский сборник научных статей, посвящённый 100-летию открытия Уфимского Физического института /отв. ред. М.Х. Балапанов. - Уфа: РИЦ БашГУ, 2019, с.232-236.

© Якшибаев Б.Р., Бакиев Т.А., 2020 г.

ФОРМИРОВАНИЕ (УЛЬТРА)МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ЛИТОМ СПЛАВЕ СИСТЕМЫ Al-Mg-Sc-Zr ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКЕ

Атанов Б.И., Ситдииков О.Ш., Автократова Е.В., Маркушев М.В.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Исследованы механизмы измельчения зерен в литом сплаве Al-Mg-Sc-Zr 1570С во время всесторонней изотермическойковки (ВИК), проводимой до степени деформации 8,4 при 325°С (около 0,65Т_{пл}) и 10⁻⁴ с⁻¹. В исходном состоянии сплав имел равноосную зеренную структуру с размером зерен 25 мкм и равномерным распределением когерентных дисперсоидов Al₃(Sc,Zr) диаметром 20-50 нм с плотностью их распределения 5×10³ мкм⁻³. Показано, что процесс измельчения зерен при высокотемпературной ВИК сплава был близок к процессам, которые обычно наблюдаются при низкотемпературной интенсивной пластической деформации. А именно, особенностью структурных изменений на ранних стадиях ВИК было формирование больших деформационных градиентов и локальных разориентаций кристаллической решетки с последующим развитием деформационных полос и/или полос микросдвига. Из-за изменения оси приложения нагрузки при ВИК, такие полосы развивались в различных направлениях и фрагментировали исходные зерна. С дальнейшим увеличением деформации количество деформационных полос и разориентации их границ постепенно увеличивались, что в конечном итоге приводило к формированию УМЗ структуры с размером кристаллитов около 1,7 мкм. При этом размер новых зерен примерно соответствовал размеру субзерен, формирующихся на ранних стадиях ВИК, а средняя разориентировка межкристаллитных границ непрерывно увеличивалась с увеличением степени деформации. Было сделано заключение, что формирование новых зерен происходило по механизму непрерывной динамической рекристаллизации и контролировалось наноразмерными выделениями Al₃(Sc,Zr), которые оставались в основном стабильными при высокотемпературной деформации и не теряли когерентности с окружающей матрицей. Эти дисперсные частицы даже в условиях повышенных температур деформации эффективно подавляли миграцию границ зерен, а также обеспечивали накопление дислокаций, приводя к образованию дислокационных границ высокой плотности и их трансформации в высокоугловые границы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 16-19-10152-П.

© Атанов Б.И., 2020 г.

ТВЕРДОФАЗНАЯ СВАРКА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ В УСЛОВИЯХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ¹Галиева Э.В.¹, Классман Е.Ю.¹, Булахтина М.А.²,Бикмухаметова А.А.¹, Ахунова А.Х.¹¹Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия²Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва, Россия

В работе представлены результаты системных исследований сварки давлением (СД) в условиях сверхпластичности деформируемого никелевого сплава ЭП975 с мелкозернистой или ультрамелкозернистой структурой дуплексного типа с литыми интерметаллидными сплавами типа ВКНА на основе Ni₃Al с монокристаллической структурой [1,2]. Вся деформация локализуется в сплаве ЭП975, а степень деформации интерметаллидного сплава не превышает 1%, что важно для сохранения его монокристаллической структуры и максимальных жаропрочных свойств. На примере высоколегированного сплава ЭП975, показано что соединение в твердой фазе между сплавами ЭП975 и ВКНА-25 может быть получено в широком температурно-скоростном интервале СП (950...1175 °С). При чем, формирование ультрамелкозернистой структуры в сплаве ЭП975 позволяет снизить температуру СД до 950 °С. Установлено, что после СД, а также после СД и термической обработки прочность сварных образцов с при комнатной температуре составляет ~0,7-1,0 σ_b от прочности сплава ВКНА-25, разрушение происходит либо по линии соединения либо по основному сплаву ВКНА-25 (который является менее прочным при комнатной температуре) в зависимости от условий СД. Повышение температуры, степени деформации, а также проведение термической обработки повышают прочность соединения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФ № 18-19-00685.

Литература

1. Патент РФ №2608118 Способ изготовления биметаллического изделия / Валитов В.А., Мулюков Р.Р., Оспенникова О.Г., Поварова К.Б., Базылева О.А., Галиева Э.В., Лутфуллин Р.Я., Овсепян С.В., Дмитриев С.В., Ахунова А.Х., Дроздов А.А., Мухаметрахимов М.Х.; заявитель и патентообладатель ИПСМ РАН. - опубл. 13.01.2017, Бюл. 2.
2. Дроздов А.А., Поварова К.Б., Валитов В.А., Галиева Э.В., Аргинбаева Э.Г., Базылева О.А., Булахтина М.А., Раевских А.Н. Влияние температуры сварки давлением деформируемого никелевого сплава ЭП975 и монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА-25 на строение и свойства сварных образцов // Металлы. 2020. № 4. С. 48–55.

© Галиева Э.В., Классман Е.Ю., Булахтина М.А.,
Бикмухаметова А.А., Ахунова А.Х., 2020 г.

ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В AgCuS

Давлетшина А.Д., Батршина Г.С.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время явление возникновения суперионного состояния объясняется с точки зрения особенностей строения кристаллической структуры, дефектной структуры, разупорядоченности и т.д. В ряде работ возникновение высокоподвижного состояния катионов связывается с особенностями строения зонной структуры. Отсутствие системного подхода при рассмотрении высокой подвижности катионов с точки зрения электронной структуры и особенностей химической связи, делает актуальными исследования в данной области.

Расчет распределения электронной плотности в AgCuS был выполнен в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала в базе плоских волн, реализованный в программном пакете Quantum Espresso [1]. На рис. 1 представлено распределение электронной плотности в плоскости (110) в твердом растворе AgCuS.

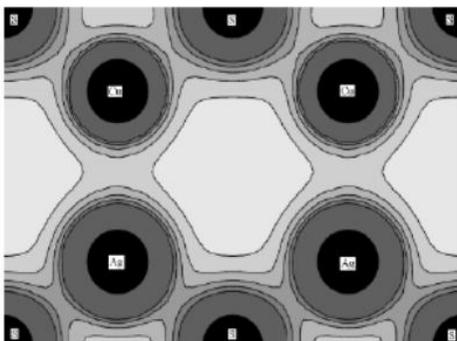


Рис. 1. Распределение электронной плотности в AgCuS

Электронная плотность характеризуется наличием общих контуров электронных оболочек, что свидетельствует о существовании гибридизации электронных состояний катиона и аниона. При этом между атомами в направлении Ag-S наблюдается большее перекрытие электронных оболочек, чем в направлении Cu-S. Распределения электронной плотности показывает преимущественно ковалентный характер химической связи в AgCuS.

Литература

1. Quantum-ESPRESSO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.quantum-espresso.org>.

© Давлетшина А.Д., Батршина Г.С., 2020 г.

УДК 538.

ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ХИМИЧЕСКОЙ ДИФФУЗИИ $Ag_xCu_{2-x}Te$ ($x=0.05$)

Баишева А.Х., Ишембетов Р.Х.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

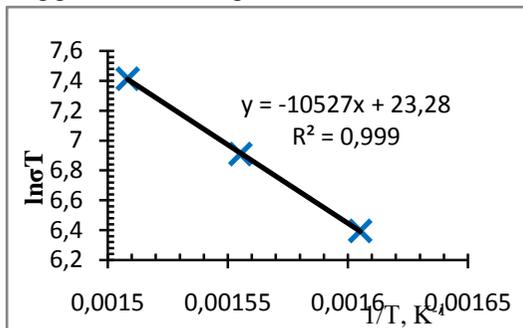
Изучение свойств твердых тел очень важно для многих обширных разделов современной науки – физики и химии твердого тела, кристаллохимии, материаловедении. В работе исследуется ионная проводимость и коэффициент химической диффузии $Ag_xCu_{2-x}Te$ ($x=0.050$) в области температур 330–430⁰С. Образцы $Ag_xCu_{2-x}Te$ получили методом высокотемпературного твердотельного синтеза в вакуумированных до давления $\sim 10^{-3}$ Па ампулах.

Использовалась методика измерения ионной проводимости, разработанном К. Вагнером применительно к проводникам со смешанной ионно-электронной проводимостью, одна из составляющих тока подвляется соответственно подобранными электродами. При использовании ячейки ток через образец в стационарном состоянии переносится только ионами Cu^{+} , так как электронный ток блокируется на $Cu/CuBr$ зондах, что приводит к явлению концентрационной поляризации. Плотность тока не превышало $1\text{mA}/\text{cm}^2$, чтобы падение напряжения на длине образца не превышало потенциала разложения фазы (около 450 мВ). По теории Вагнера для плотности тока в смешанном проводнике можно написать, $\sigma_i = \frac{IL}{SAU_i^t}$ При пропускании постоянного тока через ячейку в

образце происходит процесс поляризации, вызванный блокированием электронных дырок на межфазовой границе образец/ $CuBr$. В момент включения тока приходят в движение и катионы и электронные дырки, сопротивление образца в этот момент минимально. С течением времени дырки скапливаются у катода, возникает диффузионный поток дырок, встречный дрейфовому потоку дырок. Суммарный поток дырок в направлении катода уменьшается. Сопротивление образца возрастает, разность потенциалов между зондами с течением времени растет. Рост разности потенциалов продолжается до тех пор, пока диффузионный поток дырок не станет равным дрейфовому потоку дырок. Этому соответствует область насыщения на кривой поляризации. Ток дырок здесь отсутствует, сопротивление образца электрическому току максимально.

В области насыщения кривой поляризации проводимость осуществляется только ионами Cu^{+} . Когда устанавливается стационарное состояние, по разности потенциалов между ионными зондами можно измерить ионную проводимость.

При выключении тока исчезает омическая разность потенциалов ($i \cdot R$), внешнего электрического поля нет, но остается внутреннее электрическое поле, так как остается градиент концентрации дырок, и связанный с ним (в силу принципа электронейтральности) градиент концентрации катионов. Следовательно, через образец в отсутствие внешнего электрического поля продолжает идти диффузионный ток. Поэтому разность потенциалов не сразу падает до нуля, а спадает с некоторой скоростью, определяемой коэффициентом сопряженной химической диффузии дырок и катионов.



Процесс диффузии заканчивается, когда исчезает градиент концентрации катионов и дырок по длине образца. По кривым концентрационной поляризации при разных температурах получаем температурную зависимость ионной проводимости. Ниже

приведена одна из таких зависимостей. Согласно уравнению Аррениуса наблюдается линейный характер зависимости. По тангенсу угла наклона прямой $\ln(\sigma_i T) = f(1/T)$ можно определить энергию активации E_a ионной проводимости из соотношения $E_a = -k \cdot \text{tg} \varphi$, где $k = 8.62 \cdot 10^{-5}$ эВ - постоянная Больцмана.

Коэффициенты химической диффузии находили из графиков зависимостей логарифма ионной разности потенциалов ΔU_{ii} от времени при разных температурах. За начало отсчета времени принят момент выключения тока через ячейку

Литература

1. Н.Х. Абрикосов, В.Ф. Банкина, Л.В. Порецкая, Е.В. Скуднова, С.Н. Чижевская. *Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. М.: Наука, (1975). 220 с.*
2. Lorenz J., Wagner C. Investigations on Cuprous Selenides and Cuprous Tellurides /J. Chem. Phys. 1957. V. 26, №6. P. 1607 - 1608.

© Башиева А.Х., Ишембетов Р.Х., 2020 г.

УФЭ СПЕКТРЫ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ $Zn(acac)_2$

Чех А.В., Короченцев В.В., Вовна В.И.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Методами ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (HeI) и теории функционала электронной плотности (CAM-B3LYP/ cc-pVTZ) исследована электронная структура ацетилацетоната цинка- $Zn(acac)_2$. Интерпретация УФЭ спектра валентной области основана на выполнении условия одноэлектронной ионизации в приближении расширенной теоремы Купманса $I_v(i) = -\epsilon(i) + \delta_{cp}$, однако сложная электронная структура комплекса усложняет отнесение полос УФЭ спектра. Для повышения информативности спектров выполнено их контрастирование 2-й производной, интерпретация спектров выполнена с использованием расчетов в приближении внешневалентных функций Грина (OVGF).

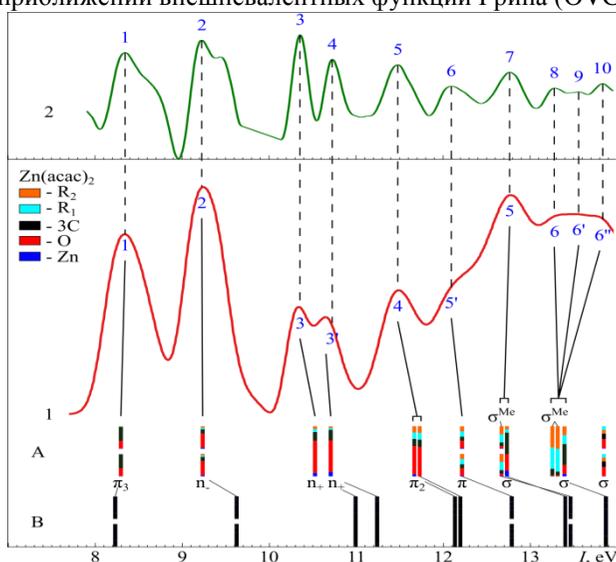


Рис. 1. УФЭ спектр $Zn(acac)_2$ -1), контрастированный спектр - 2)

На рис. 1 представлено отнесение полос. На шкалу нанесены рассчитанные электронные состояния УФЭ-спектра 1А)- метод DFT/CAMB3LYP/cc-pVTZ,1 В) - метод OVGF/cc-pVDZ.) контрастирование второй производной Цветами показаны Малликовские вклады (%) атомов и заместителей в МО.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Грант №0657-2020-0003.

© Чех А.В., Короченцев В.В., Вовна В.И., 2020 г.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ В КРЕМНИИ

Тебеньков А.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

В работе приведены данные о релаксации проводимости кремния вблизи инициированных давлением фазовых переходов. Кремний имеет два фазовых перехода первого рода в диапазоне давлений от 20 до 50 ГПа [1]. Для исследований использовали камеру высокого давления с алмазными наковальнями типа «закругленный конус-плоскость» [2].

В ходе эксперимента измеряли зависимости электросопротивление образца от времени при фиксированном. Вдали от давлений фазовых переходов электросопротивление со временем меняется по закону, хорошо описываемому суммой двух экспонент. При приближении к давлению фазового перехода наблюдается увеличение флуктуаций и случайных выбросов в измеряемом электросопротивлении. И в некоторой окрестности перехода кинетику релаксации уже нельзя описать экспоненциальными зависимостями (рисунок 1 а и б).

По полученным результатам были определены времена релаксаций для каждого давления, результат показан на рисунке 1в. На нем же указаны пунктиром границы существования фаз высоких давлений согласно [1].

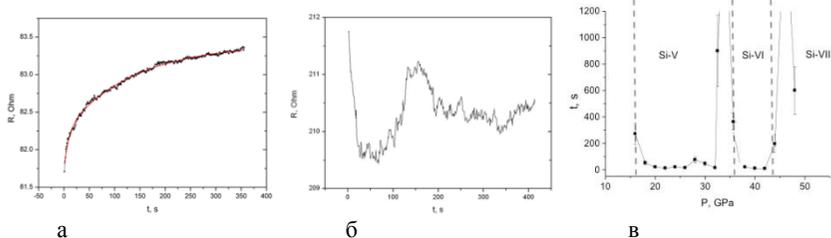


Рис. 1. Зависимость электросопротивления кремния от времени при давлениях 40(а), 34(б) ГПа; Зависимость времени релаксации электросопротивления кремния от давления (в)

Области с низкими временами релаксации соответствуют областям стабильного кристаллического состояния. Области структурных превращений имеют протяженность около 2 ГПа.

Литература

1. Hanfland M., Schwarz U., Syassen K., Takemura K. Crystal Structure of the High-Pressure Phase Silicon VI // Phys. Rev. Lett. American Physical Society, – 1999. – Vol. 82, № 6. – P. 1197–1200.
2. Tikhomirova, G. V., Teben'Kov, A. V., Volkova, Y. Y., & Babushkin, A. N. (2012) // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2012, 76(3), 342-344.

© Тебеньков А.В., 2020 г.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ НА БАЗЕ CdAs₂ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 50 ГПа

Тебеньков А.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Система CdAs₂ – ZnAs₂ представляет собой твердый раствор с ограниченной взаимной растворимостью до 6% молярных. В качестве объектов исследования были выбраны два состава Cd_{0,97}Zn_{0,03}As₂ и Cd_{0,95}Zn_{0,05}As₂. С увеличением количества атомов цинка параметры кристаллической решетки раствора уменьшаются по сравнению с исходным диарсенидом кадмия [1].

Для исследований использовали камеру высокого давления с алмазными наковальными типа «закругленный конус-плоскость». Фазовые переходы фиксировались косвенным методом по совокупности изменений электрических характеристик, таких как электропроводность, энергия активации проводимости, термоЭДС, поперечное магнитосопротивление.

Исходя из анализа барической зависимости электросопротивления можно сделать следующие выводы. Добавление 3% атомов цинка в диарсенид кадмия приводит к снижению давлений переходов на 4 ГПа с сохранением качественных зависимостей электросопротивления. Добавление 5% атомов цинка приводит к более существенным изменениям в барической зависимости и смещению переходов в область высоких давлений.

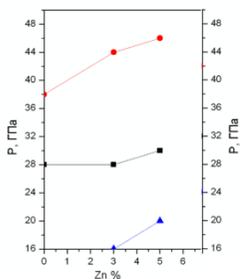


Рис. 3. Сводные данные о давлениях фазовых переходов в твердых растворах Cd_{1-x}Zn_xAs₂

практически не отличается от исходного диарсенида кадмия.

На рисунке 1 представлены совокупные данные о давлениях фазовых переходов. Значение давлений переходов получены из средних значений по различным методам (электропроводность, энергия активации проводимости, термоЭДС, поперечное магнитосопротивление).

Из рисунка 1 видно, что увеличение концентрации цинка в твердом растворе ведет к увеличению давлений фазовых переходов, что подтверждает предположения об упрочнении и стабилизации исходной

структуры диарсенида кадмия. Кроме того, твердые растворы демонстрируют более узкие области сосуществования двух фаз.

1. *Marenkin S.F., Morozova V.A., Koshelev O.G.* Inorg. Mater. 2010 Vol. 46, № 9. P. 1001–1006.

© Тебеньков А.В., 2020 г.

УДК 539.2

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ НА СОРБЦИОННУЮ ЕМКОСТЬ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА.

Апкадилова Н.Г.¹, Крылова К.А.^{1,2}

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Введение

Активное изучение углеродных материалов связано с их многочисленными уникальными свойствами. Трехмерные материалы на основе графена, в том числе и скомканный графен (СГ), обладают высокой удельной площадью поверхности и пористостью [1]. Эти свойства открывают возможность применения таких структур в водородной энергетике в качестве среды для хранения и транспортировки водорода [2].

СГ представляет собой трехмерные чешуйки графена, связанные между собой силами Ван-дер-Ваальса. Простой способ синтеза такого объемного наноматериала предложен в работе [1]. Известно, что максимально достигнутая химическая сорбция водорода графеном равна 2 % (вес.). Однако, физический способ хранения водорода в углеродном материале может увеличить массу накопленного в структуре водорода..

В данной работе рассматривается влияние гидростатического сжатия на сорбционную емкость скомканного графена методом молекулярно-динамического моделирования., что является продолжением работы [3].

Описание модели

Структурный элемент – графеновая чешуйка, полученная в результате вырезания атомных рядов из углеродной нанотрубки хиральностью (7,7) и длиной 2,5 нм. Во внутреннюю полость чешуйки графена помещалось 224 атома водорода. Графеновая чешуйка транслировалась по трем координационным осям x , y и z , для того, чтобы создать расчетную ячейку размером $3 \times 3 \times 3$ (см. рис. 1 (а)). Для уплотнения структуры скомканного графена применялось гидростатическое сжатие до степени деформации $\varepsilon = 0,77$ при температуре 1 К (рис.1 (б)). Процесс разводораживания скомканного графена исследовался при температурах 77 и 300 К.

Молекулярно-динамическое моделирование проводилось с использованием общедоступного и широко применяемого программного пакета LAMMPS. Для описания межатомного взаимодействия использовался многочастичный потенциал AIREBO [4], который неоднократно эффективно применялся при изучении деформационных процессов в трехмерных углеродных структурах, а также при исследовании разводороживания углеродных структур [3].



Рис. 1. Структура наводороженного сжатого графена до (а) и после сжатия $\varepsilon = 0,77$ (б)

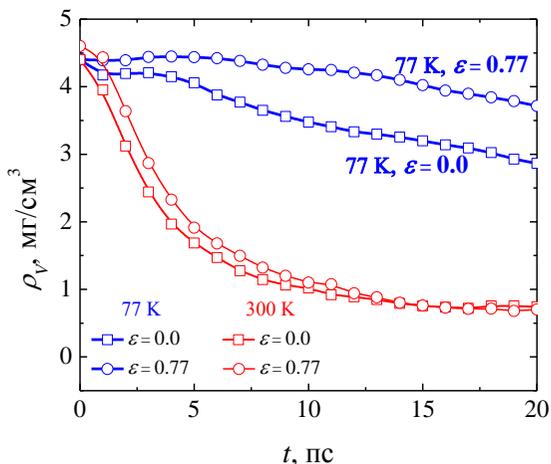


Рис. 2. Изменение объемной плотности водорода сжатого графена с разной степенью деформации в процессе выдержки при температурах 77 и 300 К

Результаты моделирования

В результате моделирования проведен анализ изменения объемной плотности водорода в ячейке моделирования от степени гидростатической сжимающей деформации ε после выдержки при 77 и 300 К в течении 20 пс

(рис. 2). Установлено, что с ростом ε при 77 К количество водорода, покинувшего структуру, уменьшается. Это связано с тем, что молекулы водорода удерживаются графеном за счет сил Ван-дер-Ваальса. Однако при 300 К влияние гидростатического сжатия на процесс разводороживания структуры не наблюдается, поскольку силы Ван-дер-Ваальса разрываются за счет возникающих тепловых колебаний атомов. Отметим, что после выдержки при 77 и 300 К большинство атомов водорода переходят в молекулярное состояние. При этом с увеличением степени деформации их количество незначительно возрастает.

Заключение

Полученные методом молекулярной динамики результаты показывают, что гидростатическое сжатие является эффективным способом увеличения объемной плотности наводороживания СГ. Полученные данные позволяют прогнозировать возможность использования СГ как среды для хранения и транспортировки водорода в порах материала.

Литература

1. L. Zhang, F. Zhang, X. Yang et al. // *Sci. Rep.* 2013. V. 3. P. 1408.
2. D. Broom, C. Webb, G. Fanourgakis, et al. // *Int. J. Hydrogen Energy* 2019. P. 15-44.
3. К.А. Krylova, J.A. Baimova, I.P. Lobzenko, A.I. Rudskoy // *Physica B: Physics of Condensed Matter*. 2020. 583, 412020.
4. S. Stuart, A. Tutein, J. Harrison. *Chem J. Phys/ Journal of Chemical Physics*. 2000. № 14, pp. 6472.

© Анкадилова Н.Г., Крылова К.А., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ ФАЗ НИТРИДА БОРА СО СЛОЕВОЙ СТРУКТУРОЙ

Ряшенцев Д.С., Беленков Е.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Полиморфные разновидности нитрида бора имеют структуру подобную полиморфам углеродных соединений [1,2]. Для углеродных фаз и наноструктур теоретически предсказана возможность существования ряда новых слоевых разновидностей графена [3]. По-видимому, аналогичные структурные разновидности могут существовать и для нитрида бора. Поэтому, в данной работе были выполнены теоретические расчеты новых слоевых полиморфных разновидностей нитрида бора. Расчеты были выполнены методом теории функционала плотности с использованием обобщенного градиентного приближения. Модельные расчеты были выполнены для слоев: BN-L₄₋₁₀, BN-L₄₋₁₂, BN-L_{4-6-8a} и BN-L_{4-6-8b}. В результате выполненных исследований было установлено, что при геометрической оптимизации структура слоев BN-L₄₋₁₀, BN-L_{4-6-8a} и BN-L_{4-6-8b} остается устойчивой и плоской, в то время как структура слоя BN-L₄₋₁₂ трансформируется в слой BN-L₄₋₆₋₈. Максимальная энергия сублимации 18.14 эВ / (BN) наблюдается для слоя BN-L₄₋₁₀, структура которого должна быть наиболее устойчивой. Энергии сублимации других слоев на 3.4 – 5.5 % меньше. Расчеты зонной структуры и плотностей электронных состояний нитридоборных слоев позволили определить ширину запрещенных зон, которые составляют 4.61, 2.88 и 3.96 для слоев BN-L₄₋₁₀, BN-L_{4-6-8a} и BN-L_{4-6-8b}, соответственно. Ширины запрещенных зон новых разновидностей нитрида бора отличаются от значения 4.69 эВ характерного для гексагонального нитрида бора. Новые полиморфы нитрида бора могут найти применение в нанoeлектронике.

Литература

1. Ryashentsev, D.S., Belenkov, E.A. Structure and electronic properties of 4-8 and 4-6-12 layered varieties of boron nitride // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 012016-1-4.
2. Ryashentsev, D.S., Belenkov, E.A. new polymorphic varieties of boron nitride with structure similar to graphyne // Journal of Physics: Conference Series. 2020. P.012051-1-4.
3. Коченгин, А.Е., Беленков, Е.А. Новые полиморфные разновидности графена, сформированные из карбиновых цепочек // Перспективные материалы. 2017. №2.С. 5-13.

© Ряшенцев Д.С., Беленков Е.А., 2020 г.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ
ГРАФЕНА ФТОРОМ**

Беленков М.Е., Чернов В.М.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Функционализировать графен возможно при химической адсорбции на его поверхности неуглеродных атомов. Наиболее перспективным для практических приложений в электронике является фторографен. Электронные свойства фторографена могут изменяться в зависимости от порядка присоединения атомов фтора в той или иной полиморфной разновидности [1,2]. В данной работе выполнены теоретические исследования влияния концентрации фтора на структурные параметры и электронные свойства графеновых слоев. Ab initio моделирование было выполнено методом теории функционала плотности с использованием обобщенного градиентного приближения. При химической адсорбции атомы фтора присоединяли случайным образом к углеродным атомам в элементарной ячейке, а затем выполняли расчеты оптимизированной кристаллической структуры, зонной структуры и плотности электронных состояний. Концентрация фтора изменялась от 0 до 50 ат.%. В результате выполненных модельных расчетов было установлено, что рост концентрации фтора приводит к увеличению параметра элементарной ячейки слоя (от 7,4608 Å для до 7,8050 Å), уменьшению энергии углерод-углеродной связи (от -6,881 eV до -4,926 eV) и росту ширины запрещенной зоны (от 0 eV до 3.094 eV). Найденные зависимости изменения структурных характеристик и электронных свойств графена при изменении концентрации адсорбированного фтора могут быть использованы при разработке технологий синтеза функционализированного графена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90002. The reported study was funded by RFBR, project number 20-32-90002.

Литература

1. Belenkov, M.E., Chernov, V.M., Belenkov, E.A. Structure of fluorographene and its polymorphous varieties // J. Phys.: Conf. Ser., 2018, V. 1124, pp. 022010-1-5.
2. Belenkov, M.E., Chernov, V.M. Structure and electronic properties of 4-6-12 graphene layers functionalized by fluorine // Letters on Materials, 2020, V. 10 (3), 2020, pp. 254-259.

© Беленков М.Е., Чернов В.М., 2020 г.

СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Нанокристаллические (НК) материалы представляют большой научный и практический интерес из-за их необычных физических свойств [1]. Несмотря на многочисленные исследования, природа процессов, протекающих в НК материалах, изучена недостаточно. В данной работе проведены рентгеновские, электронно-микроскопические исследования, а также исследования твердости НК кобальта. Образцы получены методом интенсивной пластической деформации на наковальнях Бриджмена под давлением 7 ГПа при комнатной температуре поворотом бойка на 5 оборотов.

Рентгеновским методом и методом электронной микроскопии исследованы размеры кристаллитов и величина микродеформаций в зависимости от температуры отжига. Установлено, что отжиг при температурах от комнатной до 350-450 °С приводит к незначительному росту размеров кристаллитов (от 25 нм до 50 нм). Микродеформации в этом интервале уменьшаются значительно от $3 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$. Отжиг при температурах выше 450 °С сопровождается скачкообразным ростом размеров кристаллитов и незначительным изменением микродеформаций. На основании рентгеновских, электронно-микроскопических исследований и исследований твердости сделано заключение о том, что отжиг при температурах до ~450 °С сопровождается возвратом, а выше этой температуры – рекристаллизацией. Установлено, что пластическая деформация приводит к задержке перехода высокотемпературной ГЦК фазы кобальта в низкотемпературную ГПУ фазу при его охлаждении ниже температуры фазового перехода. Показано, что задержка фазового перехода связано с уменьшением размеров кристаллитов при пластической деформации ниже критического размера зародыша новой фазы [2].

Литература

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 272 с. (2000,).
2. Альмухаметов Р.Ф., Габдрахманова Л.А., Шарипов И.З., Абзгильдин Я.А. // ФТТ. 2014. Т. 56. № 2. С. 224-229.

© Габдрахманова Л.А., Альмухаметов Р.Ф., 2020 г.

**ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ
ПРОИЗВОДНЫХ С60 И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

Муллагалиев И.Н., Салихов Р.Б.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Органические полимеры привлекли к себе большой научно-технический интерес в течение последних нескольких десятилетий из-за возможности их использования в качестве электроактивных материалов в различных органических электронных устройствах. Изучение механизмов транспорта заряда в тонких органических пленках и отработка технологии получения полимерных слоев с повышенной проводимостью [1-3] – необходимые условия для развития органической электроники.

Транзисторы изготовлены на подложке в виде стеклянной пластины с омическим контактом оксида индия-олова (ITO). На слой ITO методом центрифугирования наносился слой оксида алюминия, который использовался в качестве подзатворного диэлектрика (AlO_x). Чтобы образовалась пленка AlO_x , подложки с нанесенным слоем отжигались в печи при $T=350$ °С. Поверх AlO_x в одной партии образцов наносилась пленка С60 и в другой - пленка производной С60 (PCBM) методом центрифугирования из раствора. Сверху были нанесены алюминиевые электроды методом термического распыления в вакуумной камере на установке ВУП 5 зазор между электродами 50 мкм.

Получены и проанализированы выходные и передаточные вольтамперные характеристики. Зависимости имеют нелинейный характер во всем диапазоне приложенных к затвору напряжений.

Литература

1. Salikhov T.R., Yumaguzin Y.M., Salikhov R.B. Electronics applications based on thin polyaniline films // В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings. 2015. p. 7147207.
2. Biglova Y.N., Salikhov R.B., Salikhov T.R., Safargalin I.N., Mustafin A.G., Abdrakhmanov I.B. Preparation and investigation of soluble functionalized polyanilines // Physics of the Solid State. 2017. Т. 59. № 6. p. 1253-1259.
3. Salikhov R.B., Lachinov A.N., Rakhmeyev R.G. Electrical properties of heterostructure Si/poly(diphenylenephthalide)/Cu // Journal of Applied Physics. 2007. Т. 101. № 5. p. 053706.

© Муллагалиев И. Н., Салихов Р. Б. 2020 г.

ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ПАРОВ АММИАКА И H_2O НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПАНИ

Муллагалиев И.Н., Павлов А.В., Салихов Т.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Химические сенсоры - измерительные устройства, преобразующие химическое или физическое свойство аналита в измеряемый сигнал. Они используются в медицине, безопасности на производстве, загрязнение окружающей среды. Наибольшее распространение получили датчики с органическими полимерными сорбентами [1-2]. В производствах востребованы приборы для измерения концентрации аммиака. Окислительно-восстановительные и кислотно-основные переходы между формами ПАНИ, а также быстрое и обратимое установление равновесия перспективны для создания из полимера различные типы сенсоров [3].

На подложку из ситалла методом термического напыления в вакуумной камере были нанесены алюминиевые контакты с зазором 50 мкм. В области зазора методом центрифугирования была сформирована тонкая пленка производного полианилина, толщина которой составляла величину порядка 300 нм. Так же были исследованы нерастворимые производные полианилина, тонкие пленки которых были нанесены в область зазора вакуумным напылением из ячейки Кнудсена.

Были измерены зависимости тока через образец от концентрации паров аммиака и от влажности. К достоинствам полученных абсорбционных датчиков NH_3 на основе пленок полианилина следует отнести малый гистерезис. Основное преимущество полученных сенсоров влажности (H_2O) заключается в высокой крутизне характеристик.

Литература

1. Salikhov R.B., Lachinov A.N. Polymer thin film chemical sensors // Advances in chemical sensors Ed. by Wen Wang. –Rijeka, 2012, pp. 215-234.
2. Salikhov R.B., Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K. System of monitoring and remote control of temperature conditions, climate and heat consumption // В сборнике: 13TH International scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE - 2016). Proceedings: in 12 volumes . 2016. pp. 171-174.
3. Salikhov T.R., Yumaguzin Y.M., Salikhov R.B. Electronics applications based on thin polyaniline films // В сборнике: 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings. 2015. p. 7147207.

© Муллагалиев И.Н., Павлов А.В., Салихов Т.Р., 2020г.

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Муллагалиев И.Н., Бадретдинов Б.Р., Салихов Р.Б.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Полимерная электроника – связана с созданием новых электронных устройств, базовыми элементами которой являются органические тонкопленочные полевые транзисторы и фотовольтаические ячейки [1-3]. В последние годы активно исследуются фототранзисторы на основе органических полимеров.

Для изготовления фототранзисторов были использованы стеклянные пластины с омическим контактом в виде ИТО. На слой ИТО термическим распылением в вакууме наносилась пленка полианилина. Затем методом центрифугирования наносился слой фотохромного органического соединения спиропирана, изменяющий свои электрофизические свойства под действием ультрафиолетового облучение. Поверх фотохрома наносилась пленка C60 или фулеренпроизводных методом центрифугирования из раствора. Сверху были нанесены алюминиевые электроды методом термического распыления в вакуумной камере на установке ВУП 5 с зазором между электродами в 50 мкм.

В ходе работы были измерены вольтамперные характеристики и основные параметры созданных фототранзисторов. Подвижности носителей заряда составили $1,8 \text{ см}^2/\text{Вс}$, полученные значения сопоставимы с аналогичными данными. Чувствительность 140 мкА/Вт. Исследование показало перспективность создания фототранзисторов на основе органических материалов.

Литература

1. Salikhov T.R., Yumaguzin Y.M., Salikhov R.B. Electronics applications based on thin polyaniline films // In: International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings, 2015, pp. 714-720.
2. Biglova Y.N., Salikhov R.B., Salikhov T.R., Safargalin I.N., Mustafin A.G., Abdrakhmanov I.B. Preparation and investigation of soluble functionalized polyanilines // Physics of the Solid State. 2017. Т. 59. № 6. pp. 1253-1259.
3. Salikhov R.B., Biglova Y.N., Mustafin A.G. New Organic Polymers for Solar Cells // In: Emerging Solar Energy Materials. Ed. by Sadia Ameen. IntechOpen, 2018, pp. 83-104.

© Муллагалиев И. Н., Бадретдинов Б. Р., Салихов Р. Б., 2020 г.

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Фотоэлектричество была признана технологией возобновляемой энергетики, которая потенциально может внести значительный вклад в будущее энергоснабжение и сократить выбросы углекислого газа. Активно исследуются преобразования солнечного излучения в электричество постоянного тока с использованием органических полупроводников, которые проявляют фотоэлектрический эффект [1-3].

В данной работе использованы электронодонорные модифицированные полианилины, их сополимеры и высокомолекулярные фуллеренсодержащие соединения акцепторного типа (PCBM). Образцы солнечных элементов были изготовлены на подложке из стекла с проводящим слоем ИТО. На слой ИТО дополнительно наносилась полимерная пленка PEDOT-PSS. Следующий слой тонкая пленка из производной полианилина созданная методом центрифугирования, так же сверху пленка производная фуллерена. В качестве верхнего электрода использовалась пленка Al, полученная термическим напылением в вакууме.

Измерены вольтамперные характеристики созданных образцов СЭ и рассчитаны такие параметры, как напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, коэффициент заполнения и КПД. Исследование, проведенное в данной работе, показало перспективность применения новых органических материалов для разработки солнечных элементов и показало возможность изготовления их на гибкой пластиковой подложке.

Литература

1. Salikhov R.B., Biglova Y.N., Mustafin A.G. New Organic Polymers for Solar Cells // In: Emerging Solar Energy Materials. Ed. by Sadia Ameen. IntechOpen, 2018, pp. 83-104.
2. Salikhov R.B., Biglova Yu.N., Salikhov T.R., Yumaguzin Yu.M. New polymers for organic solar cells // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2015, v. 9, № 6, pp. 792-794.
3. Salikhov T.R., Yumaguzin Y. M., Salikhov R.B. Electronics applications based on thin polyaniline films // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE Proceedings, 2015, p. 7147207.

© Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р., 2020 г.

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА Al-3%Cu ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ

Загитов Р.Р., Ситдииков О.Ш., Автократорова Е.В., Маркушев М.В.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Исследовали феноменологию и механизмы измельчения зерен в модельном сплаве Al-3%Cu в процессе равноканального углового прессования (РКУП) при 150°C до степени деформации 8. Показано, что на первых двух проходах, наряду с образованием ячеистых/субзеренных структур с характерной малоугловой ($2^\circ \leq \theta < 5^\circ$) разориентировкой межкристаллитных границ, значительный вклад в изменение структуры вносили макроскопические деформационные полосы и полосы микросдвига. Данные полосы формировались в результате локализации деформации соответственно на макро- и мезоуровне и представляли собой «планарные» полосовые структуры с больше- ($\theta \geq 15^\circ$) и среднеугловой ($5^\circ \leq \theta < 15^\circ$) разориентировкой границ, которые располагались под углом от 10 до 45° по отношению к оси заготовки. Их формирование было обусловлено локальными ротациями кристаллической решетки в процессе сдвига при РКУП. Исходные зерна и полосовые структуры постепенно вытягивались вдоль оси прессования, образуя неоднородную по объему заготовки волокнистую структуру, которая при каждом последующем проходе фрагментировалась вновь вносимыми при РКУП полосами микросдвига. Это приводило к образованию трехмерной сетки межкристаллитных границ. Пересечение полос микросдвига с волокнистой структурой обеспечивало локальный разворот кристаллической решетки и формирование кристаллитов, окруженных продольными большеугловыми границами и поперечными границами, имеющими среднеугловую разориентировку. Количество и разориентировка границ увеличивались, обеспечивая образование на месте волокон цепочек новых зерен. После 8 проходов в материале формировалась неоднородная на мезоуровне частично рекристаллизованная структура, содержащая области (ультра)мелких зерен со средним размером 1,3 мкм и области фрагментированной структуры. Средний угол разориентировки в такой структуре составлял 23°, а доля большеугловых границ – 50%. Сделан вывод, что формирование и развитие деформационных полос играло основную роль в эволюции микроструктуры с большеугловой разориентировкой границ.

Работа выполнена по государственному заданию ИМСП РАН.

*© Загитов Р.Р., Ситдииков О.Ш.,
Автократорова Е.В., Маркушев М.В., 2020 г.*

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ МЕДИ, ДЕФОРМИРОВАННОЙ ПРИ КОМНАТНОЙ И КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ

Юрьева Е.К.¹, Валеев И.Ш.^{1,2}, Валеева А.Х.^{1,2},
Ильясов Р.Р.², Маркушев М.В.²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Проведено сравнение эффекта электроимпульсной обработки (ЭИО) с различными энергиями на твердость меди М1, прокатанной со степенью деформации 90% при температуре жидкого азота и комнатной температуре.

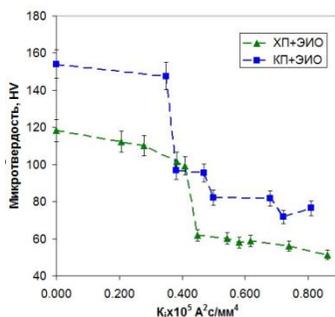


Рис. 1. Зависимость микротвердости меди, подвергнутой холодной и криогенной прокатке (ХП и КП), от энергии ЭИО

Обнаружено, что более сильное подавление динамического возврата и рекристаллизации при прокатке при температуре жидкого азота обеспечило большую твердость меди перед ЭИО (рис.1). С ростом энергии ЭИО твердость холоднокатанного металла монотонно уменьшалась и к $K_j \sim 0,6 \times 10^5 A^2 c/mm^4$ эффект его деформационного упрочнения полностью терялся. Поведение же криодеформированной меди резко отличалось. А именно, при малых энергиях ЭИО твердость уменьшалась менее интенсивно, свидетельствуя о более высокой устойчивости (стабильности) криодеформированной структуры меди. Затем при достижении плотности тока $K_j \sim 0,40 \times 10^5 A^2 c/mm^4$ отмечалось резкое падение твердости, однако, даже и в этом случае, как и при больших энергиях ЭИО, ее уровень не опускался ниже уровня твердости холоднокатанного материала.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-08-00953А.

© Юрьева Е.К., Валеев И.Ш., Валеева А.Х.,
Ильясов Р.Р., Маркушев М.В., 2020 г.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ НИКЕЛЯ, ДЕФОРМИРОВАННОГО ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ЖИДКОГО АЗОТА

Ильясов Р.Р.², Валеев И.Ш.^{1,2}, Валеева А.Х.^{1,2},
Маркушев М.В.², Ситдииков О.Ш.²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Исследовали влияние энергии электроимпульсной обработки (ЭИО) на микротвердость никеля, деформированного при температуре жидкого азота. Для этого металл был подвергнут криогенной прокатке с обжатиями 90% и последующей ЭИО с вложенной энергией в интервале K_j от $0,06 \cdot 10^5$ до $0,157 \cdot 10^5 \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4$, соответствующей расчетным температурам 130° и 650°С, соответственно.

Из рис. 1. видно, что после криопробатки твердость никеля составляла около 240 HV и после воздействия импульсами тока вплоть до $K_j = 0,1 \times 10^5 \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4$, практически не изменялась. С увеличением K_j до $0,112 \times 10^5 \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^4$ происходило резкое падение твердости до значений недеформированного материала (около 90-100 HV) и с дальнейшим увеличением энергии ЭИО микротвердость никеля изменялась слабо.

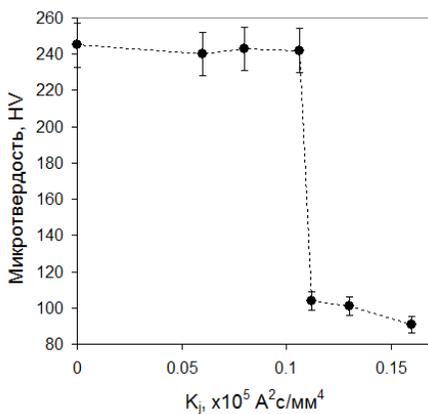


Рис.1. Зависимость микротвердости криопробатанного никеля от энергии ЭИО

На основе анализа изменений параметров структуры, рассмотрена природа упрочнения никеля при прокатке и его разупрочнения при ЭИО.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-08-00953А.

© Ильясов Р.Р., Валеев И.Ш., Валеева А.Х.,
Маркушев М.В., Ситдииков О.Ш., 2020г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ СЛОИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СПЛАВА ВТ20

Хлопина И.Д.¹, Саркеева А.А.²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

Одним из перспективных новых классов металлических материалов представляются слоистые материалы, в частности из титановых сплавов. Значительный интерес к данным видам материалов обусловлен тем, что в них можно реализовать существенное повышение физико-механических свойств. Отличительной особенностью слоистых материалов является наличие в них внутренних поверхностей соединения, которые играют существенную роль в процессах разрушения.

Целью данной работы являлась количественная оценка характеристик ударного разрушения слоистого материала, полученного диффузионной сваркой титанового сплава ВТ20.

В качестве исходного материала использовали листы титанового сплава ВТ20 толщиной 0,8 мм промышленного проката. Слоистые материалы в виде плиты получали диффузионной сваркой тринадцати листовых заготовок, собранных в пакет, в электрической печи ОКБ-8086 при температуре 950 °С. Заготовки при сборке в пакет укладывали друг относительно друга так, что направление прокатки в соседних заготовках совпадало. Для проведения механических испытаний на ударный изгиб использовали 2 вида поперечных образцов с размерами 10×10×55 мм³, отличающихся расположением U-образного надреза относительно поверхностей соединения. В образцах с «разветвляющим» трещину расположением поверхностей соединения (Р-образец) линия надреза располагалась перпендикулярно этим поверхностям, в образцах с «тормозящим» трещину расположением поверхностей соединения (Т-образец) линия надреза располагалась параллельно.

В результате механических испытаний при комнатной температуре Р-образец слоистого материала не разрушился полностью. Зафиксированная величина работы, потраченной на разрушение большинства слоев и на изгиб оставшейся части данного образца, составила 78 Дж. При этом Т-образец разрушился, его полная работа разрушения составила 35 Дж, работа распространения трещины значительно превышает работу ее зарождения. На поверхности разрушения наблюдаются небольшие расслоения, что вероятно связано с наличием ослабленных поверхностей соединения.

© Хлопина И.Д., Саркеева А.А., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ МЕДИ В СУПЕРИОННОМ ПРОВОДНИКЕ $\text{CuCr}_{1-x}\text{V}_x\text{S}_2$ РЕНТГЕНОВСКИМ МЕТОДОМ

Альмухаметов Р.Ф., Габитов Э.В.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Соединения $\text{CuCr}_{1-x}\text{V}_x\text{S}_2$ имеют гексагональную структуру и состоят из чередующихся тройных атомных слоев S-Cr(V)-S. Согласно литературным данным в CuCrS_2 атомы серы двух соседних слоев образуют две неэквивалентные тетраэдрические позиции, одна из которых (α) при комнатной температуре занята атомами Cu примерно на 95%, а другая (β) - на 5%. Между α и β позициями расположена октаэдрическая позиция, которая при комнатной температуре не занята атомами Cu. При $T \sim 670$ К в CuCrS_2 наблюдается переход в фазу с высокой проводимостью по катионам Cu^+ . Выше температуры фазового перехода атомы меди равновероятно распределены между α и β позициями. Несмотря на имеющиеся работы в литературе отсутствуют систематические исследования заселенности кристаллографических позиций соединений типа M_2X_2 подвижными катионами. Нами проводились исследования распределения катионов меди по различным кристаллографическим позициям соединений $\text{CuCr}_{1-x}\text{V}_x\text{S}_2$ методом сравнения расчетных и экспериментальных интегральных интенсивностей рентгеновских линий.

В результате проведенных структурных исследований нами установлены выводы. Температурные зависимости параметров решетки a и c носят линейный характер; в районе температур $T \sim 673$ К имеет место скачкообразное изменение коэффициента термического расширения, что связано с перераспределением катионов Cu^+ по различным кристаллографическим позициям.

Зависимости параметров a и c от содержания ванадия в $\text{CuCr}_{1-x}\text{V}_x\text{S}_2$ являются линейными и носят слабый характер, что обусловлено близостью атомных размеров Cr и V и указывает на изоморфное замещение хрома ванадием.

Катионы Cu^+ занимают две неэквивалентные тетраэдрические (α и β) и γ - позиции, которые являются позициями, сильно смещенными от центров октаэдрических мест в сторону общих граней с α - тетраэдрическими позициями.

При $T \sim 673$ К вероятность заселения β -позиций резко увеличивается, вероятность заселения γ - позиций слегка падает, выше 673 К вероятность заселения α и β - позиций примерно одинакова и равна ~ 0.3 .

© Альмухаметов Р.Ф., Габитов Э.В. 2020 г.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЦК-РЕШЁТКИ КОБАЛЬТА В ГПУ-РЕШЁТКУ В ПРОЦЕССЕ РОСТА ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ

Подорожняк С.А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Химическое осаждение металлов помимо своих известных достоинств (возможность металлизации диэлектриков и деталей сложной формы) даёт возможность синтезировать материалы с интересными новыми свойствами. Так, в области нанометровых толщин и островкового зародышеобразования, химически осаждённый при $\text{pH} < 8.7$ кобальт может быть представлен как система, очень похожая на описанную группой Китаками [1]. На начальном этапе роста кобальт формируется в частицы с ближайшим окружением по типу ГЦК, в которых с ростом размеров происходит случайный выбор одной из (111) ГЦК-граней, которая становится (0001) ГПУ-гранью; дальнейшее выстраивание атомов в подобную структуру приводит к образованию частиц с ближайшим окружением по типу ГПУ [2].

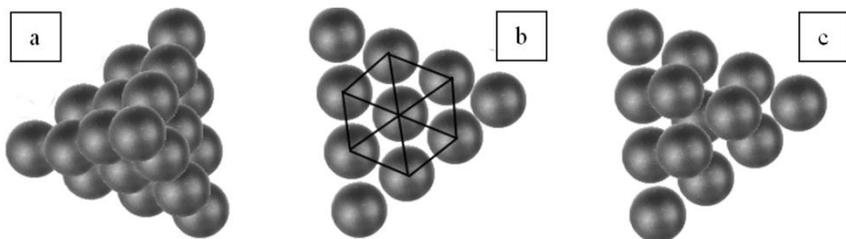


Рис. 1. Визуализация трансформации ГЦК кристаллической решётки в ГПУ. а – правильный тетраэдр, образованный плоскостями (111) ГЦК кристаллической решётки; б – проекция ГЦК плоскости (111) с обозначением гексагонального порядка укладки атомов; в – второй слой атомов, укладка которого соответствует ГПУ-структуре: третий слой атомов будет располагаться над первым

Литература

1. O. Kitakami, H. Sato, Y. Shimada, F. Sato, M. Tanaka. Size effect on the crystal phase of cobalt fine particles // *Phys. Rev. B.*, 1997, vol.56, №21 pp. 13849-13854. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.56.13849>
2. А. В. Чжан, С. А. Подорожняк, В. К. Мальцев, И. Н. Краухин, Г. С. Патрин. Аллотропные модификации кобальта при химическом осаждении // *ФТТ*, 2021, №1, 43-47 с. <http://dx.doi.org/10.21883/FTT.2021.01.50396.065> (В печати)

© Подорожняк С.А., 2020 г.

ВРЕМЯРАЗРЕШАЮЩАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ В СИСТЕМЕ Cu_2Se

Нигматуллина Г.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Цель работы – рентгенографическое исследование в системе Cu_2Se методом времяразрешающей рентгеновской дифракции TRXRD (Time Resolved X-Ray Diffraction).

Исходными компонентами в работе служили порошки Cu и Se. Реагенты в мольном соотношении Cu:Se = 2:1 смешивали в шаровой мельнице на воздухе. Из полученных смесей прессовали образцы прямоугольного сечения 4x13x15 мм (8 грамм). Процесс горения проводился методом TRXRD, сущность метода более подробно описана в работе [1].

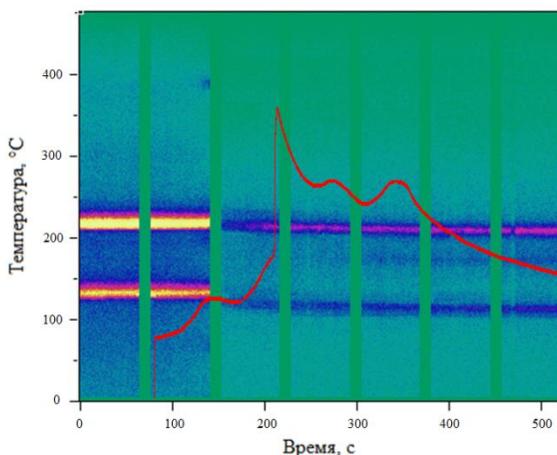


Рис. 1. Дифракционная картина горения смеси Cu_2Se в высокотемпературном режиме

Рентгеноструктурные исследования продолжаются и требуют более детального изучения.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым №16ГР от 7.02.2020».

Литература

1. Рентгенографическое исследование СВС в системе ZR-AL-C Ковалев Д.Ю., Лугинина М.А., Вадченко С.Г. Журнал неорганической химии. 2017. Т. 62. № 12. С. 1635-1641.

© Нигматуллина Г.Р., 2020 г.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН ФАЗ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ CU-SE, МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ДИНАМИКИ И ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Сафаргалиев Д.И.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
г. Стерлитамак, Россия

В связи с тем, что структура селенида меди в несуперионном состоянии не установлена однозначно, нами были проведены модельные компьютерные расчеты фазовой диаграммы системы Cu-Se с помощью программы USPEX, суть которой заключается в поиске наиболее устойчивого структурного состояния вещества, обладающего наименьшей энергией. Энергия в данном случае зависит от электромагнитного взаимодействия ядер и электронов атомов, из которых состоит исследуемый кристалл. Ее можно оценить с помощью квантово-механических расчетов, основанных на упрощенном уравнении Шредингера. В алгоритме USPEX используется теория функционала плотности, позволяющая заменить многоэлектронную волновую функцию электронной плотностью, при этом оставаясь формально точной. На практике это приводит к уменьшению сложности вычислений и, как следствие, времени, которое на них будет затрачено.

Таблица 1

Структуры и параметры ячейки селенидов меди
при различных давлениях

Формула	Давление	Параметры ячейки						
		<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	α , град	β , град	γ , град	
Cu ₆ Se ₆	0 ГПа	3,86306	3,84499	18,97498	90,4460	84,2101	61,7831	
Cu ₆ Se ₆	1 ГПа	3,80424	3,85109	18,91275	90,5369	84,3048	61,9967	
Cu ₆ Se ₄	1 ГПа	6,12349	4,68574	4,68574	90,0427	89,9822	90,0039	
Cu ₂ Se ₄	1 ГПа	3,82410	4,90810	6,33066	90,0353	90,2098	90,8654	
Cu ₆ Se ₄	5 ГПа	6,00227	6,01214	4,66337	90,1078	90,0815	89,9745	
Cu ₂ Se ₄	5 ГПа	3,75153	4,84073	6,22103	89,9961	90,0183	90,1894	
Cu ₂ Se ₄	10 ГПа	6,50498	6,66136	6,54241	98,2686	97,7129	98,2652	
Cu ₂ Se ₂	10 ГПа	3,59140	3,54626	4,87468	90,0200	90,0114	89,9979	
Cu ₇ Se ₃	50 ГПа	3,45446	9,61429	3,48520	89,4050	88,4021	79,7316	
Cu ₄ Se ₄	50 ГПа	3,34180	9,24189	3,31547	88,5596	89,9481	89,6281	
Cu ₉ Se ₃	100 ГПа	4,80706	4,80965	5,72840	90,1689	90,1675	60,1284	

Проведены модельные компьютерные расчеты фазовых диаграмм системы Cu-Se с помощью программы USPEX, уточнены структуры селенидов меди стехиометрических и нестехиометрических составов. Расчет позволит получить теоретическую структурную модель, результаты которой позволят провести расчеты зонной структуры и фононного спектра в макро- и наносостоянии.

Поиск модельных структур в системе Cu-Se при различных давлениях от 0 до 100 ГПа показал, что при абсолютном нуле и давлении 0,1 ГПа стабильными являются составы Cu_6Se_4 и Cu_6Se_6 . Экспериментальная фазовая диаграмма при нормальных условиях содержит фазы таких составов. При низких температурах и высоких давлениях стабильной оказывается фаза состава Cu_6Se_6 . Структуры и параметры решетки расчетных стабильных фаз представлены в таблице 1. Эти результаты можно использовать для моделирования превращений кристаллической структуры. На основе полученных результатов параметров решетки и координат атомов стабильных фаз произведены расчеты зонной структуры и фононного спектра с помощью программного пакета QuantumEspresso для макро- и наносостояния.

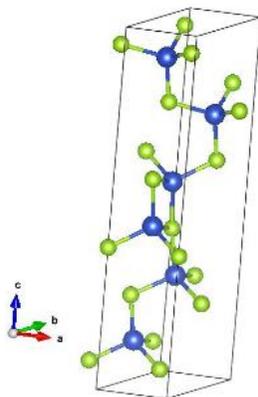


Рис. 1. Модельная кристаллическая структура селенида меди Cu_6Se_6 при давлении 0 ГПа

Расчет зонной структуры и фононного спектра был выполнен как для макро-, так и для наносостояния. На рис. 1-3 представлены результаты подобных расчетов для селенида меди состава Cu_2Se .

Расчеты зонной структуры и фононного спектра, полученные методом молекулярной динамики и методом псевдопотенциала в рамках теории функционала электронной плотности в базисе плоских волн, оказались в хорошем согласии.

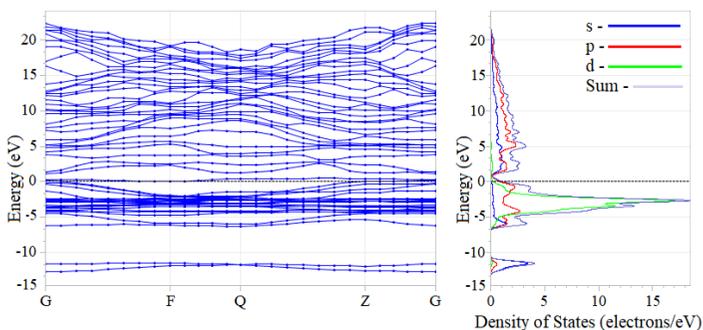


Рис. 2. Зонная структура Cu_3Te_2 в макросостоянии

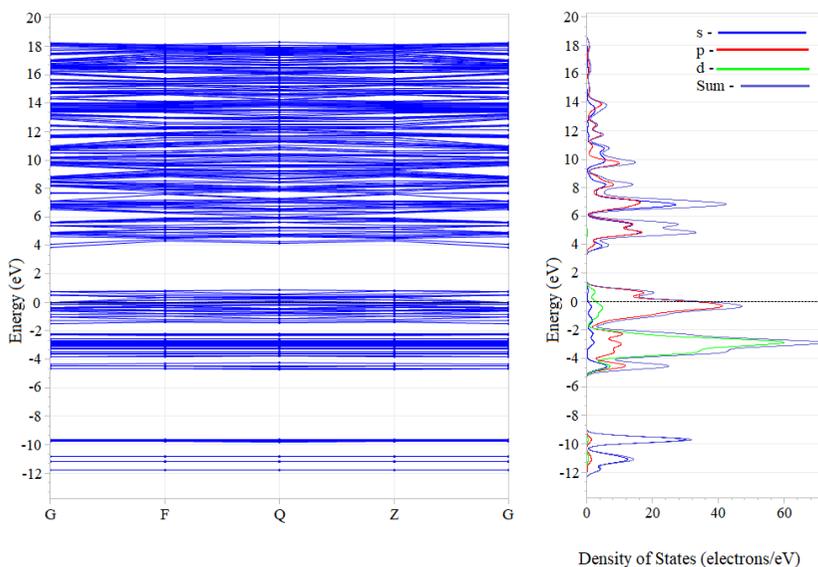


Рис. 3. Зонная структура Cu_3Te_2 в наностоянии (наноточка, расстояние между точками 10 Å)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №20-32-90216 «Компьютерный дизайн фаз высокого давления системы Cu-Se, модельные расчеты динамики и зонной структуры квантовых точек как перспективных материалов для наносенсоров».

Литература

1. USPEX (Universal Structure Predictor: Evolutionary Xtallography) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://uspex-team.org>.
2. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. // Квазичастицы в физике

- конденсированного состояния. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 632 с.
3. Булат Л.П., Иванов А.А., Освенский В.Б., Пшенай-Суверин Д.А., Сорокин А.И. // Физика твердого тела. 2017. Т. 59. Вып. 10. С. 2071–2076.
 4. Kim H., Ballikaya S., Chi H., Ahn J.-P., Ahn K., Uher C., Stirad U., Kaviany M. // Acta Materialia. 2015. Vol. 86. P. 247–253.
 5. QuantumESPRESSO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.quantum-espresso.org>.

© Сафаргалиев Д.И., 2020 г.

УДК 54.053

СИНТЕЗ $\text{Cu}_{2-x}\text{Li}_x\text{S}$ ТВЕРДОФАЗНЫМ АМПУЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Гафуров И.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Образцы $\text{Cu}_{2-x}\text{Li}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25$) синтезировали методом твердофазных реакций в пирексовых ампулах, откачанных до остаточного давления порядка 10^{-3} Па В качестве исходных компонентов использовали медь марки ОСЧ -11-4, серу ОСЧ- 15-3, литий. Для предотвращения окисления лития предварительно синтезировали Cu_{2-x}S , постепенно нагревая до температуры 450°C в течение 100 часов с выдержкой 24 часа при температуре 200°C , и синтезировали около 100 часов. Полученные фазы тщательно растирали в агатовой ступке, прессовали холодным методом в цилиндрические таблетки диаметром 1 см., высотой 2–3 см. и гомогенизировали также в вакуумированных ампулах при $T=400^\circ\text{C}$ в течение 100 часов. Далее, полученные сульфиды и металлический литий помещали в ампулы, заполненные аргоном, и постепенно их нагревали до полного растворения лития. После этого ампулы запаивали и синтезировали.

Фазовый состав образцов контролировали методом рентгеновской дифрактометрии с применением высокотемпературной приставки УВД-2000. Исследование дифрактограмм образцов $\text{Cu}_{1,8}\text{S}$, Cu_2S и $\text{Cu}_{1,8}\text{Li}_{0,2}\text{S}$ при температуре 450°C показало наличие одних и тех же линий, принадлежащих ГЦК модификации Cu_2S . Это доказывает образование твердых растворов $\text{Cu}_{2-x}\text{Li}_x\text{S}$ до содержания лития $x=0,2$.

Литература

1. Шасколская М.П. Кристаллография. –М.: Высшая школа, 1976, с.. 136
2. Абрикосов Н.Х., Банкина В.Ф., Попецкая Л.В. и др. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе.-М.: Наука,-1975.-220 с.

© Гафуров И.Г., 2020 г.

**АНИЗОТРОПИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ
СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА
СИСТЕМЫ Ni-Mn-Ga, ПОДВЕРГНУТЫХ ДЕФОРМАЦИОННО-
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ КОВКИ**

Гайфуллин Р.Ю.^{1,2}, Мусабилов И.И.², Сафаров И.М.², Галеев Р.М.²

¹Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Россия

В сплавах Гейслера в области комнатных температур протекает мартенситное превращение, в интервале которого наблюдаются такие эффекты как ферромагнитный эффект памяти формы и магнитокалорический эффект. Благодаря этим эффектам сплавы относят к классу функциональных материалов. Недостатком данных сплавов является то, что при циклическом протекании прямого и обратного мартенситного превращения поликристаллические образцы подвержены разрушению. Для повышения механических свойств сплавов к ним возможно применение таких методов деформационно-термической обработки (ДТО) как интенсивная пластическая деформация кручением, прокатка, всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) и др. Деформация материалов кручением и прокаткой позволяет получить тонкие образцы (ленты, диски) с требуемой структурой. В сравнении с ними, ковкой возможно получение объемной заготовки, что является преимуществом перед остальными методами ДТО. Применение метода ВИК к сплавам Гейслера позволит получить острую кристаллографическую текстуру и повысить анизотропию некоторых физических свойств, тем самым повысить величину ферромагнитного эффекта памяти формы. В процессе обработки ковкой и в процессе вытяжки на последних этапах деформации возможно создание текстуры. Формирование деформационными методами в обрабатываемом материале, наряду с кристаллографической текстурой больших полей внутренних напряжений является одной из важных задач повышения функциональных характеристик материала.

В данной работе приведены результаты исследования влияния ДТО методом ковки на величину анизотропии свойств в области мартенситного превращения в поликристаллических сплавах системы Ni-Mn-Ga двух составов: Ni_{54,1}Mn_{19,6}Ga_{24,6}Si_{1,7} и Ni_{57,4}Mn_{18,2}Ga_{22,7}Si_{1,7}

Проведен анализ температурной зависимости термического расширения сплавов в исходном литом состоянии и после ДТО ковкой. Исследование проведено на дилатометре с датчиком перемещения на основе дифференциального трансформатора. Образцы размерами 1 мм × 1 мм × 7 мм были вырезаны электроискровым способом. В деформированном состоянии образцы вырезаны длинной стороной вдоль последнего направления осадки. Запись кривых $\Delta l/l(T)$ для сплава Ni_{54,1}Mn_{19,6}Ga_{24,6}Si_{1,7} проводилась при нагреве и охлаждении образцов в интервале температур от

-100°C до -20°C и для сплава $\text{Ni}_{57.4}\text{Mn}_{18.2}\text{Ga}_{22.7}\text{Si}_{1.7}$ в интервале температур от 100°C до 300°C. Анализ полученных данных показывает, В результате деформационно-термической обработки путемковки, уровень анизотропии увеличился, о чем свидетельствует вклад мартенситного превращения в относительное изменение длины обоих образцов исследования во время превращения. В исследуемых сплавах наблюдаемый скачок геометрических размеров говорит об анизотропии микроструктуры, которая обусловлена формированием в процессе мартенситного превращения преимущественной ориентации мартенситных пластин. Однако, полученные результаты ДТО методом ВИК после 6-ти переходов для сплава $\text{Ni}_{54.1}\text{Mn}_{19.6}\text{Ga}_{24.6}\text{Si}_{1.7}$ и 9-ти переходов для сплава $\text{Ni}_{57.4}\text{Mn}_{18.2}\text{Ga}_{22.7}\text{Si}_{1.7}$ свидетельствуют о том, что увеличение степени деформации не приводит к усилению анизотропии термического расширения сплавов данной системы.

Также в результате деформационной обработки наблюдается смещение характерных температур мартенситного превращения в область более низких температур. Такое поведение характерно для данного объекта исследований, поскольку оно обусловлено затруднением движения в деформированной структуре дислокаций превращения, которые представляют собой мартенситные ступени атомных размеров на межфазных границах.

© Гайфуллин Р.Ю., Мусабиров И.И., 2020 г.

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 534;51-72

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ВОДОГАЗОВОЙ СМЕСЬЮ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Фазлетдинов С.У., Питюк Ю.А., Фахреева Р.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Работа посвящена численному исследованию остаточного влияния периодического акустического воздействия на фильтрацию водогазовой смеси (ВГС) в образце пористой среды. На основе численного моделирования проведен анализ вытеснения ВГС без акустического поля (Без АП), с периодическим акустическим полем в течение 10 минут с перерывом 30 минут в первые два часа закачки (АП(2ч)) и в течение четырех часов (АП(4ч)). Таким образом, рассматривалось три периода периодического акустического воздействия во втором случае и шесть периодов – в третьем случае. Обнаружено, что при двух часах периодического воздействия и далее двух часах простоя остаточная нефтенасыщенность (Рис.1) оказалась меньше, чем при фильтрации без использования акустического поля, что свидетельствует о наличии остаточного эффекта от акустического воздействия на пласт. Полученные результаты имеют практическое значение при разработке новых технологий для интенсификации нефти.

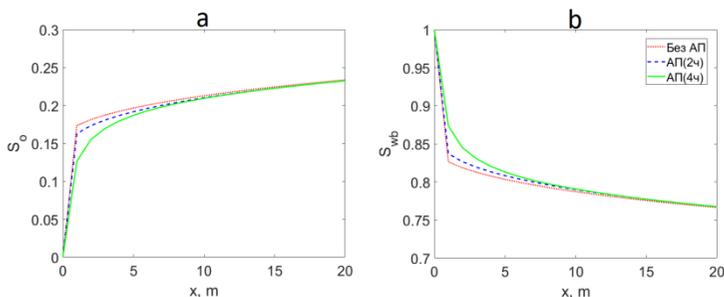


Рис. 1. Остаточная нефтенасыщенность (а) и насыщенность ВГС (б) в образце при различном времени акустического воздействия через четыре часа после закачки

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20102.

© Фазлетдинов С., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА В ДОБЫВАЮЩУЮ СКВАЖИНУ С УЧЕТОМ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ ТРЕЩИНЫ ПРИ ПОВТОРНОМ ГИДРОРАЗРЫВЕ ПЛАСТА

Адельгужина Э.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

На сегодняшний день гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из самых эффективных методов повышения нефтеотдачи пласта. Задача о притоке жидкости в скважину с двумя перпендикулярными трещинами первого и повторного ГРП подробно рассмотрена в статье [1].

Цель работы – методом численного моделирования проинтерпретировать и проанализировать динамику дебита и давления в вертикальной скважине до и после повторного ГРП.

Рассмотрен элемент девятиточечной системы разработки. Математическая модель включает закон Дарси, уравнение пьезопроводности, условия равенства потоков и давлений и условие симметрии по осям «x» и «y». Для моделирования используются следующие основные параметры: радиус скважины (0.1 м), толщина пласта (20 м), пористость (0.2), объемный коэффициент пластовой жидкости (1), вязкость пластовой жидкости (0.0015 Па*с), общая сжимаемость ($3.12 \cdot 10^{-10}$ Па⁻¹).

Расчеты выполнены при различных значениях проницаемости пласта (0.1 мД, 1 мД, 5 мД, 10 мД) с близкими к практике длительностями работы и остановки скважин.

Путем моделирования воспроизведены методы гидродинамических исследований скважин, такие как КВД и АДД.

В результате получено, что при переориентации трещины после повторного ГРП в случае наличия системы поддержания пластового давления в виде нагнетательных скважин на диагностическом графике АДД из-за интерференции начинает искажаться производная на более ранних временах, чем в случае работы скважины с одной трещиной ГРП, которая ориентирована вдоль региональных стрессов.

Литература

1. Давлетбаев А. Я., Мухаметова З. С. Моделирования фильтрации в низкопроницаемом пласте с двумя перпендикулярными техногенными трещинами гидроразрыва: Инженерно-физический журнал. 2017. №3. С. 632-639.

© Адельгужина Э.М., 2020 г.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ВОКРУГ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК

Фаткуллина Н.Б., Солнышкина О.А., Булатова А.З.

Центр Микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем,
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Трёхмерное моделирование стоковых течений вязкой жидкости в микроканалах с препятствиями актуально для микрогидродинамики, например, при создании лабораторий-на-чипе, которые используются при конструировании микрофлюидных устройств. Значимой задачей в этой области является подбор оптимальных геометрических параметров при проектировании различных типов микрофлюидных устройств.

Изучается течение вязкой жидкости в плоском прямоугольном микроканале с гидродинамическими ловушками С-образной формы. Предполагается, что числа Рейнольдса $Re < 1$, температура постоянна, на поверхности неподвижных элементов задано условие прилипания. Течение жидкости описывается стационарными уравнениями Стокса. Численный подход основан на ускоренном методе граничных элементов (МГЭ), который эффективен при решении трёхмерных задач и задач со сложной геометрией, так как все расчёты связаны только с границей элементов, покрытых треугольной сеткой.

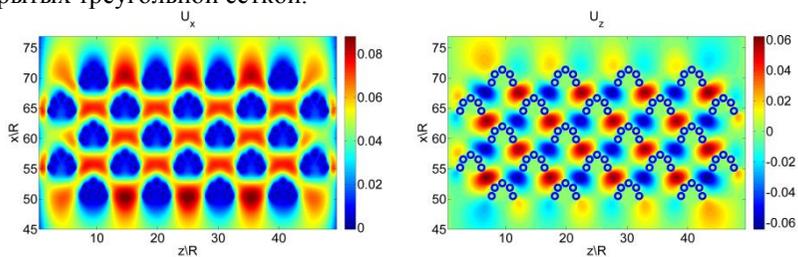


Рис. 1. Компоненты скорости U_x и U_y при $d_x = 1.5 \cdot L_{trap_x}$

Получены картины течения вязкой жидкости вокруг распределённых на различном расстоянии друг от друга гидродинамических ловушек С-образной формы, состоящих из пяти цилиндрических элементов равного радиуса R . Такая конфигурация часто используется в микрофлюидных устройствах для фиксации частиц в потоке. Рассматривалось влияние расстояния между рядами ловушек на картину течения и распределения продольной и поперечной компонент скорости потока (рис. 1).

Исследование проведено при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-549.2019.1. Библиотека FMM предоставлена Fantalgo, LLC (Maryland, USA).

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО СКВАЖИНАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ФОНДА

Галиева К.Ф., Мухутдинова А.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В современном обществе информация играет стратегическую роль. Работа нефтяной компании связана с обработкой и сохранением немалого объема разнородной информации о работе скважин и геологических особенностях пластов. Обработка информации является важной задачей, которая с каждым днем становится все сложнее вследствие увеличения объема данных и усложнения алгоритмов их движения.

Цель базы данных в нефтяной отрасли - обеспечение возможности эффективного поиска и обработки информации в специализированных программах. Создание базы данных включает в себя всестороннее изучение материала для правильного отображения различных аспектов, для минимализации ошибок и пропусков.

Особенностью данной работы является систематизация предложенных материалов по времени и структуре в программе для работы с электронными таблицами — Microsoft Excel, что существенно облегчает для специалистов поиск материала.

Дело скважины № 000		
Дата	Название документа	Номер в деле
21.03.1992	Акт о начале испытания скважины №000 площади после расконсервации	090
26.03.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	088
28.03.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	087
30.03.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	089
31.03.1992	Акт о начале испытания 3 объекта в скважине №000 площади	086
4.04.1992	Акт о перфорации 3 объекта скважины №000 площади	085
10.04.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	083
12.04.1992	Акт о перфорации 6 объекта скважины №000 площади	074
12.04.1992	Акт о начале испытания 4 объекта в скважине №000 площади	081
12.04.1992	Акт об окончании испытания 3 объекта в скважины №000 площади	082
16.04.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	084
17.04.1992	Акт о перфорации 5 объекта скважины №000 площади	078
17.04.1992	Акт о начале испытания 5 объекта в скважине №000 площади	079
17.04.1992	Акт об окончании испытания 4 объекта в скважины №000 площади	080
18.04.1992	Акт об окончании испытания скважины №000 площади	070
21.04.1992	Акт на установку и испытание изоляционного моста на герметичность	077
22.04.1992	Акт о результатах испытания пласта на приток	044-054
22.04.1992	Акт о начале испытания 6 объекта в скважине №000 площади	075

Рис. 1. Фрагмент базы данных

Литература

1. Р.З.Гизатуллин, В.В.Анищик Научно-Технический Центр «Газпром нефти» ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2017 - № 3(5). – С. 76-79.

2. Рыкова В.В., Лукьянова Е. И. Создание научного задела для формирования новых информационных ресурсов (на примере проблемно ориентированных баз данных геологической тематики) // Библиосфера. — 2010. — № 4. — С. 61–64.

© Галиева К.Ф., Мухутдинова А.А., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С МНОГОКРАТНЫМ РАЗГАЗИРОВАНИЕМ В ПЛАСТЕ С КОЛЛЕКТОРОМ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОГО ТИПА

Ниценко В.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Рассматривается процесс циклического вытеснения нефти водой на основании многократного разгазирования нефти [1-4]. Метод воздействия заключается в циклическом изменении режимов работы нагнетательных и добывающих скважин. Разгазирование проходит циклами, и каждый цикл проходит в два этапа. Во время первого этапа в пласте повышается этап отбора жидкости, пластовое давление падает, при давлении ниже давления насыщения нефти газ выделяется из нефти и вытесняет нефть из низкопроницаемой матрицы. На втором этапе цикла – начинается повышение пластового давления, за счет превышения темпов закачки воды в залежь. Этот этап продолжается до тех пор, пока весь выделившийся на первом этапе газ не растворится в оставшейся в пласте нефти. И далее снова начинается реализация первого этапа. Этот метод применим к пластам с коллектором трещиновато-порового типа, в которых основная часть запасов нефти содержится в низкопроницаемой матрице, а фильтрация жидкости в пласте интенсивнее происходит в сети трещин.

Результаты численного моделирования в гидродинамическом симуляторе «РН-КИМ» свидетельствуют о том, что при оптимальном применении метода нефтеотдачу пластов можно увеличить на 7 – 15 % по сравнению с традиционным заводнением пласта при постоянном давлении/расходе закачки.

Литература

1. Гольф-Рахт Т.Д. - Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов — М.: Недра, 1986.-608 с.
2. Патент РФ № 2114986. Способ разработки нефтяной залежи вытеснением водой неоднократно разгазированной нефти/ В.М. Салажев, Н.Н. Лисовский, В.В. Стасенков [и др.], заявитель и

- патентообладатель В.М. Салажев. - № 95121389/03; заявл. 18.12.1995; опубл. 10.07.1998.
3. Алексеева К.О., В.А. Байков, А.В. Колонских, В.В. Водопьянов. Повышение коэффициента извлечения нефти в карбонатных трещиновато-пористых коллекторах с помощью механизма многократного разгазирования нефти // Нефтяное хозяйство. - 2017. – № 4. – С. 76-79
 4. Алексеева К.О., Байков В.А. Разработка трещиновато-пористых коллекторов с помощью разгазирования нефти: влияние типа смачиваемости породы, размера и формы матричных блоков на коэффициент извлечения нефти // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2017. № 12. С. 34-39.

© Ниценко В.А., 2020 г.

УДК 538.7

ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРОЗ

Бигильдина Э.Р., Адельмурзина И.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Гроза представляет собой разновидность осадков, при которых в облаках, над ними и под ними формируются электрические разряды, т. е. молнии. Частыми спутниками грозы становятся град, сильные ветры, ливневые дожди. В одно и то же время на планете фиксируется свыше тысячи гроз разной силы. Большая часть из них отмечается над материками, а самое большое количество – в тропических широтах, на экваторе [1].

С проблемой защиты проявлений грозового электричества знакомы многие, так как этот вопрос затрагивает разные сферы деятельности людей: энергетику, связь, авиацию, строительство, сельское и лесное хозяйство. Сейчас сложно представить жизнь и без высотных зданий, для которых грозовая активность тоже представляет опасность. Данная проблема пока изучена недостаточно, так на Российскую Федерацию мы нашли пример карты грозовой активности (рис. 1), а по республике Башкортостан таких карт пока нет. Все это говорит о необходимости изучения грозоразрядных явлений на территории Республики Башкортостан. По данным карты, среднее число часов гроз на территории республики Башкортостан составляет от 40 до 60 ч/год, на карте это показано оттенком коричневого цвета. С этой целью учеными с 2018 по 2020 года на территории республики проводились измерения числа грозовых разрядов с помощью получения

проводниковых грозорегистраторов большого и малого радиусов действия в различных участках спектра электромагнитного излучения.

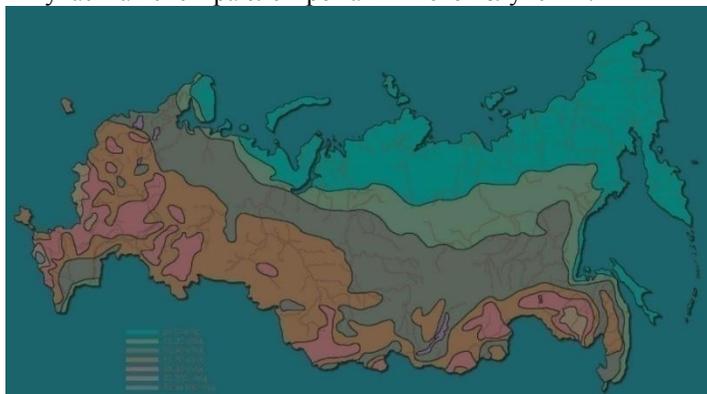


Рис. 1. Карта грозовой активности по России, 30 мая 2018 г.

В качестве основных параметров грозовой деятельности изучены климатологические показатели гроз, а именно, число дней с грозой и продолжительность гроз в течение года. Впервые по данным многолетних средних показателей грозовой деятельности построены карты распределения числа дней с грозой и продолжительности гроз. Для большей детализации и точности карт были проведены расчеты числа гроз по полученной эмпирической формуле связи числа гроз с высотой места, средней температурой и влажностью воздуха. Последнее позволило установить число гроз в районах, для которых отсутствует метеорологическая информация. Эти возможности позволяют сделать предлагаемую карту распределения гроз на территории Башкирии весьма детальной как для годового числа гроз, так и для их месячных сумм (рис. 2)

Это природное явление обычно возникает в теплое время года. Причем ее мощь напрямую зависит от расположения Солнца. В средних широтах самые сильные грозы фиксируются после полудня. Главными их предвестниками являются кучево-дождевые облака, слабый ветер. Эти облака легко отличить от других по темному цвету и характерной форме: они вытянуты по вертикали, верхняя часть завершается верхушкой в форме наковальни.

Молния – это красивое природное явление, одно из проявлений грозы, возникающее в результате заряда льдинок или капелек воды в туче разными зарядами. Когда наэлектризованных частиц в облаке становится много, и они подходят друг к другу близко, возникает их разряжение с выделением огромного количества энергии. Ударная волна сопровождается звуком в виде грома. Гроза – это и молния, и гром, и дождь, и другие проявления стихии, а молния – это всего лишь электрический разряд, возникающий при

прохождении накопленного напряжения через узкие коридоры между положительно и отрицательно заряженными частицами тучи.

Найдены статистические характеристики пространственно-временного распределения числа гроз в Башкирии. Исследования связи аэросиноптических показателей привели к выводу о преимущественной повторяемости гроз в Башкирии при прохождении холодных фронтов. Связь числа разрядов с продолжительностью гроз линейна и имеет вид: $N=x*d$, где N -число разрядов, x -суммарная продолжительность гроз. Связь числа разрядов с числом дней с грозой определяется соотношением: $N=a*T$, где T -число дней с грозой. Коэффициенты x , d , не являются постоянными и определяются физико-географическими условиями местности. Для территории Башкирии они соответственно определяются: 0,06-0,09, 1,1-1,3.

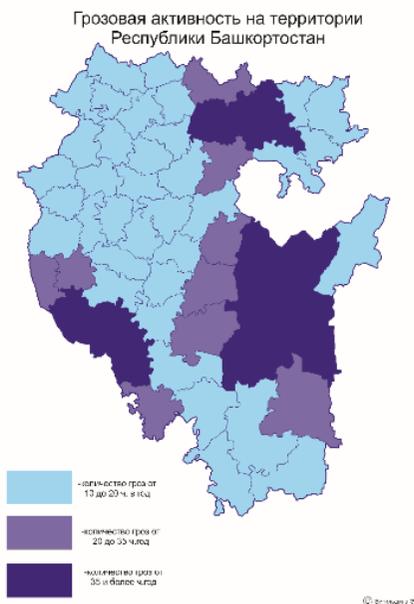


Рис. 2. Карта гроз для Башкортостана

Среднее число дней с грозой по наблюдениям в Башкортостане составляет около 48. При этом наблюдается некоторое увеличение количества дней с грозой в последние годы, по сравнению с предыдущими (табл. 1). По таблице видим, что наибольшая грозовая активность отмечается в июле месяце. Многолетняя средняя продолжительность гроз для Башкортостана около 97 часов.

Некоторые отклонения в наблюдениях характерны лишь для Белорецкого района. По-видимому, это связано с тем, что наблюдения

велись в горной части. В целом, на основе наблюдений выявляется синхронность годового числа дней с грозой и их продолжительность по всем метеостанциям республики. Однако амплитуды и их вариации по различным станциям имеют свои особенности, например, более высокие амплитуды характерны для восточной части Башкирии, по сравнению с западной. Увеличение грозовой активности в восточной части объясняется расположением станций в горных и предгорных районах- Белорецком, Бурзянском, Абзелиловском. Особенно хорошо данная активность наблюдается в стороне влагонесущих потоков, направленных со стороны запада-Атлантический перенос воздушных масс.

Таблица 1

Пример оформления расчетов по наблюдениям на метеостанциях [2]
Среднее число дней с грозой Уфа (город)

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Гроза над точкой (уд. ≤ 8 км)	0.0	0.0	0.0	0.5	2.8	4.0	2.5	4.0	0.0	0.3	0.0	0.0	14.1
Гроза в окрестностях точки (уд. ≤ 16 км)*	0.0	0.0	0.0	0.5	4.0	6.8	7.3	5.5	1.0	0.3	0.0	0.3	25.7
Гроза в ближней зоне (уд. ≤ 50 км)	0.3	0.5	0.0	2.0	9.5	14.0	13.0	10.5	3.8	1.3	0.0	0.3	55.2
Гроза в дальней зоне (уд. ≤ 100 км)	0.5	0.8	0.3	3.5	14.3	17.3	16.3	15.5	6.5	1.5	0.0	0.5	77

В заключение отметим, что на сегодняшний день изучением грозовой активности на территории нашей республики практически никто не занимается. А так как готовых карт, отражающих такие явления нет, тема остается актуальной.

Литература

1. Хуторянская Д.Ф. Грозоразрядная деятельность в Якутии, // Методы прикладной и региональной физической географии, под редакцией проф. Ю.Г. Симонова, издательство Московский Университет, 1973 г. – С.175-176.
2. Сайт метеоцентр Азия – Режим доступа: [<http://www.meteocenter.asia/>]. Дата обращения 15.10.2020.

© Бигильдина Э.Р., Адельмурзина И.Ф., 2020 г.

ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

Агаларов М.А.

Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

Разработка оперативной системы обнаружения утечек (СОУ), возникающих при авариях и других повреждениях в нефтегазовых трубопроводных сетях, является актуальной задачей как для экологической безопасности ТП сетей и для экономики всего топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Российской Федерации. Трасса ТП может быть проложена во всех районах РФ, в различных инженерно-геологических, топографических и климатических условиях.

Современная нефтегазовая сеть оснащена автоматикой, компьютерами и другой техникой для контроля, сбора, обработки, хранения и передачи информации о состоянии и гидродинамическом режиме работы магистральной ТП системы. Анализ и сравнение известных СОУ систем дан в [1-2]. Большинство СОУ систем используют линейный баланс, основанный на измерении расхода перекачки на входе и выходе ТП.

В данной работе рассматривается дистанционный метод определения локальной утечки (повреждения) на основе построения математической модели с уравнением осевой компоненты Навье-Стокса и уравнением непрерывности с δ -источником (утечкой) для течения вязкой и сжимаемой жидкости:

$$U_t + U \nabla_x U + \nabla_x P/\rho = \tau_h(\delta - \text{ф-я}) \quad (1)$$

$$(\rho U)_t + \text{div}(\rho U) = -m_\xi \delta(x - \xi) S \quad (2)$$

В системе (1-2) P -давление, U -средняя скорость движения флюида, S -площадь сечения ТП, $\delta(x)$ -дельта функции Дирана, $\tau_h = 4\epsilon_m/\rho d$, $\tau_m = -8\mu U/d$ - касательное напряжения на стенке ТП (по закону трения Ньютона) [3]. m_ξ - массовый расход на утечку (сток) за ед. времени

μ - коэффициент вязкости флюида (жидкости).

Математическая модель (1-2) является нелинейной и позволяет описывать нестационарные режимы работы ТП. Однако известно, что после кратковременного изменения динамики флюида (потока), через определенное время в ТП устанавливается стационарный режим течения с учетом расхода на утечку. В этом режиме временные производные исчезают и система (1-2) благодаря δ - функции разбивается на две зоны: от начала ТП до сечения утечки $x = \xi$ ($0 < x < \xi$) и от места утечки до конца ТП ($\xi < x < l$), где l -длина ТП. Интегрированные уравнения (1) и (2) с соответствующими граничными условиями в этих зонах и уравнение состояния жидкости $\rho = \rho_a \exp[\beta(P - P_a)]$, где β - коэффициент объемного сжатия жидкости, мы

получаем из условия разрыва массового расхода жидкости на границе формулу для массового расхода на утечку в ТП.

$$M_{\xi} = M_0 - M_e \quad (3)$$

Аналогично с учетом неразрывности давления справа и слева от сечения утечки $x = \xi$ ТП мы находим формулу для определения места утечки в ТП:

$$\xi = (P_0 - P_e - R_0 l) / (R_0 + R_e), \quad (4)$$

$$\text{где } R_i = 8\pi\mu / M_i (\sigma\delta_i - \beta), \quad (5)$$

$$\delta_i = (M_i / S)^2, \quad i=0,1, \quad S = S_{\perp} \text{ для ТП.}$$

Литература

1. Гольянов, А. А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах / А. А. Гольянов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2002. - № 10. – С. 5-14
3. Николаевский В. Н. В сб.: Вихри и волны, М.: Мир, 1984. С. 266 – 335.
4. Николаевский В. Н., Басниев К. С., Горбунов В Т., Зотов Г. А. Механика насыщенных пористых сред. М.: Недра, 1970. 335 с.

© Агаларов М.А., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ЗВУКА ОТ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Сенина А.А.

Башкирский государственный университет г. Уфа, Россия

Одним из основных и наиболее распространенных видов исследований, проводимых на промыслах, является определение статического или динамического уровня жидкости в скважине.

Оно выполняется в процессе вывода скважин на режим после ремонта; для определения состояния глубиннонасосного оборудования в процессе его работы; для расчета забойного или пластового давления при контроле за разработкой месторождений.

Как правило, уровень жидкости в затрубном пространстве скважины определяется методом волнометрирования или эхометрирования, в основе которых лежит простой алгоритм.

Фиксируется половина времени пробега акустического импульса от момента его запуска до прихода значимого отклика, которое затем умножают на значение скорости звука в затрубном газе. Получаемая при этом величина принимается за уровень жидкости в скважине.

В данной работе произведен расчет свойств газа по уравнению состояния Пенга- Робинсона, определена скорость звука в газовой смеси. В дальнейшем полученная зависимость может использоваться для определения динамического уровня жидкости и, следовательно, для определения забойного давления.

Литература

1. Акберов Р.Р. Особенности расчета фазового равновесия пар-жидкость многокомпонентных систем при использовании уравнения Сова-Редлиха-Квонга // Теоретические основы химической технологии .- 2011.-т.45, приложение №3-с.329-335.
2. Баутин С.П. Скорость звука в многокомпонентной покоящейся среде// Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49, №3-с.35-45.
3. Брусиловский А.И., Промзелев И.О. О методических подходах к уточнению PVT-свойств пластовой нефти двухфазных залежей // Актуальные вопросы исследования пластовых систем месторождений углеводородов.-2013.-с.41-45.
5. Давлетбаев А.Я., Махота Н.А. Повышение точности определения забойного давления методом эхометрирования // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений, 2014.- с.48-50.
6. Касперович А.Г., Омельченко О.А., Рычков Д.А., Турбина Т.В. Построение фазовых диаграмм углеводородных систем для анализа процессов добычи, подготовки и транспорта сырья газоконденсатных месторождений // Научно-технический сборник «Вести газовой науки».- 2014.-с.146-155.

© Сенина А.А., 2020 г.

О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ СРЕДЫ В ПЕТРОФИЗИКЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН

Кузьмичев О.Б., Мартынова Ю.В.
ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Россия

В основе любого метода скважинной геофизики лежит регистрация параметров соответствующего поля, несущего информацию не только о физических свойствах горных пород, но и об условиях измерения. Поскольку влияние отдельно взятых элементов неоднородной среды различным образом сказывается на результате измерения, для измеряемого геофизического параметра введено понятие «кажущееся значение». Для перевода измеряемых кажущихся величин в истинные решаются прямые и обратные задачи электродинамики сплошных сред, пересеченных цилиндрическими и плоскими границами.

Для решения прямых задач бокового каротажного зондирования (БКЗ), бокового каротажа (БК), индукционного каротажа (ИК) в средах с разнотипными границами широкое применение нашли конечно-разностные методы, представленные в работах Б.И. Вильге, А.С. Кашика, А.А. Колосова, Р.А. Кучерова, Е.В. Захарова, И.Г. Ярмахова, Е.В. Чадаева, В.Т. Иванова, а также и проекционно-сеточные методы, представленные в работах В.А. Пантюхина, А.Ю. Юматова.

Гибридный метод матричной прогонки коэффициентов Фурье впервые реализован В.Л. Друскиным применительно к прямой задаче БКЗ для пачки пластов, пересеченной скважиной с радиально-однородной зоной проникновения, в дальнейшем обобщен на случай радиально-неоднородной зоны проникновения Е.В. Чадаевым и В.А. Пантюхиным. В работах Ю.Н. Антонова и Л.Е. Кнеллера развиваются приближенные методы решения прямых задач ИК и БК, которые на основе обобщенной теории геометрического фактора позволяют получать быстродействующие алгоритмы для вычисления показаний зондов ИК и БК в неоднородных средах.

Рассмотрены 2D и 3D модели математической физики, используемые для перевода измеряемых кажущихся величин в истинные геофизические величины. Решения прямых задач можно отнести к классу аксиально-симметричных задач с разнотипными (плоскопараллельными и цилиндрическими) границами раздела сред. На примере каротажа самопроизвольной поляризации показано существенное различие и взаимодополняемость математических моделей каротажа (ГИС) и петрофизики.

© Кузьмичев О.Б., Мартынова Ю.В., 2020 г.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЯНЫХ СЛАНЦЕВ

Адамова Л.Х., Зиннатуллин Р.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Нефтяные сланцы это полезные ископаемые, содержащие кероген. Их объемы на порядок больше, чем открытые нефтяные запасы. При нагреве сланцев без доступа воздуха из керогена образуются жидкие и газообразные углеводороды (20-70% от первоначальной массы) [1].

Исследование диэлектрических свойств сланцев в широком диапазоне частот и температур представляет особый интерес по двум причинам. Во-первых, по частотно-температурным зависимостям диэлектрических свойств сланцев можно получить информацию о многих процессах и явлениях происходящих в этих породах при изменении условий, например при нагреве сланцев до 200 – 400°С, в результате которого из керогена генерируется нефть и газ [2]. При этом в породе могут возникнуть термоупругие напряжения, приводящие к трещинообразованию, разупрочнению и разрушению породы. Во-вторых, одним из способов добычи сланцевой нефти может оказаться электромагнитный метод нагрева. А степень взаимодействия электромагнитного поля на диэлектрические материалы зависит от диэлектрических свойств этих материалов.

Результаты исследований показали, что диэлектрические параметры исследуемых образцов нефтяного сланца на порядок выше, чем для терригенных горных пород и испытывают диэлектрическую поляризацию в диапазоне частот 50 – 125МГц. Этот факт дает хорошие предпосылки для дальнейших исследований возможности использования электромагнитного поля в процессах разработки сланцевых месторождений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00535 А.

Литература

1. Стрижакова Ю. А., Усова Т. В., Третьяков В. Ф. Горючие сланцы – потенциальный источник сырья для топливно-энергетической и химической промышленности //Тонкие химические технологии. 2019. Т. 1. №. 4. С. 76-85.
2. Мартемьянов С. М. Моделирование подземного нагрева горючих сланцев :дис. – 2013.

© Адамова Л.Х., Зиннатуллин Р.Р., 2020 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ФЛЮИДОВ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ

Ганеева А.И.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Целью работы является определение плотности флюидов в стволе горизонтальной скважины. Для каждого участка выбранного интервала глубины при помощи построения кросс-плота давления от абсолютных отметок была вычислена средняя плотность флюида. Расчет выполнялся на базе основного уравнения гидростатики:

$$P=P_0+P_{\text{ж}}=P_0+\rho gh \quad (1)$$

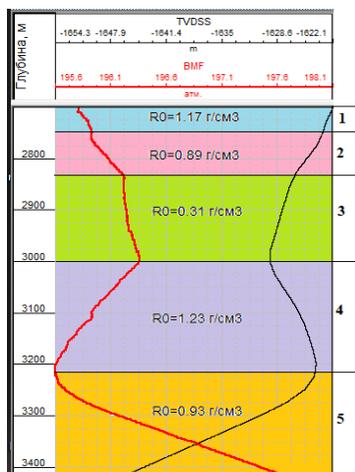


Рис. 1. Рассчитанные средние значения плотности на участках 1-5

Нахождение плотности флюидов на основе сопоставления функции аппроксимации исходных данных по давлению в скважине с уравнением гидростатики дал хороший результат, так как полученные значения плотности оказались физическими для рассмотренных условий.

Литература

1. Д.В. Гричук. «Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем»-М.: Научный мир, 1999.-2000 с.

© Ганеева А.И., 2020 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПУЗЫРЬКА ВБЛИЗИ ТВЕРДОЙ ЧАСТИЦЫ И СТЕНКИ

Бурмистров М.Е., Питюк Ю.А.

Центр микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем,
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Исследование сложных многофазных потоков, состоящих из газовых, жидких и твердых фаз, представляет значительный интерес для науки и развития новых технологий. В данной работе рассмотрена динамика пузырька в потенциальном потоке несжимаемой жидкости под действием акустического поля вблизи твердых объектов, таких как неподвижная бесконечная стенка (рис. 1 (а)) и подвижная сферическая частица (рис.1 (б)). Основная цель такого моделирования состоит в том, чтобы понять взаимодействие между пузырьком и твердым объектом, в частности, представить сравнительный анализ наличия бесконечных неподвижных и конечных подвижных объектов. Задача решалась методом граничных элементов (МГЭ), который особенно эффективен для трехмерного моделирования. Проведены многопараметрические исследования зависимости формы пузырька от расстояния до твердых объектов и амплитуды акустического поля. Изучены гидродинамические потоки, создаваемые осциллирующим пузырьком, проведен анализ динамики центра масс пузырька и частицы, построены диаграммы с особыми формами пузырька, такие как форма гриба и образование струи.

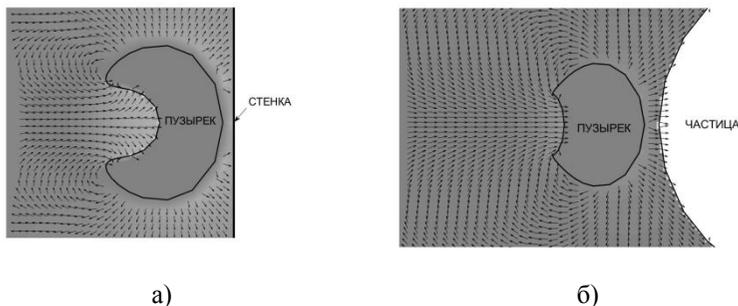


Рис. 1 Картина течений жидкости при колебании пузырька вблизи:
а) стенки; б) твердой частицы

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 18-71-00068.

© Бурмистров М.Е., Питюк Ю.А., 2020 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИН ГРП В
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПУТЕМ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В «РН-КИМ»**

Аллагулова А.Г.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время в разработку часто вовлекаются низкопроницаемые коллектора, отнесенные к трудноизвлекаемым запасам нефти. Данные коллектора характеризуются низкой проницаемостью, неоднородностью и высокой расчлененностью. В связи с чем широкое распространение получило бурение горизонтальных скважин с многостадийным ГРП (ГС с МГРП).

В данной работе путем численного моделирования в гидродинамическом симуляторе «РН-КИМ» выполнена попытка определения оптимальных параметров заканчивания ГС с МГРП для различных геологических условий.

Для определения оптимальных параметров ГС с МГРП создана секторная геолого-гидродинамическая модель одного из месторождений Западной Сибири. Проведена поскважинная адаптация на данные их эксплуатации, а также выполнен прогноз добычи жидкости по проектной ГС с МГРП.

Предварительно в симуляторе гидроразрыва пласта «РН-ГРИД» рассчитаны параметры трещин для различных объемов массы проппанта. Далее рассчитанные параметры трещин переносились в гидродинамический симулятор «РН-КИМ». При проведении многовариантных расчетов в «РН-КИМ» варьировались длины ГС, количество стадий МГРП, а также параметры трещин.

В последующем для каждого прогнозируемого уровня добычи рассчитаны экономические показатели и построены палетки зависимостей чистого дисконтированного дохода (ЧДД) от количества стадий МГРП. Полученная зависимость позволяет выбрать оптимальные параметры трещин в ГС с МГРП.

Многовариантные расчеты добычи жидкости на фильтрационной модели в «РН-КИМ» для различных случаев ГС с МГРП с учетом экономических показателей позволили построить палетки для выбора оптимальных дизайнов трещин ГРП при заканчивании скважин.

Литература

1. Викторов Э.П., Нурлыев Д.Р., Родионова И.И. Подбор оптимальных систем разработки для текущих зон бурения в условиях неопределенности геологических и технологических параметров // Нефтяное хозяйство. – 2018. - №10. С. 60-63.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В МАСЛЕ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Осипова Р.Ш., Муллаянов А.И., Мусин. А.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Работа направлена на изучение поведения эмульсионных систем типа «вода в масле» при наличии градиента температуры в среде. Проведены исследования оседания капель воды в масле. Получены зависимости скорости оседания капель от радиуса для различных температур окружающей среды и капель воды. Экспериментальные данные аппроксимированы формулой Адамара - Рыбчинского [1]. На рис.1. приведена характерная кривая скорости оседания капель от радиуса при температуре масляной фазы 23 °С.

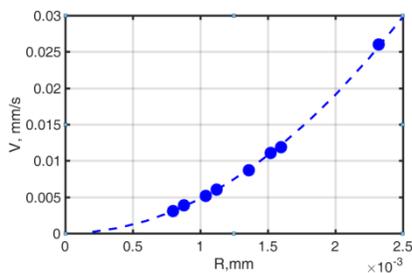


Рис. 1. Зависимость скорости оседания капли воды в масле при 23 °С

Определение положения капель во время оседания произведено с помощью цифровой обработки изображений в программном пакете Matlab. На рис. 1 видно, что экспериментальные данные хорошо согласуются с формулой Адамара - Рыбчинского. Дальнейшие исследования направлены на модификацию формулы для описания процесса оседания капли воды под действием СВЧ ЭМ поля, при котором происходит увеличение температуры капли во время оседания.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00298).

Литература

1. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. – Гос изд-во физико-математической лит-ры, 1959.

© Осипова Р.Ш., Муллаянов А.И., Мусин. А. А., 2020 г.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОДИНОЧНЫХ ПУЗЫРЬКОВ В ТРЕУГОЛЬНОМ МИКРОКАНАЛЕ

Булатова А.З., Солнышкина О.А., Фаткуллина Н.Б.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Многофазный поток наблюдается во многих химической, нефтяной, строительной, энергетической промышленности. Как известно макроскопическое поведение дисперсных во многом систем определяется их динамикой на микроуровне, поэтому моделирование многофазных потоков в микромасштабах позволяет решать многие прикладные задачи.

В данной работе приведено многопараметрическое исследование динамики несжимаемых пузырьков вязкой жидкости при медленном периодическом течении в микроканале с поперечным сечением формы треугольника. Рассмотрено влияние положения пузырька относительно осевой линии канала на деформацию и относительную скорость центра масс.

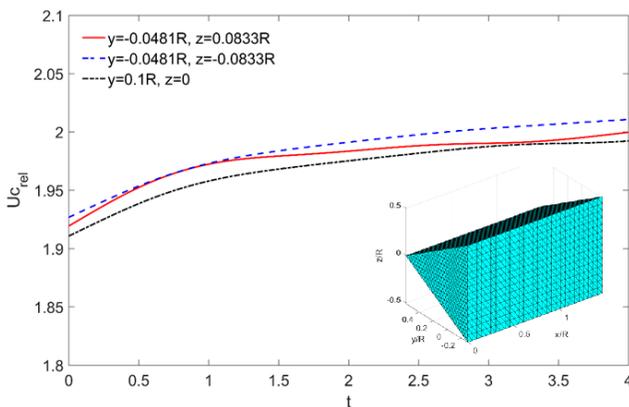


Рис. 1. Относительная скорость центра масс пузырьков радиуса $a = 0.007$ в треугольном канале

На рис. 1 представлены графики изменения относительных скоростей центра масс пузырьков равных радиусов, имеющих различные положения в канале.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (грант № 18-38-20102).

© Булатова А.З., Солнышкина О.А., Фаткуллина Н.Б., 2020 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТЕ
С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА**

Давлетшин Ф.Ф., Шарафутдинов Р.Ф.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Одной из определяющих тенденций развития нефтегазовой отрасли в настоящее время является снижение объемов добычи нефти, вызванное постепенной выработкой запасов. Активно вовлекаются в разработку трудноизвлекаемые запасы, характеризующиеся низкой проницаемостью разрабатываемых пластов и высокой вязкостью флюидов. В этих условиях актуальной является разработка эффективных технологий повышения нефтеотдачи, а также методов их контроля. В частности, одним из наиболее широко используемых методов увеличения нефтеотдачи пластов является гидравлический разрыв пласта. На сегодняшний день термометрия действующих скважин является одним из наиболее информативных методов, применяемых при контроле за разработкой скважин и диагностике продуктивных пластов [1]. Целью работы является исследование нестационарного температурного поля в пласте с трещиной гидроразрыва, анализ и оценка чувствительности температуры к параметрам трещины.

Разработана модель, позволяющая теоретически исследовать неизотермическую фильтрацию в пласте с трещиной гидроразрыва. Математически модель описывается при помощи системы уравнений, базирующихся на законе сохранения энергии с учетом термодинамических эффектов (Джоуля-Гомсона и адиабатического охлаждения), обуславливающих изменение температуры фильтрующейся в пласте жидкости, а также законах сохранения массы и импульса. Выполнены численные исследования и проанализировано влияние параметров трещины (в частности, ширины, проницаемости) на характер изменения во времени температуры жидкости, притекающей в скважину.

Литература

1. Рамазанов, А.Ш. Теоретические основы скважинной термометрии [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Ш. Рамазанов; Башкирский государственный университет. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. – 114 с.
2. Шарипов А.М., Шарафутдинов Р.Ф., Рамазанов А.Ш.

© Давлетшин Ф.Ф., Шарафутдинов Р.Ф., 2020 г.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСТИ ПРИ ПОДОГРЕВЕ СВЕРХУ

Шайситдикова И.И., Мусин А.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Рассматривается неизотермическое расслоение водонефтяной эмульсии в прямоугольной полости при нагревании ее верхней грани. Математическая модель включает в себя систему уравнений сохранения массы и энергии дисперсной фазы и дисперсионной среды, которые сводятся к решению уравнения диффузионного типа, записанное с учетом действующих на капли эмульсии сил и уравнения теплопроводности. Система уравнений решалась численно, методом контрольного объема по неявной схеме в программной комплексе OpenFoam. Известно, что с ростом температуры вязкость эмульсии уменьшается, это связано главным образом с уменьшением вязкости дисперсионной среды сильно, слабо и средне зависящие от температуры. На рис. 1 представлена имитация разного состава нефти.

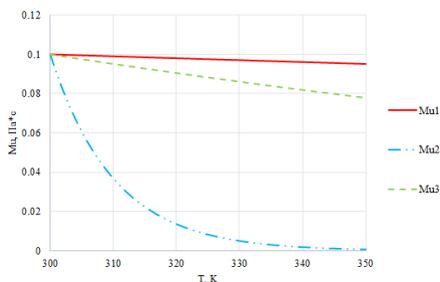


Рис. 1. График зависимости вязкости от температуры для разных нефтей

В результате моделирования получены распределения температур, концентрации капель эмульсии по высоте, в разные моменты времени для различного состава нефти и начальной концентрации капель эмульсии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-11-00298).

Литература

1. Tjoeng, A. Y., & Loro, R. Viscosity Modelling of Pyrenees Crude Oil Emulsions. // Society of Petroleum Engineers. – 2016 – 18p.

© Шайситдикова И.И., Мусин А.А., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ВАРИАНТАМИ РЕМАСШТАБИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИИ

Муталлапов И.Д.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

При гидродинамическом моделировании возникает проблема расчета с моделями большим числом ячеек. Расчет с большим числом ячеек занимает неоправданно много времени, а для крупных объектов практически вообще невозможен. В связи с этим требуется уменьшить детальность модели, загрузить ее, с сохранением основных особенностей многофазных течений [1]. Укрупнение сетки в данном случае выполняется последовательным объединением слоев. Выбор слоев для укрупнения основан на минимизации величины неоднородности.

$$P_{i,j,k} = \left(NTG \cdot \frac{k}{\phi} \right)_{i,j,k} \quad (1)$$

Целью работы является повышение скорости счета гидродинамического моделирования по месторождениям со сложным строением пустотного пространства. Ключевой идеей проекта является ускорение этапов адаптации и прогнозирования в гидродинамических моделях путем применения методов ремасштабирования свойств.

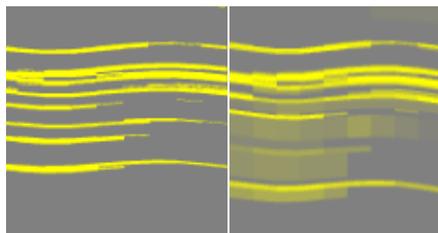


Рис. 1. Ремасштабированный разрез и разрез без ремасштабирования

На рис. 1 представлено сравнение ремасштабированного разреза с оригиналом.

Литература

1. Kyte, J.R. and Berry, D.W.: “New Pseudo Functions to Control Numerical Dispersion”, SPEJ, August 1975, pp. 29-30.

© Муталлапов И.Д., 2020 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА

Хисамов А.А.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящее время для интенсификации нефтегазодобычи из коллекторов с трудноизвлекаемыми запасами широко используются технологии гидроразрыва пластов. Моделирование процессов фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва достаточно полно развито в приближении стационарной фильтрации. Нестационарные процессы распределения давления рассмотрены применительно к теории гидродинамических методов исследований скважин, в которой рассматриваются асимптотически ограниченные интервалы изменения координат и времени (расстояния порядка радиуса скважины и времена, немного меньшие чем характерное время процесса фильтрации). В то же время, в коллекторах с трудно извлекаемыми запасами (малые проницаемости пласта и высоковязкие нефти) продолжительность нестационарных процессов распределения давления может быть одного порядка с характерным временем фильтрации в пласте. В данной работе представлены новые аналитические решения задачи о нестационарном распределении давления вокруг скважины, пересеченной вертикальной трещиной. Научная новизна работы заключается в том, что в модели учитывается сжимаемость жидкости в трещине и фильтрация жидкости не только в трещине, но и в пласте. Решения задач построены методом преобразований Лапласа. В частных случаях из полученных решений следуют известные в литературе выражения. Проведен анализ полученных аналитических решений, позволяющий определить основные характерные особенности рассматриваемых процессов фильтрации.

Литература

1. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Моделирование нестационарной фильтрации вокруг скважины с вертикальной трещиной гидроразрыва // Вестн. Башкирского ун-та. 2017. Т. 22. № 2. С. 309–314.
7. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. К теории билинейного режима фильтрации в пластах с трещинами гидроразрыва // Вестн. Башкирского ун-та. 2018. Т. 23. № 4. С. 958–963.
8. Хабибуллин И.Л., Хисамов А.А. Нестационарная фильтрация в пласте с трещиной гидроразрыва // Механика жидкости и газа», Известия Российской академии наук, номер 5, 2019 г. С. 6-14.

© Хисамов А.А., 2020 г.

АНАЛИЗ ПЕТРОУПРУГИХ СВОЙСТВ ПЛАСТА ВСКРЫТЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ С ПИЛОТОМ ПО ДАННЫМ КЕРНА И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нугаева Н.М.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Наличие сведений о характере и структуре порового пространства коллекторов, позволяет оптимально выбрать способы ввода их в эксплуатацию, прогнозировать устойчивость ствола скважин при бурении и при работе в условиях необсаженного ствола.

Основной идеей исследования является проведение методов восстановления[1,2] и экстраполяции (рис.1) каротажных кривых для корректного моделирования петроупругих свойств пласта при неполном комплексе геофизических исследований.

$$Y=1,743036x+20,944683, R^2 = 0,877085 \quad (1)$$

$$y=8,6803x^{-0,232}, R^2 = 0,5196 \quad (2)$$

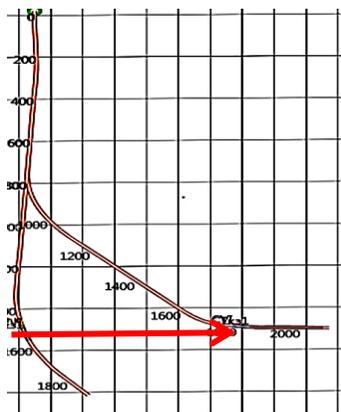


Рис. 1.Метод экстраполяции, как перенос каротажных данных с пилотной части на горизонтальную часть вдоль напластования

Литература

1. Плакс Д.П., Бабец М.А. Разработка месторождений полезных ископаемых - Минск: БНТУ, 2016. 142 с

© Нугаева Н. М., 2020 г.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ СУСПЕНЗИИ В НАКЛОННОМ КАНАЛЕ

Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А., Ковалева Л.А.
Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

При моделировании течений суспензий необходимо учитывать множество параметров, таких как характеристики потока, поведение потока в каналах различной геометрии, а также концентрацию, форму, размер и распределение частиц по размерам [1].

В данной работе моделируется течение дисперсной системы, состоящей из твердых сферических частиц и вязкой несжимаемой жидкости, в канале прямоугольной формы при различных углах наклона.

Математическая модель, написанная в одножидкостном приближении, включает уравнение неразрывности для фаз, уравнение движения смеси, уравнение баланса масс в виде уравнения конвективной диффузии для переноса объемной концентрации частиц. Система уравнений математической модели решена методом контрольного объема в программном пакете OpenFoam.

На рис.1 представлено поле скоростей и линии тока в канале при угле наклона 45° и скорости закачки жидкости 0,08 м/с. При заданных условиях наблюдается завихренность течения за фронтом вытеснения, которая приводит к размытию фронта.

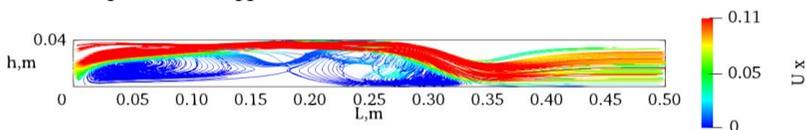


Рис. 1. Поле скоростей и линии тока в канале

Проведено исследование динамики распределения частиц в потоке и седиментации по длине канала в зависимости от значений скорости закачки жидкости и угла наклона канала относительно горизонта. Показано, что при высокой скорости закачки в горизонтальном канале, возникающее у входа в канал вихревое течение не оказывает сильного влияние на формирование фронта частиц в глубине канала.

Литература

1. Соковнин О.М., Загоскина Н.В., Загоскин С.Н. Гидродинамика движения частиц, капель и пузырей в неньютоновских жидкостях. М.: Наука, 2019. 215 с.

© Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А., Ковалева Л.А., 2020 г.

СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»

УДК 373

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В СРЕДНЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Пономаренко А.А.

Башкирский педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Был проведён анализ проблем организации исследовательской работы в средней образовательной школе в современных условиях. Были выявлены аспекты проблематики школьного образования:

- 1) У учеников в основном «клиповое мышление», поверхностное, отвлечённое от действительности;
- 2) в классном коллективе необходимость углубленности знаний, расходов сил, которые необходимы для исследовательской работы не представляется необходимой и оправданной;
- 3) неготовность учителей к организации исследовательской деятельности школьников, т.к. существует мало методической литературы по организации исследовательской деятельности;
- 4) отсутствие материально-технической базы средней школы;
- 5) существует проблема критериев оценивания исследовательских работ.

Литература

1. Алексеев Н. Г., Леонтович А. В. Критерии эффективности обучения учащихся исследовательской деятельности [Текст] / Н. Г. Алексеев, А. В. Леонтович // Развитие исследовательской деятельности учащихся: Методический сборник. М.: Народное образование, 2001..
2. Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения. М.: «Педагогика», 1986.
3. Лебедева О. В. Принципы организации исследовательской деятельности в учебном процессе по физике в средней школе [Текст] / О. В. Лебедева //Наука и школа. 2012. N4.

© Пономаренко А.А., 2020 г.

КОМПЕТЕНЦИИ И КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ: РАЗУМНЫЙ КОМПРОМИСС

Абдуллин А.У., Акманова Г.Р.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия
853, 378.14

В заголовке статьи, кажется, просматривается противоречие: как же так, ведь внедрение компетентного подхода как раз и направлено на улучшение качества образования? Но по большому счету компетенции есть категория, понятная преимущественно работодателям. И вводимая по их настояниям!

Рассказывают, что знаменитый авиаконструктор Александр Сергеевич Яковлев, комментируя свои трения с Министерством обороны, говорил: «Мы обязаны дать им не то, что они просят, а то, что им надо!» По емкости высказывание не уступает знаменитому поэту-тезке! Вот и мы скромно полагаем, что «кто-то кое-где у нас порой» из заказчиков не до конца осознают собственные потребности. И вслед за ними те же ошибки совершают разработчики государственных стандартов по направлениям обучения. Кроме того, как нам кажется, компетенции у нас подчас разрабатывают не эксперты с производства и не «практикующие» преподаватели, а чиновники от образования, только на заре своей далекой юности преподававшие в вузе и столь же редко бывающие на предприятиях.

В прошлой статье [1] мы отмечали, что далеко не все рядовые предметники живут по принципу: в РПД пишем одно, а на занятиях проводим другое. В меру своих сил многие пытаются «вспоминать» о компетенциях не только при аккредитации и размещении РПД на сайте. Но правда заключается в том, что в рамочные формулировки компетенций каждый вкладывает свой конкретный смысл, который порой расходится с намерениями разработчиков компетенций. И в целом конфликт интересов между разработчиками компетенций и преподавателями-предметниками – вещь не надуманная, а реально существующий факт.

В настоящем докладе мы идем «на мировую» и хотели бы обсудить «условия компромисса».

Литература

1. Абдуллин А.У., Акманова Г.Р. Конфликт интересов при реализации компетентного подхода в вузе: разработчики компетенций и преподаватели – «предметники». // Сборник материалов V Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования». г.Уфа, 2019 г. С.6-8.

© Абдуллин А.У., Акманова Г.Р., 2020 г.

РЕАЛИЗАЦИЯ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ ИНФОРМАТИКИ

Вдовкина А.С., Третьякова Н.В.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

В смешанном обучении необходимо применять электронные ресурсы, которые обладают некоторыми особенностями: это модульность, то есть объединение учебных тем в самостоятельные блоки, последовательность и время на изучение которых можно самостоятельно выбирать. Во-вторых, это разноразность: электронные ресурсы должны раскрывать потребности учеников с разным образовательным потенциалом. В-третьих.

Рассмотрим пример реализации модели «Перевернутый класс» на уроке 7 класса по теме «Файлы и файловая система» учебника Л.Л. Босовой. [1]

Учащиеся дома повторяют материал в системе дистанционного обучения необходимый для усвоения новой темы. Далее просматривают учебные видео-материалы.

«Перевернутый класс» этап для отработки, уточнения и выявления проблемных моментов просмотренного видео-материала, учащимся предлагается выполнить 3 задания по содержанию видео-материала по теме «Файлы и файловая система»: «Хочу спросить...» (учащиеся задают вопросы, что им не понятно по данной теме); «Это важно...» (учащиеся выделяют основные моменты, которые они считают важными по данной теме); «Вопрос соседу...» (учащиеся составляют вопросы, которые бы хотели задать однокласснику). Совместно с учителем акцентируются основные моменты темы, подробно разбирают имя файла и путь к файлу, рассматриваются два способа удаления файлов и папок, выделяют основные операции над файлами.

Урок, проведенный с помощью модели «Перевернутый класс» показал, что учащиеся более ответственно относятся за свое обучение, получают доступные и качественные электронные образовательные ресурсы для изучения нового материала, создаются условия для самостоятельного осмысленного изучения темы, так же условия для развития ИКТ – компетентности.

Литература

1. Босова Л. Л. Информатика. 7 класс: учебник Босова Л. Л., Босова А. Ю. М: Бином, Лаборатория знаний, 2016.

© Вдовкина А.С., Третьякова Н.В., 2020 г.

ТЕНЗОР ИНЕРЦИИ «ПЕРВАШАМ»

Абдуллин А.У.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

В настоящем докладе мы продолжаем обзор «трудных мест» вузовской механики из курса общей физики [1]. В случае с тензором инерции главную сложность представляет даже не математика, а слишком абстрактный характер рассматриваемого предмета. Для первокурсников наиболее понятны наглядные объекты, и каждый лектор стремится эту наглядность вывить.

При выводе тензора инерции за раскрытием двойного векторного произведения, получением системы линейных уравнений относительно компонент угловой скорости, приведением ее к матричному виду студенту очень трудно разглядеть физику. Возвращает его к «неба» математических дебрей на прочную физическую «землю» только постоянное выявление связи тензора инерции с моментом инерции. Момент инерции тела для студента – уже более наглядный объект, который можно «пощупать» на конкретных примерах. Он, как мостик, соединяет матричные уравнения и физический опыт.

Во-первых, надо обязательно сделать упор на физическом смысле диагональных элементов тензора инерции (моменты инерции относительно координатных осей). Во-вторых, получить формулу для выражения момента инерции тела относительно произвольной оси, задаваемой единичным вектором \vec{n} , через тензор инерции. В-третьих, наглядность придает и рассмотрение эллипсоида инерции. Наконец, неоценимую помощь оказывает лабораторная работа «Определение моментов инерции твердых тел с помощью крутильных колебаний», в которой можно определять моменты инерции тел относительно различных осей, составляя своеобразную «карту» моментов инерции.

К сожалению, на многое из перечисленного после сокращения лекционных часов просто не хватает времени. Первой «жертвой» у меня пал эллипсоид инерции. Если так пойдет дальше, то и самим тензором инерции придется вскоре пожертвовать. А жаль. В погоне за упрощением теории ради достижения мифических компетенций мы многое теряем. Ведь еще Карл Маркс писал: «Нет ничего более практичного, чем хорошая теория».

Литература

1. Абдуллин А.У. Как разобраться с моментами. // Сборник материалов V Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования». г. Уфа, 2019 г. С.202-204.

© Абдуллин А.У., 2020 г.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Рубцов И.А.

Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия

В статье рассматриваются вопросы упрощения обучения техническим наукам, поиска способов решения вычислительных математических задач.

В современном мире технические науки за счёт того, что они всё больше структурируются, дополняются и усложняются в процессе изучения определенных явлений, могут показаться сложными, а некоторые задачи непонятными или нерешаемыми.

С процессом цифровизации и компьютеризации, внедрением новых технологий и использованием их в нашей повседневной жизни в помощь ученым, студентам или даже ученикам школ предлагаются различные способы, которые помогают решить те или иные задачи.

Сейчас уже существует большое множество инструментов, которые помогают решать задачи любой сложности в математике и науках смежных с ней. В основном, это определенные приложения или интернет-сайты, специализированные для решения этих задач.

Вот примеры нескольких таких приложений:

Photomath – приложение, созданное в 2004 г. на языке Java, способное решать математические задачи различной сложности, от простейших вычислительных примеров, нахождения производной [1] до построения графиков функций. А также помимо прочего это приложение помогает решать задачи посредством фотокамеры мобильного устройства, для этого нужно навести камеру на пример и сразу вы получаете результат.

Microsoft Math Solver – приложение, созданное корпорацией Microsoft. Его отличительной особенностью является то, что помимо обычного ввода примера, это приложение имеет возможность рукописного ввода.

Mathway – приложение, сходное по функционалу с Photomath, однако Mathway имеет более расширенный функционал, возможность вариативности действий с определенными задачами, а также набор инструментов для решения задач из курса Химии [3], Статистики [4].

Мобильная математика – приложение, которое помимо инструментов для вычислений включает в себя большое количество теоретического материала по алгебре, геометрии, математическому анализу [1].

Рассмотренные приложения имеют схожий функционал, но при этом каждое из них выделяется определенной особенностью. Однако у всех есть одно общее сходство – они могут существенно помочь ученику школы или студенту, которые сталкиваются с трудностями в решении определенных математических задач. Данные приложения можно использовать при составлении лабораторных работ по математике [2], создании

исследовательских проектов. В системе онлайн-обучения использование приложений повышает познавательный интерес студентов, демонстрирует способы поиска и изучения материала.

Литература

1. Кремер Н. Ш. Высшая математика для экономического бакалавриата: учебник и практикум / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, И. М. Тришин, М. Н. Фридман; под ред. Н. Ш. Кремера. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2012. — 909 с.
2. Куликова О.В., Кныш А.А. Проведение лабораторных практикумов со студентами колледжа при изучении математических дисциплин // Вопросы педагогики. 2019. № 12-1. С. 118-121.
3. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберг. – 1984.
4. Шимко П. Д. Статистика / П. Д. Шимко, М. П. Власов. – 2003.

© Рубцов И.А., 2020 г.

УДК 372.853

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БИОФИЗИКИ В КЛАССАХ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Рахимкулова И.Е.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
г. Стерлитамак, Россия

Современный этап подготовки обучающихся старших классов осуществляется по двум основным направлениям: химико-биологический и физико-математический. Одним из популярных является направление медико-биологического профиля, так как многие обучающиеся собираются посвятить себя биологии, медицине и соответствующим дисциплинам.

Методика преподавания предмета «Физика» на уроках медико-биологического профиля аналогична стандарту обучения физике в классах физико - математического профиля, однако сам предмет во всех учебных планах фигурирует как «Физика», а не «Биофизика», что тоже является не совсем корректным, так как даже при включении физики в раздел профильных предметов обучение производится с углублением физико - математические вопросы, что в норме является неверным, а именно представляет собой стандартный курс общей физики, в который не включены разборы преподаваемых разделов биологии, медицинской химии и физики, а также не описаны основные нюансы углубления в биологические процессы.

Следующим важным фактом является то, что преподаватели данного предмета являются по своей сути подготовленными лишь в вопросах общей физики как таковой. Вопросы, которые касаются биологических систем их превращений в физическом аспекте, они знают либо поверхностно, либо не имеют профильных знаний, что, в свою очередь, не способствует правильному учебному процессу. При этом стоит отметить, что дефицитом является литература для классов медико - биологического профиля, как правило, это учебники по общей физике базового уровня, а не профильного. Основной объем учебников, который необходим для обучения биофизике, печатается небольшими тиражами, и в основном доступен для высших учебных заведений в соответствии и с их направлениями. Правильным является применение таких учебников как «Медицинская биофизика», «Биофизика» и прочих других, но при этом адаптированных для учащихся школ.

Немаловажным является проблема обеспечения школьных кабинетов необходимым оборудованием для изучения биофизики. Кабинеты, должны располагать оборудованием для проведения физико-биологических опытов, что в свою очередь позволит повысить кругозор и подготовить школьников к проведению данных опытов в дальнейшей перспективе.

Последний пункт касательно оборудования, является самым трудно осуществимым, так как требует больших бюджетных затрат.

Если вопрос об оборудовании не является таким критичным, то первые два нюанса являются основополагающими для правильного обучения.

Решения данной проблемы по преподаванию биофизики, следует его введение либо в учебный план, как самостоятельный предмет, либо введение его в учебный процесс, как факультатива или элективного курса для данного профиля.

Если внедрить в учебный процесс дисциплину «Биофизика» среди обучающихся с 7 по 9 класс, то это нововведение обеспечит пласт знаний в будущем среди 10-11 классов, что, в свою очередь, приведет к:

- повышению уровня знаний и способности применять освоенные обучающимися межпредметные понятия и универсальные учебные действия в учебной, познавательной и социальной практике;
- повышению уровня познаний об окружающем мире и расширение кругозора;
- формированию представлений о системообразующей роли физики для развития других наук;
- подготовке к поступлению в вузы.

Следующий по решению и при этом очень важный вопрос - подготовка кадрового состава для преподавания биофизики в школьном звене у обучающихся в медико - биологическом классе.

Решением данного вопроса могут являться: приглашение для преподавания курса «Биофизика» лиц из медицинских вузов и вузов, где

имеются кафедры и факультеты по данной тематике и повышение квалификации у преподавателей физики в школах по данной дисциплине.

Наиболее удобным и выгодным, с точки зрения общеобразовательного учреждения, будет считаться совместная разработка учителей физики и биологии методики преподавания биофизики в медико - биологических классах. Это могут быть: элективные курсы, факультативы, кружки, интегрированные уроки, совместные лабораторные занятия и экскурсии.

Разрабатываемые материалы могут быть использованы в профессиональной деятельности учителя физики и биологии, а также при изучении методических дисциплин в бакалавриате и магистратуре педагогической направленности.

Литература

1. Каримов М.Ф., Камильянов Р.Ф. Изучение элементов биофизики старшеклассниками среднеобразовательных школ // Международный научный журнал «Символ Науки» № 1-2/2018- С.148-149.
2. Томилов А.В. Особенности структуры и содержания курса физики в профильной школе // Мир науки, культуры, образования № 2 (39) 2013- С. 81-84.

© Рахимкулова И.Е., 2020 г.

УДК 372.853

МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ СВЯЗИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ

Салахутдинова Г.З.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, г. Стерлитамак, Россия

Актуальность проблемы межпредметных связей (МПС) обусловлена процессом интеграции наук. Крупнейшие научные открытия и решение сложных технических проблем в современных условиях чаще всего осуществляются в результате комплексных исследований, опирающихся на взаимодействие многих наук.

Реализация МПС в процессе обучения на уроках физике – важный вид учебной деятельности. При всем этом задачи межпредметного характера, в том числе, различный познавательный материал, в котором прослеживается связь физики не только с предметами школьного курса, а также имеет связь с жизнедеятельностью человека, выступают и как цель, и как средства обучения. Данный материал, играя роль метода обучения, также выполняет ряд других функций, такие как познавательные, развивающие, организующие, контролирующие.

В таком случае возникает вопрос: как создать условия для более качественного обучения физике в рамках времени, определяемого учебным планом школы? Предметная система образования дает возможность обеспечить учащимся приобретение новых знаний в области отдельных наук. Это обстоятельство выдвинуло перед педагогической наукой проблему МПС как одну из актуальных проблем.

Взаимодействием межпредметных связей физики с другими предметами не является новой. На данный момент в общетеоретическом плане методика преподавания межпредметных связей обширно разработана. Этим вопросом занимались такие известные преподаватели классики, как Коменский Я.А., Ушинский К.Д., Крупская Н.К. и более современные учёные, как Максимова В.Н., Усова А.В., Водовозов В.И.

При применении МПС есть проблема, которая заключается в том, что учителю физики необходимо иметь знания не только в области физики, но и математики, биологии, химии, географии и других предметов. Осуществление межпредметных связей в процессе обучения активизирует познавательную и мыслительную деятельность и, как следствие, увеличивает успеваемость обучающихся.

Поэтому многие учителя делают акцент на совместной работе с другими учителями-предметниками, что называется междисциплинарной разработкой программ с помощью кооперативного обучения с учителями. Как правило, преподаватели считают, что междисциплинарные исследования полезны, но у них нет четких идей, как это сделать.

Одним из путей решения этой проблемы является подготовка будущих учителей по программам довузовского педагогического образования. Это также является необходимостью новой программы обучения по обоим предметным областям в средних школах. Для практикующих учителей было бы полезно изучать курсы по МПС, которые должны включать определенные конкретные мероприятия или примеры того, как соотносить или интегрировать обе дисциплины.

Работа учителя по изучению реализации межпредметных связей физики с другими предметами необходима и актуальна по ряду причин:

1. Методика осуществления МПС физики с другими предметами имеет аксиологическую основу, т.е. направлена не только на вооружение обучающихся суммой определенных знаний, но и системой ценностей (научных и гуманистических). Основным показателем сформированной системы ценностей у обучающегося является самореализация и самоутверждение учащегося в деятельности.

2. Применение методики формирования ценностного отношения к физическим знаниям на межпредметной основе значительно увеличивает учебно-познавательную деятельность обучающихся на уроках физики, способствует улучшению качества знаний по предмету, способствует осознанию учащимися процесса познания как ценности.

3. Методика реализации МПС в процессе обучения физике обеспечивает выполнение не только обучающей, но и развивающей, и воспитательной функций учебного процесса, оказывая положительное влияние на культуру коммуникативной и интеллектуальной деятельности обучающихся, на развитие их творческих возможностей и уровня методологических знаний.

Благодаря этому учащиеся могут достичь не только функциональной грамотности и информированности, но и более широкой образованности, составляющей часть общей культуры человека.

Таким образом, использование МПС на уроках физики обеспечивает формирование ценностного отношения обучающихся к физическим знаниям, подтверждением чего является успешное использование школьниками теоретических знаний по физике при объяснении явлений и процессов окружающей действительности; применение физических законов и теорий для решения задач и выполнения исследовательских заданий.

Литература

1. Оруджев, В.О. Роль межпредметной связи в повышении эффективности преподавания физики в средних школах // Молодой ученый. — 2009. — № 5 (5). — С. 199-200.
2. BaukanZ., AlevN.etal. Physics and mathematics teachers' ideas about topics that could berelated or integrated // Procedia Social and Behavioral Sciences 2 (2010) P. 1558–1562.

© *Салахутдинова Г.З., 2020 г.*

УДК 372.851:004

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИКТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Юлбарисова Ю.Ш.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,
г. Стерлитамак, Россия

Для осмысления, применения знаний, и чтобы математика не была «скучной», «сухой», непреодолимой, нужно использовать активные методы обучения.

В своей опытно-экспериментальной работе мы исследовали эффективность применения образовательной платформы, такой как Articulate Storyline для формирования познавательного интереса учащихся.

Платформа Articulate Storyline имеет достаточно простой интерфейс, который во многом похож на программное обеспечение Microsoft Office PowerPoint, но функциональных возможностей имеет больше.

Если учащийся отвечает правильно на поставленный вопрос, то у интерактивного помощника появляется фраза «Молодец!», как это показано на рисунке 1, иначе у помощника появляется фраза «Подумай!».

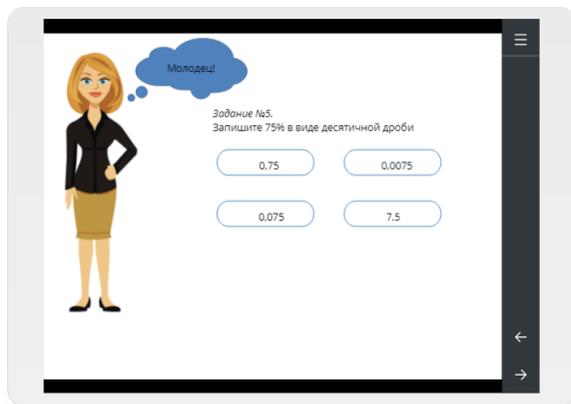


Рис. 1. Скриншот фрагмента теста по теме: «Определение процента»

Для определения уровня интереса к предмету у учеников проводилось анкетирование по методике В.С. Юркевича [2].

Результаты исследования подтвердили эффективность использования ИКТ-технологий на уроках математики для повышения познавательного интереса учащихся.

Литература

1. Щукина Г.И. Активизация познавательной деятельности учащихся в учебном процессе.-М.:Просвящение, 1979.- 160 с.
2. Юркевич В.С. Развитие творческой активности школьников. – М.: Педагогика, 1991. – 160 с.

© Юлбарисова Ю.Ш., 2020 г.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ В PYTHON

Упаев К.А.

Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, Россия

Данная статья предназначена для приобщения любителей математики к языку программирования Python 3. Простой относительно других языков программирования синтаксис данной программы позволяет пользователю не задумываться по поводу оформления программного кода и уделять больше времени продумыванию самого алгоритма программы. Это ускоряет рабочий процесс и повышает продуктивность.

Математических операций в разы больше того объема, который предоставлен в статье, так как расширенный интерфейс и функционал данного языка программирования, который ежегодно дополняется новыми возможностями, не оставляет шанса пользователям в полной мере овладеть им.

Для начала стоит разобраться в имеющейся «Книге чисел» языка Python версии 3. В данном языке программирования можно работать с целочисленными значениями, вызвав их командой `int()`, с дробными, как с обыкновенными, так и с десятичными, вызвав их командой `float()`, а также с комплексными числами, набрав команду `complex()`. Для создания комплексного числа можно использовать функцию `complex(a, b)`, в которую, в качестве первого аргумента, передается действительная часть, в качестве второго – мнимая. Либо записать число в виде $a + bj$. У комплексного числа можно извлечь действительную и мнимую части командами `x.real()` и `x.imag()` соответственно. А чтобы получить комплексносопряженное число, необходимо использовать метод `conjugate()`, тогда, например, число $4+2j$ преобразуется и будет выглядеть следующим образом: $4-2j$. С данными типами чисел можно производить большое количество математических операций, часть из них даже встроена в саму систему Python 3.

«Синтаксический сахар» в Python - это одна из возможностей данного языка программирования. Представим, что имеется определенное значение у переменной «b», а также есть переменная «a», которую нужно увеличить до строго обозначенного предельного значения, используя переменную «b», тогда не нужно писать как во многих языках программирования « $a = a + b$ », а можно сократить эту запись и написать более корректно « $a += b$ ». Переменной «a» присвоится новое значение, которое будет больше прежнего на количество единиц в переменной «b». Эта краткая и «отшлифованная» в плане математических законов запись, позволила увеличить количество пользователей Python из кругов математиков.

Данные действия, производимые над операцией сложения, можно аналогично проводить и над другими математическими операциями, такими

как вычитание, умножение, деление, возведение в степень, а также остаток от деления, для которого имеется знак «%», и целочисленное деление, знак «//».

Производить математические операции можно не только в десятичной системе счисления, но также в двоичной «bin(m)», восьмеричной «oct(m)» и шестнадцатеричной «hex(m)», где m – любое целочисленное значение в десятичной системе счисления.

Стоит отметить, что над вышеперечисленными операциями можно работать в Python 3 с помощью встроенной библиотеки, но она не полная, и чтобы расширить возможности данного языка программирования, нужно предварительно импортировать дополнительный модуль командой «import math». Это позволит использовать ряд дополнительных функций, например, «math.ceil(x)». Данная функция округляет введенное значение до ближайшего целого числа большего, чем x . Можно производить логарифмические операции с различным основанием, как над имеющимся числом, так и над выражениями, состоящими из переменных, значения которых нужно предварительно вести командой «input()».

Незамысловатый синтаксис Python'a позволяет быстро адаптироваться к данной среде, и систематически улучшать навыки в использовании им. После изучения различных источников по языку программирования Python третьего поколения [2, 3, 4] и личного опыта отметим полезность включения в образовательную программу данного языка программирования. Из этого может получиться весьма прогрессивный подход в обучении нового поколения, где обучающийся сам ищет ответ на поставленную задачу, в процессе чего запоминает и путь решения. В организации учебного процесса могут составляться и использоваться лабораторные работы [1].

Литература

1. Куликова О.В., Кныш А.А. Проведение лабораторных практикумов со студентами колледжа при изучении математических дисциплин // Вопросы педагогики. 2019. № 12-1. С. 118-121.
2. Саммерфилд М. Python на практике. — Перевод с английского. — М.: ДМК Пресс, 2014. — 338 с.
3. Хахаев И. А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python. Учебник. — М.: Альт Линукс, 2010. — 126 с.
4. Чаплыгин А. Н. Учимся программировать вместе с Питоном. Учебник. — ревизия 226. — 135

© Унаев К.А., 2020 г.

**МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И
ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ
В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ**

Мухамедьянова Г.С.

Стерлитамакский филиал Башкирский государственный университет,
г. Стерлитамак, Россия

В настоящее время экологическое и патриотическое воспитание молодежи является важной задачей современного общества и представляет собой важные компоненты социальной целостности. Патриотическое воспитание призвано формировать патриотическое сознание граждан как важнейшей ценности, одной из основ духовно-нравственного единства общества. А экологическое воспитание — проблема очень актуальная. Это связано с тяжелой экологической ситуацией на Земле. Экологические проблемы носят глобальный характер и затрагивают все человечество. Немаловажную роль в экологическом воспитании и воспитании патриотизма играют общественные, ветеранские, экологические организации, образовательные учреждения, а также семья.

Данная работа посвящена проблеме в реализации экологического и патриотического воспитания в школе на уроках физики. Цель: показать, что социальное партнерство между образовательными учреждениями и иными организациями, а также, организация уроков физики в школе играет огромную роль в воспитании подрастающего поколения.

Из анализа экологических факторов следует, что многие из них (температура, влажность, освещенность и др.) являются физическими величинами и понятиями, что и определяет важность физических знаний для решения экологических проблем. Действительно, становление любой биологической структуры и ее функций зависит, прежде всего, от той физической среды, в которой обитает живой организм.

Литература

1. Томилов А.В. Особенности структуры и содержания курса физики впрофильной школе // Мир науки, культуры, образования № 2 (39) 2013-С. 81-84.

© Мухамедьянова Г.С., 2020 г.

ДОПОЛНЕННАЯ И ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ

Сагадиева Э.А.

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, г.
Стерлитамак, Россия

Когда AR/VR-технологии встречаются в образовании, они имеют потенциал быть беспроеигрышным вариантом. Основная проблема при разработке VR-приложения для образования заключается в том, что вам приходится создавать многие элементы с нуля. Однако можно разработать приложения-конструктор, которые могут дать учителям возможность самим создавать AR/VR-приложения для образовательных целей, используя доступные наборы инструментов и шаблоны.

В качестве дополнительного эффекта - это также может подтолкнуть более широкое внедрение технологий VR и AR среди людей (поскольку люди, использующие новейшие технологии для образования, обычно продолжают использовать эти технологии позже в жизни.)

Статистика образования в виртуальной реальности [2]:

- 97% студентов хотели бы изучать курс виртуальной реальности;
- Ожидается, что образование станет 4-м по величине сектором для инвестиций в VR;
- VR в образовании, по прогнозам, будет стоить 200 миллионов долларов к 2020 году и 700 миллионов долларов к 2025 году;
- 93% учителей сказали, что их ученики были бы рады использовать виртуальную реальность;
- 7 из 10 учителей хотят использовать VR для имитации опыта, который имеет отношение к материалу, рассматриваемому в классе.

Одной из проблем современной системы образования является ограниченная способность описывать и иллюстрировать сложные понятия и объяснять их более практичным и доступным способом. Нынешний способ объяснения вещей часто является и преимуществом, и упущением так, как некоторые учащиеся получают необходимые знания и умения, в то время как другие не могут сделать это должным образом [3]. Хотя это менее сложная задача в гуманитарных науках, она становится критической, когда речь заходит о физике, химии и биологии. Образовательные приложения дополненной и виртуальной реальности могут сделать процесс объяснения сложных концепций менее сложным, добавив интерактивный аудиовизуальный фактор.

Такие проекты, как аугментация образования, раздвигают границы возможного в этой сфере. Этот инструмент предназначен для презентаций, моделирования и базового 3D-дизайна. Он относительно прост в использовании и может считаться чем-то вроде швейцарского армейского

ножа из современных AR-инструментов. Дополнительное образование помогает преподавателям и учащимся попробовать свои силы в создании различных объектов и их анимации с помощью обширных библиотек форм, объектов и действий.

Многие ученики считают образование рутинной, а учителя сталкиваются с отсутствием вовлеченности в образовательный процесс. Это вечная проблема, которая, вероятно, не будет полностью решена. Однако VR и AR-технологии могут помочь справиться с этой проблемой, добавив немного интерактивности в процесс обучения. Проведенное экспериментальное применение такого рода приложений в общеобразовательных средних школах показало значительный рост успеваемости (до 25-27%) и повышенный интерес к естественнонаучным дисциплинам, что привлекает молодежь к изучению научных и инженерных специальностей для решения актуальных проблем модернизации промышленности России [1]. Интерактивность-это ключевая причина, по которой VR и AR- технологии так привлекательны для образовательных целей.

Как правило, при очном обучении не всегда имеются необходимые приборы и материалы для проведения демонстраций и лабораторных работ при преподавании курса физики, что связано с отсутствием оборудования в сельских школах и некоторых учебных заведениях, отсутствием современного дорогостоящего оборудования. Эту проблему может помочь решить AR/VR-приложение, которое бы давало возможность визуализировать и изучать физические процессы, особо опасные объекты и эксперименты, проведение которых невозможно в обычных лабораториях.

Литература

1. Бокачев, И.А. Виртуализация современной системы образования: «За» и «Против» / И.А. Бокачев // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2015. – № 1. – С. 78-85.
2. Елесин, С.С Виртуальная реальность в образовании: сомнения и надежды / С.С Елесин, А.В. Фещенко // Гуманитарная информатика. – 2016. – № 10. – С. 23-25.
3. Жуков, Г.Н. Общая и профессиональная педагогика: учебник / Г.Н. Жуков, П.Г. Матросов. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 425 с.

© Сагадиева Э.А., 2020 г.

АКТИВИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

Баранова А.П., Куприянова К.А.

Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акумуллы, г. Уфа, Россия

В условиях новых образовательных стандартов на первый план выступает не просто овладение учащимися знаниями, умениями и навыками, а сама личность учащегося как активного деятеля. Характер потребностей, мотивов, интересов, лежащих в основе деятельности, определяет направление и содержание активности каждой личности. При этом вовлеченность в учебно-познавательную деятельность являются основой для дальнейшего самосовершенствования и самореализации человека.

Вопрос об активизации учебно-познавательной деятельности учащихся приобретает особое значение в связи с высокими темпами развития и совершенствования науки и техники, потребностью общества в людях образованных, способных быстро ориентироваться в обстановке, мыслить самостоятельно. Выполнение таких задач становится возможным только в условиях активного обучения, стимулирующего мыслительную деятельность учащихся. Формированию учебно-познавательного интереса способствуют использованием активных методов обучения, которые опираются на совокупность общедидактических принципов обучения и включают в себя специфические принципы.

Таким образом, для успешного обучения необходимо вызвать у учащихся интерес к овладению знаниями.

Литература

1. Полуднякова, Н.А., Вильцина, С.А. Использование дидактических методов активизации познавательной деятельности в обучении школьников // Молодой ученый, 2014, №4, с. 1068-1071.

© Баранова А.П., Куприянова К.А., 2020 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДВИЖЕНИЯ

¹Косарев Н.Ф., ²Косарева Н.В.

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

²Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
Школа №126, г. Уфа, Россия

Задачей методики и техники школьного физического эксперимента с использованием механических моделей является создание или подбор такой аппаратуры и применения таких технических приёмов, чтобы с возможно более простыми средствами достигнуть такого воспроизведения явления, на основе наблюдения которого могли быть построены соответствующие выводы.

Модели, используемые при демонстрации физических явлений должны подчиняться к следующим требованиям:

1) содержательность – модель совокупности с другими приборами материалами, должна в полной мере отражать сущность явлений;

2) достоверность – демонстрация с использованием механической модели, должна быть однозначной, определенной, то есть результат постановки опыта не должен вызывать сомнений;

3) видимость – демонстрация с использованием механических моделей, необходимо проводить в таких условиях, которые позволят каждому ученику класса увидеть все существенные детали;

4) наглядность – демонстрация с использованием механических моделей должна выражать сущность наблюдаемого явления раскрывать в наиболее яркой, совершенно очевидной форме.

5) убедительность – демонстрация с использованием механических моделей должна приводить к верному толкованию, таким образом, опыт должен выполняться «чисто», чтобы не было сомнений по выводам;

6) кратковременность – демонстрация с использованием механических моделей должна определять оптимальное время для демонстрации опыта;

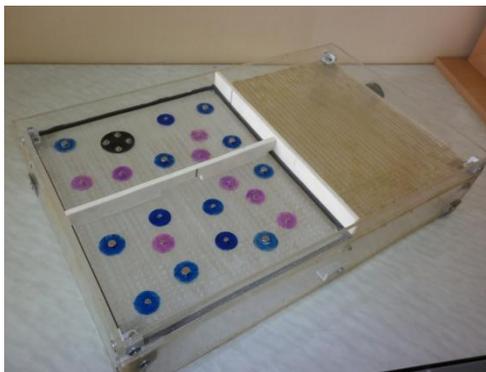
7) воспроизводимость – демонстрация с использованием механических моделей должна воспроизводиться неоднократно;

8) эстетичность – демонстрация с использованием механических моделей должна быть изящной, красиво оформленной и рациональной.

Модель для демонстрации молекулярного движения и явлений связанных с ним

Технические характеристики модели:

- из органического стекла, делают коробку следующими размерами: высотой 105мм, шириной 550 мм, длиной 180 мм, выступом



25 мм, на верхней части органического стекла просверливают отверстия диаметром 1 мм, на расстоянии 5 мм друг от друга;

- с одной стороны коробки делают отверстие диаметром 30 мм.
- из плексигласа вырезают модели молекул, в центре которых приклеены магниты, размерами: диаметр маленькой молекулы 24 мм, диаметр большой молекулы 26 мм;
- так же из этого материала вырезают модель броуновской частицы, диаметром 40 мм, по краям которой приклеивают четыре магнита.

Для подачи воздуха используем советский пылесос «Ракета», подключая шланг к отверстию, из которого воздух выходит.

Можно вместо пылесоса использовать воздуходувную машину, которая имеется в каждой школе.

Список демонстраций:

- 1) Демонстрация броуновского движения
- 2) Демонстрация явления диффузии
- 3) Демонстрация движения узлов кристаллической решетки
- 4) Демонстрация свойств газа

Литература

- 1) Каменецкий, С.Е., Солодухин Н.А. Модели и аналогии в курсе физики средней школы: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1982. – 96 с.
- 2) Физический эксперимент в школе: Из опыта работы. Ф50 Пособие для учителей. Вып. 6/Сост. Г. П. Мансветова, В. Ф. Гудкова. – М.: Просвещение, 1981.- 192 с.
- 3) Ким, В. С. Научное и учебное моделирование в физическом эксперименте [Текст] / В. С., Ким // Наука и школа: общероссийский научный журнал по педагогике, психологии, истории. – 2010. - №4. – С.30-34.

© Косарев Н.Ф., Косарева Н.В., 2020 г.

ОСОБЕННОСТИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н.

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Традиционный метод контроля, измерения уровня знаний студентов – экзамены проводятся по билетам. В билет могут быть включены не более 4-5 вопросов по изучаемому курсу. Однако ключевых моментов дисциплины намного больше, чем эта величина. Следующим недостатком экзаменационного опроса является определенная доля субъективизма преподавателя. Этот субъективизм может быть вызван разным уровнем знаний студентов в разных группах; не чужды нашей действительности подсказки, списывания и др. Недостатком экзаменационного контроля является также ограниченная пятибалльная система оценок.

Альтернативным способом выяснения уровня знаний испытуемых является тестирование. Английское слово 'test' переводится как проверка или испытание. Испытание людей на предмет овладения каким-либо качеством, свойством началось с древних времен. Однако, история тестов началась век назад в виде важной проблемы исследования индивидуальных различий людей. Эта проблема дала импульс к появлению первых тестов в работах известного английского ученого Ф. Гальтона.

Согласно заданиям Гальтона прошли испытания 9337 человек в возрасте от 5 до 80 лет. Испытуемым были представлены задания по семнадцати показателям. Задания должны были различить людей по силе, скорости реакции, выносливости и др. Впервые систему требований к тестам, как к методу исследования личности, сформулировал Д.Каттелл. Согласно его мнению, тест есть средство для проведения научного эксперимента. Поэтому должны быть выполнены следующие требования: одинаковые условия для испытуемых, ограничение времени тестирования примерно часом; испытуемые должны четко понимать, что им нужно делать; и самое главное требование - результаты тестирования обрабатываются статистическими методами.

В настоящее время тестирование (испытание) учащихся приобретает массовый характер. Это связано, во-первых, проведением Единого государственного экзамена (ЕГЭ), во-вторых, с подписанием Россией Болонского соглашения. По условиям соглашения Россия вступает в единое образовательное пространство. Качество образования студентов ВУЗов будет оцениваться по результатам промежуточного и итогового тестирования. Методика тестирования, как способ измерения уровня знаний испытуемых, лишена вышеперечисленных недостатков экзаменационного опроса. В тесте предлагаются задания по всем ключевым моментам дисциплины (обычно в тесте содержатся 30-50 заданий), соответственно

результаты опроса оцениваются по дифференцированной многобалльной шкале. При тестировании испытуемый и преподаватель не имеют непосредственного контакта; все студенты получают одни и те же задания, поставлены в одинаковые условия, субъективные факторы здесь сведены к нулю, достигается объективная оценка уровня знаний студентов.

Наряду с этими достоинствами тестовый контроль не лишен недостатков. Не всякий тест лучше экзаменов, а только тот, который применяется в условиях, когда студенты не имеют возможности общаться друг с другом. Тестовый опрос хорош для массовых проверок знаний, когда нужно оценить знания и отобрать лучших (приемные экзамены), когда сравнивается уровень разных однопрофильных ВУЗов с целью их аттестации. К издержкам тестового контроля относится трудность создания хорошего теста, имеющего устойчивые коэффициенты надежности и валидности. Валидность означает пригодность для измерения уровня знаний учащихся согласно той программе, по которой велось обучение.

В настоящее время тест определяется как система заданий специфической формы, возрастающей трудности, позволяющая качественно оценить структуру знаний и количественно измерить уровень знаний.

© Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н., 2020 г.

УДК 372.853

SPEECH CULTURE OF PHYSICS TEACHER

Malikov A., Akmanova G.

Bashkir State University, Ufa, Russia

In the modern information society with its latest technologies, the role of the oral living word is still great. The culture of human speech was always paid much attention. Actually, speech culture show us about erudition, intelligence, ethics and education. Proficiency in speech culture is success in society, authority, perspective, advancement in work. Physicists, Astronomers, Mathematicians and some scientist in other branches of science and technology should have culture of speech at their fingertips. Every scientist is not only researcher. Each scientist is both a researcher and a teacher. Outside speech activities, it is impossible to imagine any sphere of human activity, communication of people, and the spiritual culture of humanity.

Physics is an exact science. This branch of science requires, first of all, clarity of expression ours way of thinking. Using examples of physical formulations and definitions, the lecturer can show students how to intently and carefully treat the word. For instance, evaporation is the escape of molecules from the surface of a

liquid... It should be said that evaporation is the process of vaporization, in which molecules from the surface of a liquid pass into steam. [1, 2].

Decreasing in the effectiveness of training is associated with the assumption of content and speech flaws: fuzzy statements, misuse of physical terms, inappropriate use of figurative expressions, inappropriate transition from demonstration to problem, illogical explanation of the task, etc. Therefore, it is so important for a teacher to know the norms of literary language and to know the exact definitions of physical concepts, the wording of laws, and the clear pronunciation of units of physical dimension.

The correct speech is a speech in which all norms of modern literary language are observed. Accurate speech is a speech in which the reality is adequately reflected and unequivocally marked by the word what should be said. If the physics teacher does not know his subject (speech object), he will distort it, and his speech will not be accurate. Knowledge of the subject (physical concepts, laws, theories, formulas, etc.) is necessary. For instance, uranium is a chemical element, and Uranium is a planet. In addition, differentiation is to solve the problem piece by piece, and to differentiate - to find differential/derivative. Expressive speech is speech, properties, features, the structure of which cause and support the attention and interest of listeners. Logical speech is a speech that is consistent with the connections of speech between the relationship between the subject and the phenomena in reality. Some requirements of logical speech are violated in sentences with simultaneous names and generalizing word (combination of generic concept with species). Example: In the laboratory of electromagnetism, there is an ammeter, a voltmeter, devices for measuring physical values (it turns out that the first devices do not measure physical values). The culture of speech of the physics teacher serves as an important indicator of the subject's proficiency, teaching methods, communication skills. The sphere of activity is an area of "increased speech responsibility" as the word (speech) becomes the most important (if not the main) tool of the physics teacher's activity. This fact determines the importance of the development of the culture of speech of the physics teacher.

To sum up, the teacher of any subject and the teacher must monitor the general literacy of student's speech - physics should take care of physical literacy: the correct use and interpretation of physical concepts, their definitions, and the legality of the use of physical terms, the meaning of which does not always coincide with the ordinary. Only in the case of correctness, unambiguity and clarity of the terminology, which used in the lessons, for students you, are able to expect a good understanding of the issues, studied in physics. Knowledge of the range of issues related to the concept of speech culture as a science, as well as constant speech practice, special tasks, knowledge of literary and language norms, regular training and the expansion of speech experience will contribute to the formation of the speech culture of a specialist in any field, including a physics teacher. The high level of speech culture is an integral feature of a cultural person.

It is the task of each of us to improve our speech. You need to constantly enrich your vocabulary, learn to feel your conversationalist, be able to select the most appropriate words and designs for each case. The endurance, self-control, fairness, creative approach to the experience of others, the development of pedagogical technology, a sense of humour are great importance in the formation of the right style of communication. At the same time, the teacher should always respect the person in his students and protect his own dignity. Teaching children proper communication is the teacher's task. At the same time, the teacher should always respect the person in his students and protect his own dignity. Teaching children proper communication is the teacher's task.

Literature

1. Alexeyevnina, A.K. Culture of Speech of the Physics Teacher.- Tobolsk: TGPI by I.D.I. Mendeleev, 2010. 83 s.
2. Dasaev, N. D. etc. Teacher's speech culture: Textbook for students of higher PED. studies'. Moscow: publishing center "Academy", 2003. -192 p.

© *Malikov A., Akmanova G. 2020*

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ»

- Рахимова А.И.** 3
ОБ ОПЕРАТОРЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ
- Салимова А.Е., Хабибуллин Б.Н.** 4
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕОРЕМЫ МАЛЬЯВЕНА-РУБЕЛА НА
КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

СЕКЦИЯ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРОВ»

- Воронин И.В.** 5
ОБ АСИМПТОТИКЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛИЦЕВОЙ
МАТРИЦЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА
- Борисов Д.И., Мухаметрахимова А.И.** 6
РАВНОМЕРНАЯ РЕЗОЛВЕНТНАЯ СХОДИМОСТЬ ДЛЯ
ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОПЕРАТОРОВ В ОБЛАСТЯХ,
ПЕРФОРИРОВАННЫХ ВДОЛЬ ЗАДАННОГО МНОГООБРАЗИЯ
- Садриева Р.Т., Сидельникова Н.А.** 7
АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ
МАТРИЦЫ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
ВТОРОГО ПОРЯДКА В ВЫРОЖДЕННОМ СЛУЧАЕ

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

- Шарипов Р.А.** 9
О СВЕРХВЫСОКИХ ЗДАНИЯХ С НАДУВНЫМ КАРКАСОМ
- Кильдибаева С.Р., Кильдибаева Г.Р.** 10
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МНОГОФАЗНОЙ СТРУИ,
ВЫТЕКАЮЩЕЙ ИЗ ПОВРЕЖДЕННОЙ СКВАЖИНЫ ПОД УГЛОМ
К ГОРИЗОНТУ
- Ситдикова Л.Ф.** 11
ЗАДАЧА О РАСПРОСТРАНЕНИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН В
ПОРСТОЙ СДЕДЕ, НАСЫЩЕННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ
ЖИДКОСТЬЮ

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

- Шавлуков А.М.** 12
ОСОБЕННОСТЬ ТИПА ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЙ ОМБИЛИКИ
ФОРМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ОДНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ
ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ

Хакимова А.Р.	13
ОБОБЩЕННЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ И ЧАСТНЫЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ	
Кузнецова М.Н.	14
УСЛОВИЯ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ ДЛЯ ДВУМЕРИЗОВАННЫХ ЦЕПОЧЕК ТИПА ЦЕПОЧКИ ТОДЫ	
Павленко В.А.	15
О ПРЕДЕЛЬНОМ ПЕРЕХОДЕ В ГАМИЛЬТОНОВЫХ СИСТЕМАХ КИМУРЫ	
Самсонов К.Ю., Гумеров А.М., Кудрявцев Р.В., Екомасов Е.Г.	16
ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ С ТРЕМЯ ПРИТЯГИВАЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОНА	
Нерадовский Д.Ф., Самсонов К.Ю., Салимов Р.К., Екомасов Е.Г.	18
ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ sin-ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ПРИМЕСЬЮ	

**СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»**

Сафина Л.Р., Баимова Ю.А.	20
СКОМКАННЫЙ ГРАФЕН КАК МАТРИЦА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА НИКЕЛЬ-ГРАФЕН	
Муртазаев К.Ш., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А.	21
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ФРУСТРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ИЗИНГА С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ	
Тааев Т.А., Хизриев К.Ш., Муртазаев А.К.	23
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНОЙ МАГНИТОТВЕРДОЙ/МАГНИТОМЯГКОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО	
Исаева М.М., Магомедов М.А.	25
ПЛОТНОСТЬ СОСТОЯНИЙ И СТРУКТУРА ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ДЕНДРИМЕРА	
Муртазаев А.К., Бабаев А.Б., Атаева Г.Я., Муртазаева А.А.	28
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СЛАБО РАЗБАВЛЕННОЙ 2D МОДЕЛИ ПОТТСА ПРИ $Q=5$	
Султангалеева Д.А., Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н.	30
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДА ИНДУКЦИИ В РЕАКЦИИ ИНГИБИРОВАННОГО ОКИСЛЕНИЯ Н-ДЕКАНА	
Анохина К.О., Саяпова Е.В.	31
АКТУАРНЫЕ РАСЧЕТЫ В НЕГОСУДАРСТВЕННОМ ПЕНСИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ	

Хисаметдинова С.Ф.	32
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
Гималтдинов И.К., Столповский М.В., Чиглинцева А.С.	34
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ГИДРАТА В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ	
Курбанова Д.Р., Муртазаев А.К., Рамазанов М.К., Магомедов М.А.	35
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ФРУСТРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ПОТТСА	
Комлев А.С., Макарьин Р.А.	36
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ КРОВИ ОТ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	
Хисаметдинов Ф.З.	37
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ ПАРАМЕТРОВ	
Хисаметдинов Ф.З.	38
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА	
Макарьин Р.А., Комлев А.С.	39
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАТНОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОНИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРА	
Доломатов М.Ю., Коледин О.С., Ахтямова К.Р.	40
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДОМ QSPR	
Доломатов М.Ю., Ковалёва Э.А., Аубекеров Т.М., Коледин О.С., Ахтямова К.Р., Вагапова Э.В.	42
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АРЕНОВ ПО ТОПОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ МОЛЕКУЛ МЕТОДОМ QSPR	
Галлямов В.В., Полупанов Д.В.	44
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БАНКРОТСТВ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТОДАМИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АНСАМБЛЕЙ	
Абдюшева С.Р., Гилязова Л.Р., Абрамчук М.А.	45
ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	
Абдюшева С.Р., Нефедова А.А., Басимова Э.Ф.	46
АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОМЕРНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ	

Тимофеев П.С., Полупанов Д.В.	47
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ	
Абдошева С.Р., Важенниа Л.Д.	48
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОЖДАЕМОСТИ	
Загиров Р.А., Полупанов Д.В.	49
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON И МИКРОФЕЙМВОРКА FLASK	
Солощенко М.В.	50
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПО ОХРАНЕ ТРУДА	

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Мухамадиева Л.Ю.	51
РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЗАДЕРЖКА ВРЕМЕНИ В МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИИ БАМБЛБИ	
Кудрявцев Р.В., Гумеров А.М., Екомасов Е.Г., Самсонов К.Ю.	53
РЕЗОНАНСНЫЕ КИНК-ПРИМЕСНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОДЕЛИ СИНУС-ГОРДОНА С УЧЁТОМ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ И НЕОДНОРОДНОГО ЗАТУХАНИЯ	
Михайлова Т.В., Михайлова В.А., Иванов А.И., Бондарев С.Л., Райченко Т.Ф., Тихомиров С.А., Козлов Н.Г.	54
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСА ПРОТОНА В ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАГИДРОАКРИДИНА-1(2H)- ОНА ИЗ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ	
Ярыгина Е.А., Клевец Ф.Н., Матюнина Я.Ю.	56
ВЛИЯНИЕ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ НА ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ДВУХПОДРЕШЕТОЧНОГО НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО МАГНЕТИКА	
Ермоленко И.П., Михайлова В.А., Иванов А.И.	58
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОЛЕКУЛ В ПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ	
Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н.	60
КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКОГО АККРЕЦИОННОГО ДИСКА ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ТАУБ-НУТ	
Трочина А.М.	62
ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ СКОМПЕНСИРОВАННЫХ ФЕРРИМАГНЕТИКОВ	
Миннибаева А.Р.	63
МИКРОМАГНИТНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМАХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ (НАНОТОЧКАХ/ НАНОДИСКАХ)	

Ниямова А.Р., Вахитов Р.М., Солонецкий Р.В.	64
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В МАГНИТООДНООСНЫХ ПЛЕНКАХ С ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТОМ	
Ахтарьянова Г.Ф., Низаева Г.И.	66
STABILITY OF SCHWARZSCHILD-DAMOUR-SOLODUKHIN THIN- SHELL WORMHOLES	
Каримов Р.Х.	67
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ЗАРЯДА НА ЭФФЕКТ САНЬЯКА В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ БАРДИНА	
Фатихова Ф.Г., Закирьянов Ф.К.	68
КОНФОРМАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ДНК С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С БЕЛКАМИ	
Семерикова М.А., Закирьянов Ф.К.	69
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНФОРМАЦИОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ С НОСИТЕЛЯМИ ЗАРЯДА В МОЛЕКУЛЕ ДНК	
Султанов И.М., Дудоров А.Е.	70
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛАПСА ПРОТОЗВЁЗДНЫХ ОБЛАКОВ МЕТОДОМ ЛАКСА-ВЕНДРОФА	
Байбулова Г.Ш., Григорьев А., Байбурин Э.И.	72
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДЕРЖКИ ШАПИРО ДЛЯ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ ХЭЙВОРДА	
Губайдуллина З.И., Панченко А.В., Калимуллина Л.Р., Галимова А.Э.	73
ПРЕЦЕССИЯ ЛЕНЗЕ-ТИРРИНГА В ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ ЙОХАНСЕНА-ПСАЛТИСА	
Тулеганова Г.Ю., Мухамадиева Л.Ю.	74
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ЗАРЯДА НА ВРЕМЯ ПРИБЫТИЯ СИГНАЛОВ В ДВОЙНОЙ СИСТЕМЕ ПУЛЬСАР – ЧЕРНАЯ ДЫРА	
Камалова Д.Ю., Лукманова Р.Ф.	75
WEAK FIELD LENSING OF BLACK HOLES COUPLED WITH NONLINEAR ELECTRODYNAMICS	
Екомасов Е.Г., Овчинников А.С., Бострем И.Г., Синицын В.Е., Кишине Дж.	76
INVESTIGATION OF DISCRETE MAGNETIC BREATHERS IN A MONOAXIAL CHIRAL HELIMAGNET	
Антонов Г.И., Степанов С.В., Левашова И.А., Мухамадеева В.В., Звездин К.А., Екомасов Е.Г.	77
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПРОВОДЯЩИХ НАНОЦИЛИНДРАХ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА	

- Гареев Т.Т., Мясников Н.В., Антипин К.С., Куликова Д.П., Николаева Е.П., Пятаков А.П.** 78
 БИПОЛЯРНОЕ ЭЛЕКТРОИНДУЦИРОВАННОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ МИКРОМАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ ГРАНАТОВ
- Степанов С.В., Екомасов А.Е., Антонов Г.И.** 80
 ДИНАМИКА И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВИХРЕЙ В ПРОВОДЯЩИХ НАНОСТОЛБЧАТЫХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ
- Мухамадеева В.В., Левашова И.А., Степанов С.В., Антонов Г.И.** 81
 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАКЕТА SPINRM ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СВЯЗАННЫХ ВИХРЕВЫХ СОСТОЯНИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СПИН-ПОЛЯРИЗОВАННОГО ТОКА В ПРОВОДЯЩЕЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ
- Ахметзянова Е.А., Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф.** 82
 STABILITY OF SKYRMIONS IN THE FRUSTRATED ANTIFERROMAGNETIC/FERROELECTRIC BILAYERS WITH THE TRIANGULAR LATTICE
- Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г., Екомасов Е.Г.** 83
 ДИСКРЕТНЫЕ БРИЗЕРЫ В КИРАЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
- Нугуманов А.Г.** 85
 МОДЕЛИРОВАНИЕ СКИРМИОНОВ В ПЛЕНКАХ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ С ТРЕУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКОЙ
- Каргальцева Н.С., Дудоров А.Е., Хайбрахманов С.А.** 86
 МГД-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛАПСА ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТНЫХ ПРОТОЗВЕЗДНЫХ ОБЛАКОВ
- Вахитов Р.Ф., Дудоров А.Е., Хайбрахманов С.А.** 87
 ОБЛАСТИ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ С СИЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ
- Ишманова Р.Ф., Вахитов Р.М.** 88
 МАГНИТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В (111)-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТ ГРАНАТОВ С НЕОДНОРОДНЫМ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»

- Янсаитов А.Р.** 89
 СИСТЕМА УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА СТАНДАРТА DVB-T2
- Попов С.А.** 90
 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ И РАЗРАБОТКА СОБСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC16, STM32, ARDUINO

Зиганшина А.Р., Вальшин А.М.	92
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	
Сагитов Ф.И., Вальшин А.М.	95
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛА ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	
Сибгатуллина А.И., Вальшин А.М.	97
ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКАЯ НАКАЧКА ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В ГАЗЕ НА NE	
Лопатюк А.В., Мигранова Д.Р., Алексеев К.С.	99
ИССЛЕДОВАНИЕ Y-ОБРАЗНОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК	
Вагапов Э.И., Лопатюк А.В.	101
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТСЕЧКИ МОД В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ	
Гатиятуллин Д.Т.	103
ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕ	
Шарипов Т., Копышев А., Лёбнер С., Йелкен Й., Соколовски М., Арья П., Бахтизин Р., Сантер С.	105
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦА НА СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДЛИННЫХ МОЛЕКУЛ ДНК В ПРОЦЕССЕ ИХ ИММОБИЛИЗАЦИИ	
Загидуллин А.А.	107
AUGER ANALYSIS OF W-TI ALLOY	
Захаров Ю.А., Гоц С.С., Бахтизин Р.З.	108
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ	

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

Джепаров Д.И., Гусев Н., Пугач Н.Г.	109
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ СПИРАЛЬНО-МАГНИТНОГО ЭЛЕМЕНТА СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СПИНОВОГО ВЕНТИЛЯ	
Арутюнов К.Ю.	110
КВАНТОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАНАЛАХ	
Арутюнов К.Ю.	112
ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	

Карабасов Т. ВОЗВРАТНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В СТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК/ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ИЗОЛЯТОР	114
Губина А.С., Пугач Н.Г. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ СТРУКТУРЫ С ДВУЯМНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ	117
Ихсанов Р.Ш. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОТОЭМИССИИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ	119
Карнаух А.Ю., Байбулова Г.Ш., Алтыншина Г.Р. ЭЛЕКТРОННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА	120
Васенко А.С. ИНТЕРТИПНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ В СИСТЕМАХ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ	121
Шеин К.В., Арутюнов К.Ю. ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИНЕТИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНКАХ	123
Седов Е.А., Арутюнов К.Ю., Завьялов В.В. КВАНТОВЫЙ РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ПОЛУМЕТАЛЛАХ И СВЕРХПРОВОДНИКАХ	126
Попова Е.А. МАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ ХАЛДЕЙНОВСКИХ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ ($Y_{1-x}ND_x$) ₂ BANiO ₅	128
Пугач Н.Г. СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СПИНТРОНИКИ	130
Саматов М.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТАХ С ГРАФЕНОВОЙ ПРОСЛОЙКОЙ	131
Сарайва Т.Т. HIGH-TC MULTI-BAND SUPERCONDUCTORS WITH A QUASI-1D AND A 3D BANDS	133
Алтыншина Г.Р., Лачинов А.Н. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОННЫХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА	134
Киан М.Ф. ВЛИЯНИЕ РЕКОМБИНАЦИИ ЭКСИТОНОВ НА ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ДВУХСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ	136

Ладин П.А., Киан М.Ф., Лачинов А.Н.	138
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЭФФЕКТА	
Яговцев В.О.	140
ОБРАТНЫЙ ЭФФЕКТ БЛИЗОСТИ В СИЛЬНО СПИН- ПОЛЯРИЗОВАННЫХ СТРУКТУРАХ ФЕРРОМАГNETИК- СВЕРХПРОВОДНИК	
Киан М.Ф.	141
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛЕНФТАЛИДОВ	
Заруднева А.А.	143
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТА КИНЕТИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ СВЕРХПРОВОДНИКА	
Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Корнилов В.М., Пшеничнюк С.А., Лачинов А.А., Галиев А.Ф.	144
МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК МОЛЕКУЛЯРНО ДОПИРОВАННЫХ НЕСОПРЯЖЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ	
Ишбулатова А.И., Лачинов А.Н., Александров И.В.	145
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗОНЫ СВАРНОГО ШВА	
Панова Н.А.	146
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТООБЛУЧЕНИЯ НА ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/ПОЛИМЕР	
Шагбалова Э.Р.	147
ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ	
Юсупов А.Р., Лачинов А.Н., Карамов Д.Д., Калимуллина Л.Р.	148
ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПОЛИМЕР/ПОЛИМЕР ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
Нуритдинов Д.Ф., Корнилов В.М.	149
ИЗУЧЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛЬФРАМОВЫХ КАТОДОВ С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ	
Федоров А.А., Данилова А.Д., Сафонов С.С., Логунов М.В.	150
СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК И НАНОСТРУКТУР ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА	
Сибгатов Э.А., Корнилов В.М.	151
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЕВ МЕТОДОМ АТОМНО- СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ С ПРОВОДЯЩИМ ЗОНДОМ	
Усманова К.З., Корнилов В.М.	152
ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЕВ	

Солодовников Р.А.	153
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАБОТЫ ВЫХОДА МЕТАЛЛА В ОБЛАСТИ ЕГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА	
Севостьянова Е.Г.	155
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИМЕРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА	

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Мардамшин В.Р., Загидулин Р.В.	156
К ВЫЯВЛЕНИЮ ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО НАПРЯЖЕННОМУ СОСТОЯНИЮ МЕТАЛЛА	
Бакиев А.Т., Загидулин Р.В.	158
К ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАД ГРУППОЙ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В МЕТАЛЛЕ	
Якшибаев Б.Р., Бакиев Т.А.	160
К ВОПРОСУ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
Атанов Б.И., Ситдииков О.Ш., Автократова Е.В., Маркушев М.В.	162
ФОРМИРОВАНИЕ (УЛЬТРА)МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ЛИТОМ СПЛАВЕ СИСТЕМЫ Al-Mg-Sc-Zr ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВСЕСТОРОННЕЙ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ КОВКЕ	
Галиева Э.В., Классман Е.Ю., Булахтина М.А., Бикмухаметова А.А. Ахунова А.Х.	163
ТВЕРДОФАЗНАЯ СВАРКА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ В УСЛОВИЯХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ	
Давлетшина А.Д., Батршина Г.С.	164
ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В AgCuS	
Баишева А.Х., Ишембетов Р.Х.	165
ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И КОЭФФИЦИЕНТ ХИМИЧЕСКОЙ ДИФФУЗИИ $Ag_xCu_{2-x}Te$ ($x = 0.05$)	
Чех А.В., Короченцев В.В., Вовна В.И.	167
УФЭ СПЕКТРЫ И ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ $Zn(acac)_2$	
Тебеньков А.В.	168
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ПРОВОДИМОСТИ В КРЕМНИИ	
Тебеньков А.В.	169
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ НА БАЗЕ $CdAs_2$ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 50 ГПа	
Апкадинова Н.Г., Крылова К.А.	170
ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ НА СОРБЦИОННУЮ ЕМКОСТЬ СКОМКАННОГО ГРАФЕНА	

Ряшенцев Д.С., Беленков Е.А.	173
МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ ФАЗ НИТРИДА БОРА СО СЛОЕВОЙ СТРУКТУРОЙ	
Беленков М.Е., Чернов В.М.	174
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ГРАФЕНА ФТОРОМ	
Габдрахманов Л.А., Альмухаметов Р.Ф.	175
СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КОБАЛЬТЕ, ПОЛУЧЕННОМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ	
Муллагалиев И.Н., Салихов Р.Б.	176
ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ Sb_2O_3 И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ	
Муллагалиев И.Н., Павлов А.В., Салихов Т.Р.	177
ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ПАРОВ АММИАКА И H_2O НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК PANI	
Муллагалиев И.Н., Бадретдинов Б.Р., Салихов Р.Б.	178
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	
Сафаргалин И.Н., Салихов Т.Р.	179
СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ФОТОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	
Загитов Р.Р., Ситдинов О.Ш., Автократова Е.В., Маркушев М.В.	180
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА $Al-3\%Cu$ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ	
Юрьева Е.К., Валеев И.Ш., Валеева А.Х., Ильясов Р.Р., Маркушев М.В.	181
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕДИ, ДЕФОРМИРОВАННОЙ ПРИ КОМНАТНОЙ И КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРАХ	
Ильясов Р.Р., Валеев И.Ш., Валеева А.Х., Маркушев М.В., Ситдинов О.Ш.	182
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА ТВЕРДОСТЬ НИКЕЛЯ, ДЕФОРМИРОВАННОГО ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ЖИДКОГО АЗОТА	
Хлопина И.Д., Саркеева А.А.	183
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ СЛОЙСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СПЛАВА ВТ20	
Альмухаметов Р.Ф., Габитов Э.В.	184
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАТИОНОВ МЕДИ В СУПЕРИОННОМ ПРОВОДНИКЕ $CuCr_{1-x}V_xS_2$ РЕНТГЕНОВСКИМ МЕТОДОМ	
Подорожняк С.А.	185
ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЦК-РЕШЁТКИ КОБАЛЬТА В ГПУ-РЕШЁТКУ	

В ПРОЦЕССЕ РОСТА ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ОСАЖДЕНИИ	
Нигматуллина Г.Р.	186
ВРЕМЯРАЗРЕШАЮЩАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ В СИСТЕМЕ Cu_2Se	
Сафаргалев Д.И.	187
КОМПЬЮТЕРНЫЙ ДИЗАЙН ФАЗ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ $Cu-SE$, МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ДИНАМИКИ И ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК	
Гафуров И.Г.	190
СИНТЕЗ $Cu_{2-x}Li_xS$ ТВЕРДОФАЗНЫМ АМПУЛЬНЫМ МЕТОДОМ	
Гайфуллин Р.Ю., Мусабилов И.И., Сафаров И.М., Галеев Р.М.	191
АНИЗОТРОПИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА СИСТЕМЫ $Ni-Mn-Ga$, ПОДВЕРГНУТЫХ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ КОВКИ	

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА И ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

Фазлетдинов С.У., Питюк Ю.А., Фахреева Р.Р.	193
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ВОДОГАЗОВОЙ СМЕСЬЮ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	
Адельгужина Э.М.	194
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА В ДОБЫВАЮЩУЮ СКВАЖИНУ С УЧЕТОМ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ ТРЕЩИНЫ ПРИ ПОВТОРНОМ ГИДРОРАЗРЫВЕ ПЛАСТА	
Фаткуллина Н.Б., Солнышкина О.А., Булатова А.З.	195
ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ВОКРУГ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК	
Галиева К.Ф., Мухутдинова А.А.	196
СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО СКВАЖИНАМ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОВОГО ФОНДА	
Ниценко В.А.	197
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С МНОГОКРАТНЫМ РАЗГАЗИРОВАНИЕМ В ПЛАСТЕ С КОЛЛЕКТОРОМ ТРЕЩИНОВАТО-ПОРОВОГО ТИПА	
Бигильдина Э.Р., Адельмурзина И.Ф.	198
ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРОЗ	
Агаларов М.А.	202
ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ	
Сенина А.А.	203
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ЗВУКА ОТ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА	

Кузьмичев О.Б., Мартынова Ю.В.	205
О МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ СРЕДЫ В ПЕТРОФИЗИКЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН	
Адамова Л.Х., Зиннатуллин Р.Р.	206
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТЯНЫХ СЛАНЦЕВ	
Ганеева А.И.	207
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ФЛЮИДОВ В СТВОЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ	
Бурмистров М.Е., Питюк Ю.А.	208
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПУЗЫРЬКА ВБЛИЗИ ТВЕРДОЙ ЧАСТИЦЫ И СТЕНКИ	
Аллагулова А.Г.	209
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЩИН ГРП В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПУТЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В «РН-КИМ»	
Осипова Р.Ш., Муллаянов А.И., Мусин. А.А.	210
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В МАСЛЕ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	
Булатова А.З., Солнышкина О.А., Фаткуллина Н.Б.	211
ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОДИНОЧНЫХ ПУЗЫРЬКОВ В ТРЕУГОЛЬНОМ МИКРОКАНАЛЕ	
Давлетшин Ф.Ф., Шарафутдинов Р.Ф.	212
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА	
Шайситдикова И.И., Мусин А.А.	213
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСТИ ПРИ ПОДОГРЕВЕ СВЕРХУ	
Муталлапов И.Д.	214
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ ВАРИАНТАМИ РЕМАСШТАБИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИИ	
Хисамов А.А.	215
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПЛАСТЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА	
Нугаева Н.М.	216
АНАЛИЗ ПЕТРОУПРУГИХ СВОЙСТВ ПЛАСТА ВСКРЫТЫХ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ С ПИЛОТОМ ПО ДАННЫМ КЕРНА И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
Юлмухаметова Р.Р., Мусин А.А., Ковалева Л.А.	217
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ СУСПЕНЗИИ В НАКЛОННОМ КАНАЛЕ	

**СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И
ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»**

Пономаренко А.А. ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В СРЕДНЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	218
Абдуллин А.У., Акманова Г.Р. КОМПЕТЕНЦИИ И КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ: РАЗУМНЫЙ КОМПРОМИСС	219
Вдовкина А.С., Третьякова Н.В. РЕАЛИЗАЦИЯ СМЕШАННОГО ОБУЧЕНИЯ НА УРОКАХ ИНФОРМАТИКИ	220
Абдуллин А.У. ТЕНЗОР ИНЕРЦИИ «ПЕРВАШАМ»	221
Рубцов И.А. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	222
Рахимкулова И.Е. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БИОФИЗИКИ В КЛАССАХ МЕДИКО- БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ	223
Салахутдинова Г.З. МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ СВЯЗИ НА УРОКАХ ФИЗИКИ	225
Юлбарисова Ю.Ш. ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИКТ- ТЕХНОЛОГИЙ	227
Упаев К.А. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ В R ³	229
Мухамедьянова Г.С. МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКЕ	231
Сагадиева Э.А. ДОПОЛНЕННАЯ И ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ	232
Баранова А.П., Куприянова К.А. АКТИВИЗАЦИЯ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ	234
Косарев Н.Ф., Косарева Н.В. МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДВИЖЕНИЯ	235
Гарифуллина Г.Г., Насретдинова Р.Н. ОСОБЕННОСТИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ	237
Маликов А.Ф., Акманова Г.Р. SPEECH CULTURE OF PHYSICS TEACHER	238

Научное издание

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ:
спутник Международной научной конференции
«Уфимская осенняя математическая школа-2020»**

**Тезисы докладов
XI Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых**

**11 – 14 ноября 2020 г.
г. Уфа**

В авторской редакции

Издательство не несет ответственности за опубликованные материалы.
Все материалы отображают персональную позицию авторов.
мнение Издательства может не совпадать с мнением авторов

Подписано в печать 05.11.2020 г. Формат 60x84/16.

Печать: цифровая. Гарнитура: Times New Roman

Усл. печ. л. 14,82. Тираж 70. Заказ 1297.



АЭТЕРНА

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**Отпечатано в редакционно-издательском отделе
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «АЭТЕРНА»**

450076, г. Уфа, ул. М. Гафури 27/2

<https://aeterna-ufa.ru>

info@ aeterna-ufa.ru

+7 (347) 266 60 68
