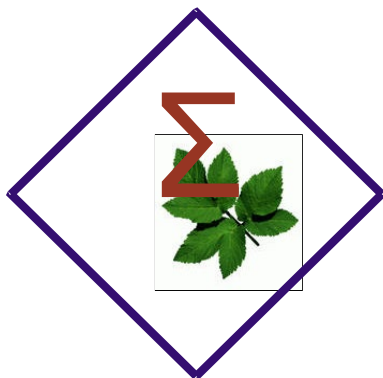


ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2025»

**Тезисы докладов
XVI Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(г. Уфа, 6–9 октября 2025 г.)**



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»
Научно-образовательный Математический центр
Приволжского Федерального Округа
Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН
Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН
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-2025»**

*Тезисы докладов
XVI Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(г. Уфа, 6–9 октября 2025 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2025

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3
Ф94

*Сборник составлен в рамках Программы развития
Научно-образовательного математического центра
Приволжского федерального округа, соглашение № 075-02-2025-1637*

*Публикуется по решению кафедры теоретической физики
физико-технического института УУНУТ.
Протокол № 3 от 15.10.2025 г.*

Редакционная коллегия:

д-р физ.-мат. наук, профессор **Б.Н. Хабибуллин**
(научный редактор по направлению «Математика»);
д-р физ.-мат. наук, профессор **Е.Г. Екомасов**
(научный редактор по направлению «Физика»);
канд. физ.-мат. наук, доцент **Ф.К. Закирьянов** (отв. редактор);
канд. физ.-мат. наук, доцент **Л.А. Габдрахманова**;
канд. физ.-мат. наук, доцент **А.Т. Харисов**

Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник
Ф94 **Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2025»:** тезисы докладов XVI Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 6–9 октября 2025 г.) / отв. ред. Ф.К. Закирьянов [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет, 2025. – 252 с. – URL: <https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/277.pdf> – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-6227-5

Детально обсуждаются новейшие результаты и открытые проблемы комплексного анализа и теории функций, спектральной теории операторов, механики, теоретической физики и радиофизики, электроники и нанофизики, материаловедения и наноматериалов, геофизики и прикладной физики, математических методов в популяционной и медицинской генетике, также проблемы современной методики преподавания.

Материалы сборника предназначены для студентов, аспирантов и научных работников, интересующихся указанными проблемами.

Тезисы докладов воспроизводятся с представленных авторами оригиналов.

УДК 51+53
ББК 22.1+22.3

ISBN 978-5-7477-6227-5

© Уфимский университет, 2025

УДК 517.53

ТЕОРЕМА ДЕЛЕНИЯ В АЛГЕБРЕ БЕРНШТЕЙНА

Семенова Д.В.^{1,2}

¹Институт математики с вычислительным центром УФИЦ РАН,
г. Уфа, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Россия

Пусть $v: [0; \infty) \rightarrow [0; \infty)$ – неубывающая функция, $v(x) = o(x), x \rightarrow \infty$,

$$P_{v,n} = \left\{ \psi \in H(\mathbb{C}): \|\psi\|_{v,n} := \sup_{z \in \mathbb{C}} \frac{|\psi(z)|}{\exp(n(|\operatorname{Im} z| + v(\operatorname{Re} z)))} < \infty \right\}, n \in \mathbb{N}$$

– банахово пространство целых функций. Положим

$$\mathcal{P}_v = \bigcup_{n=1}^{\infty} P_{v,n}$$

Локально-выпуклое пространство \mathcal{P}_v является топологической алгеброй. Причем при $v(x) \equiv 1$ совпадает с алгеброй Бернштейна B_{∞} .

Рассматривается алгебра Бернштейна B_{∞} – алгебра целых функций экспоненциального типа, ограниченных на рост вдоль вещественной прямой. Установлен необходимый и достаточный критерий принадлежности функции ψ множеству делителей алгебры Бернштейна $D(B_{\infty})$. Функция $\psi \in B_{\infty}$ является делителем алгебры Бернштейна, если:

$$F \in B_{\infty}, \frac{F}{\psi} \in H(\mathbb{C}) \Rightarrow \frac{F}{\psi} \in B_{\infty}.$$

Утверждение. Функция $\psi \in B_{\infty}$ является делителем этой алгебры тогда и только тогда, когда

$$\exists A > 0, x_0 > 0: \forall x \in \mathbb{R}, |x| \geq x_0, \exists x' \in \mathbb{R}: |x - x'| \leq A \text{ и } \ln|\psi(x')| \geq -A.$$

Обозначим символом Z_{ψ} нулевое множество целой функции ψ .

Теорема. Совокупность делителей ψ алгебры Бернштейна, удовлетворяющих условию

$$\operatorname{Im} \lambda = O(1), |\lambda| \rightarrow \infty, \lambda \in Z_{\psi},$$

совпадает с классом функций типа синуса.

Работа поддержана НОМЦ ПФО, соглашение № 075-02-2025-1637.

Литература

1. Левин, Б.Я. // Распределение корней целых функций, М.: ГИТТЛ, 1956.

© Семенова Д.В., 2025

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ОПЕРАТОРЫ В ОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ

Лаптев Т.О.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Пусть B_π - пространство Бернштейна:

$$B_\pi = \{\psi \in H(\mathbb{C}): \exists C_\psi > 0: |\psi(z)| \leq C_\psi e^{\pi|\operatorname{Im} z|}, z \in \mathbb{C}\}$$

И пусть $B_\pi^1 = \left\{ \begin{array}{l} \psi \in H(\mathbb{C}): \forall \varepsilon > 0 \exists C_{\psi, \varepsilon} > 0: |\psi(z)| \leq C_{\psi, \varepsilon} e^{(\pi + \varepsilon)|z|}, \\ z \in \mathbb{C} \text{ и } \psi(x) = o(|x|), |x| \rightarrow \infty \end{array} \right\}$

Очевидно, что $B_\pi \subset B_\pi^1$. Из теоремы Планшереля-Полиа нетрудно вывести, что это включение собственное.

Положим $\lambda_0 = 0, \lambda_k = k + \ln|k|, k = \pm 1, \pm 2, \dots$,

$$\varphi_0(z) = \prod_{k \in \mathbb{Z}'} \left(1 - \frac{z}{\lambda_k}\right).$$

Известно, что φ_0 – функция типа синуса (см. [1]); в частности, $\varphi_0 \in B_\pi$.

Определение. *Линейный и непрерывный в топологии равномерной сходимости на компактах оператор $K: B_\pi^1 \rightarrow B_\pi^1$ называется интерференционным, если из того, что $f \in B_\pi^1, |f(\lambda_k)| = O(1), |k| \rightarrow \infty$, следует, что $K(f) \in B_\pi$, то есть $|K(f)|$ ограничен на \mathbb{R} .*

В работе [2] изучались интерференционные операторы для $\lambda_k = k + c_k, c_k = O(1), |k| \rightarrow \infty$.

Теорема. *Линейный оператор $K: B_\pi^1 \rightarrow B_\pi^1$ будет интерференционным тогда и только тогда, когда*

$$\sup_{x \in \mathbb{R}} \sum_{n \in \mathbb{Z}'} K\left(\frac{\varphi_0}{\varphi_0'(\lambda_n)} \left(\frac{1}{z - \lambda_n} + \frac{1}{\lambda_n}\right)\right) < \infty$$

Литература

1. Юхименко, А., А. Об одном классе функций типа синуса // Математические заметки, 2008, т. 83(6), с. 941–954.
2. Левин, Б., Я., Динь Тхань Хоа. Об интерференционных операторах над целыми функциями экспоненциального типа // Функциональный анализ и его приложения, 1969, т. 3(1), с. 48–61.

© Лаптев Т.О., 2025.

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

УДК 514.822

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ УПРУГИЕ СРЕДЫ В МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ КАК 3D-БРАНЫ

Шарипов Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Модель вселенной как 3D-браны – это название новой неэйнштейновской теории гравитации (см. [1]). Требование преемственности между теорией относительности Эйнштейна и новой теорией накладывает определённые ограничения на новую теорию. Из этого требования вытекает необходимость интерпретации эффектов, предсказанных теорией относительности, в рамках новой теории. Эффект замедления времени для быстро движущегося наблюдателя рассматривался в работе [2] с использованием пружинного маятника в качестве датчика времени. В докладе излагаются результаты другой работы [3], где рассматривается эффект сокращения длин быстро движущихся объектов в направлении их движения. Для этого в [3] в рамках новой теории был построен лагранжев формализм и выведены уравнения релятивистской динамики упругих сред с учётом гравитационного поля. Отправной точкой для этого стал нелинейный тензор деформации

$$u_{ij} = \frac{\check{g}_{ij} - G_{ij}}{2}.$$

Здесь G – метрика, индуцированная отображением вложения изначально недеформированной упругой среды в реальную трёхмерную вселенную, а \check{g} – метрика, полученная из метрики реальной трёхмерной вселенной g путём модифицирования при помощи оператора, обратного оператору релятивистского сжатия в направлении скорости движения среды.

Литература

1. Шарипов Р. А. Модель вселенной как 3D-браны, монография, часть 1 / Р. А. Шарипов, инд. издатель, Уфа, 2024, ISBN 978-5-600-94170-7, см. также ResearchGate publication № 383040427.
2. Sharipov R. A. Relativistic hardening and softening of fast moving springs // ResearchGate publication № 379537924, 2024. – DOI: 10.13140/ RG.2.2.10991.24488
3. Sharipov R. A. Relativistic elasticity in the 3D-brane universe model. Part 1 // ResearchGate publication № 388315101, 2025. – DOI: 10.13140/ RG.2.2.28837.61920

© Шарипов Р.А., 2025

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

УДК 531.19, 51-72

О ГАУССОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ ФОККЕРА-ПЛАНКА

Абдуллин А.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Статистическое описание процессов в динамических системах приводит к задаче исследования уравнений типа Фоккера-Планка, при решении которой, как правило, используется прием линеаризации векторных полей вблизи заданных фазовых траекторий детерминистских систем [1,2]. В работе показывается, что построение ковариационной матрицы, следовательно, и функции распределения, можно существенно упростить путем комплексного преобразования координат в исходных стохастических уравнениях Ито и расщепления случайного процесса на составные части.

Динамическая система описывается уравнениями Ито

$$d\vec{z}(t) = \vec{F}(\vec{z}) + \Gamma d\vec{\eta}(t),$$

где $\vec{z}(t) = \text{col}(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – n -мерный случайный процесс, $t \geq 0$, $\vec{F}(\vec{z})$ – n -мерная гладкая вещественная вектор-функция, Γ – вещественная симметричная матрица порядка n , $\vec{\eta}(t) = \text{col}(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$ – процесс белого шума. Совершая замену переменных $\vec{z}(t) = U\vec{y}(t)$, где U – матрица, столбцами которой являются собственные векторы матрицы линеаризованного уравнения детерминистской системы, в новых координатах получаем уравнение Фоккера-Планка:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \sum_{k,j=1}^n a_{kj} \frac{\partial^2 u}{\partial x_k \partial x_j} - \sum_{k,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_k} (\Lambda_{kj} x_j u), \quad x_k = \text{Re } y_k$$

Решение этого уравнения на основе флуктуационно-диссипационной теоремы можем записать в виде гауссовского распределения:

$$u(t, \tau, \vec{x}, \vec{\xi}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \det \sigma(t, \tau)}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\vec{x} - \vec{\xi})^T \sigma^{-1}(t, \tau) (\vec{x} - \vec{\xi}) \right\},$$

где ковариационная матрица $\sigma(t, \tau)$ находится в явном виде, если использовать согласованное разбиение матриц на блоки.

Литература

1. Маслов, В. П. Комплексные марковские цепи и континуальный интеграл Фейнмана. М.: Наука, 1976. – 196 с.
2. Свирежев, Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. – 368 с.

© Абдуллин А.У., 2025

СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

УДК 378

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И ИХ СВЯЗЬ С ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Евдокимов А.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Теория вероятностей играет важнейшую роль в современном мире технологий и безопасности данных. Благодаря теории вероятностей специалисты по информационной безопасности способны эффективно анализировать риски, разрабатывать надежные алгоритмы шифрования и защищать конфиденциальную информацию. Рассмотрим основные темы теории вероятностей и приведем примеры задач, которые можно предложить студентам в процессе обучения.

Комбинаторика.

Задача 1. Банковская карта защищается четырёхзначным PIN-кодом, состоящим исключительно из цифр от 0 до 9. Каждая цифра может повторяться неограниченное количество раз. Сколько уникальных PIN-кодов возможно создать?

Задача 2. Сколько различных шестибуквенных паролей можно составить из строчных английских букв (всего 26 букв)? Буквы могут повторяться.

Задача 3. Из семи кандидатов компания хочет сформировать команду из трех сотрудников. Сколько различных команд можно сформировать, если порядок выбора неважен?

Классическое определение вероятности.

Задача 1. Студенту нужно выбрать пароль длиной ровно 4 символа из цифр от 0 до 9. Сколько всего возможных паролей существует?

Задача 2. Пароль к системе состоит ровно из 8 символов: 3 заглавные буквы (A-Z) и 5 цифр (0–9). Порядок символов фиксирован: сначала буквы, потом цифры. Хакер генерирует случайную комбинацию по этому правилу. Какова вероятность случайно создать правильный пароль?

Задача 3. Для доступа к зашифрованной сети злоумышленнику необходимо компрометировать ровно 2 конкретных сервера из 10 имеющихся. Он атакует 2 сервера наугад. Какова вероятность, что он выберет именно нужные два?

Теоремы сложения и умножения.

Задача 1. Студент второкурсник проходит онлайн-тестирование по курсу информационной безопасности. Тест состоит из двух частей (теоретической и практической).

Первая часть теста предполагает выбор правильного ответа из двух предложенных вариантов. Студент либо знает правильный ответ (вероятность 0,8), либо догадывается и случайно выбирает вариант (вероятность 0,2). Если студент догадывается, он выбирает верный ответ (с вероятностью 0,5). Вторая часть теста требует написать программу на Python. Студент либо уверенно решает задачу (вероятность 0,7) и получает верный ответ, либо ошибается (вероятность 0,3). Требуется найти вероятность того, что студент успешно сдаст обе части экзамена.

Задача 2. В течение часа на сервер может поступить фишинговая атака через порт 80 с вероятностью 0,4, а через порт 443 – с вероятностью 0,5. Вероятность атаки через оба порта одновременно равна 0,2. Какова вероятность того, что в течение часа произойдет хотя бы одна фишинговая атака?

Условная вероятность.

Задача 1. Среди пользователей сайта 60% используют сложный пароль, а остальные – простой. Из тех, кто пользуется простым паролем, 10% были взломаны. Среди пользователей сложного пароля — никто не пострадал. Определите вероятность того, что случайно выбранный взломанный аккаунт имел простой пароль.

Задача 2. 65% фишинговых писем приходят через сервер А, 35% – через сервер В. Доля писем с вредоносными вложениями с сервера А составляет 10%, с сервера В – 25%. Обнаружено фишинговое письмо с вредоносным вложением. Какова вероятность, что оно пришло через сервер В?

Формула полной вероятности.

Задача 1. Компьютер подвергается атакам извне. Существует три способа входа хакера: через веб-сайт (вероятность 0,4); через электронную почту (вероятность 0,3) непосредственно через уязвимость ОС (вероятность 0,3). Известно, что успешность атаки через сайт составляет 60%, через почту – 40%, через ОС – 20%. Какова вероятность успешной атаки на компьютер?

Данные задачи имеют прикладной характер, повышают интерес к предмету теории вероятностей.

Задачи прикладного характера можно рассмотреть в источниках [1, 2, 3].

Рассмотрим, для наглядности, решение задачи на формулу полной вероятности.

Обозначим событие A - успешный взлом компьютера. Все способы взлома: H_1 - вэб-сайт, H_2 - почта, H_3 - ОС. Суммарно $P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) = 1$. Теперь определим условные вероятности:

$$P(A|H_1) = 0,6$$

$$P(A|H_2) = 0,4$$

$$P(A|H_3) = 0,2$$

Запись $P(A|X)$ означает вероятность события A при событии X .
Применим Формулу полной вероятности:

$$P(A) = P(A|H_1) \cdot P(H_1) + P(A|H_2) \cdot P(H_2) + P(A|H_3) \cdot P(H_3) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P(A) = 0,4 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,2 = 0,42$$

Ответ: P (успешного взлома компьютера) = 0,42 (42%).

Литература

1. Боярский, М. Д. Специальные главы теории вероятностей / М. Д. Боярский, М. Д. Локшин, А. А. Кныш. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2014. – 59 с. – EDN YVLMIJ.
2. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер. – 5-е изд., пер. и доп. – Москва: Юрайт, 2025. – 538 с.
3. Криволапов, С. Я. Теория вероятностей в примерах и задачах на языке R: Учебник / С. Я. Криволапов. – 1-е изд. – Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2024. – 412 с.

© Евдокимов А.А., 2025

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ КРОВИ В АРТЕРИИ

Ермакова М.В., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

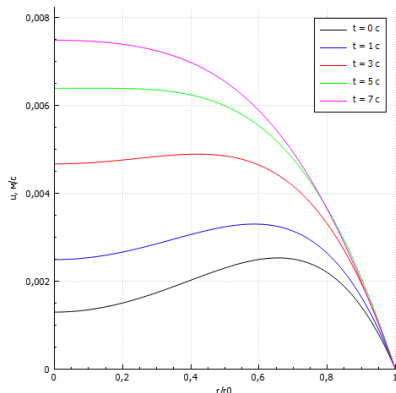
Известно, что под действием циклической работы сердца течение крови в крупных и средних сосудах (артериях и артериолах) носит пульсирующий характер. С помощью численного моделирования можно предсказать, как будет течь кровь в кровеносных сосудах при различных параметрах сердечных циклов. Современные методы вычислительной гидродинамики, основанные на применении уравнений Навье-Стокса, широко используются для анализа характеристик ламинарного пульсирующего течения.

В качестве физической модели в данной работе была взята жидкость, перемещающаяся по артерии цилиндрической формы диаметра r_0 и длины L с периодически меняющимся давлением $\Delta p(t)$.

Аналитическое решение для ламинарного пульсирующего течения крови в артерии с использованием уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности в цилиндрических координатах имеет следующий вид:

$$u_z = \frac{A^* r_0^2}{i \mu \alpha^2} \left[1 - \frac{J_0(\alpha i^{3/2} \frac{r}{r_0})}{J_0(\alpha i^{3/2})} \right] e^{i \omega t}.$$

В результате был получен профиль скорости ламинарного пульсирующего течения.



Литература

1. Nichols, W. W., O'Rourke, M. F., Edelman, E. R., Vlachopoulos, C. McDonald's Blood Flow in Arteries. Taylor & Francis Group. 2022.

© Ермакова М.В., Киреев В.Н., 2025

ПРИМЕНЕНИЕ «ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ» К КОМПОНЕНТАМ АЛГОРИТМА ДИФФИ-ХЕЛЛМАНА

Токунов Е.Б.¹, Поглазов К.Ю.¹, Таюпов М.М.²

¹Уфимский колледж статистики, информатики и
вычислительной техники, г. Уфа, Россия

²ГАПОУ РБ Уфимский медицинский колледж, г. Уфа, Россия

В современном обществе криптография играет всё более значимую роль, особенно в свете того, что постквантовое шифрование стало частью стандарта NIST [1]. Этот переход к постквантовым методам шифрования обусловлен растущими угрозами со стороны квантовых вычислений, которые могут потенциально разрушить традиционные криптографические системы. Учитывая, что АНБ создало уязвимости в алгоритме Диффи-Хеллмана и многих других алгоритмах [2], возникает необходимость в модернизации как алгоритмов шифрования, так и протоколов передачи данных.

Современные угрозы требуют от специалистов по безопасности постоянного анализа и обновления существующих систем. В ходе исследования было проанализировано применение "Исключающего ИЛИ" к различным составляющим компонентам алгоритма Диффи-Хеллмана.

Кроме того, исследование также охватывает вопросы интеграции новых методов шифрования в существующие системы, что является критически важным для обеспечения безопасности данных в условиях быстро меняющихся технологий. В результате анализа были сделаны выводы о целесообразности такого подхода.

Литература

1. FIPS 203. Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard: издание официальное: утвержден и введен в действие Национальный институт стандартов и технологий США от 24 августа 2023 г.: введен впервые : дата введения 2023-08-24 / подготовлен Национальный институт стандартов и технологий США (NIST). – Гейтенсберг: NIST, 2023 – Текст: непосредственный.

2. Adrian D. et al. Imperfect forward secrecy: How Diffie-Hellman fails in practice //Proceedings of the 22nd ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – 2015. – С. 5-17. – URL: <https://weakdh.org/imperfect-forward-secrecy.pdf> – Текст: электронный.

УДК 519.688, 51-77.

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОРТФЕЛЯ ОБЛИГАЦИЙ НА ОСНОВЕ LSTM И DRO ЗАДАЧИ КЕЛЛИ

Галимнуров А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Методы обучения с подкреплением на основе марковского процесса принятия решений активно исследуются с целью их применения на рынках долговых бумаг [1]. Агент RL учится принимать решения на основе рыночных данных и индикаторов, адаптируясь к смене режимов и улавливая нелинейные зависимости, что делает его эффективным для прогнозирования и управления в условиях неопределённости. Более классическое развитие теории развития портфельного моделирования заключается в применении робастной оптимизации к портфельной задаче Келли [2]. Предлагается рассмотреть комбинированный алгоритм моделирования за счёт включения блока Келли для корректировки весов портфеля. Особенностью предложенного подхода к моделированию портфеля является не только применение методов обучения с подкреплением к долговому рынку, но и в модификации метода машинного обучения за счет задачи Келли. Итоговая схема алгоритма имеет вид:

Состояния → Политика (RL) → задача Келли (коррекция весов) → Портфель.

Для оценки предложенного алгоритма предлагается сравнить конечную доходность и динамику волатильности случайно сгенерированных портфелей на российском рынке за 2024 год. Проведённое исследование показало, что применение алгоритма позволяет добиться устойчивого улучшения характеристик управления. Среднегодовой рост доходности портфеля увеличился на 0,4%, при этом волатильность сократилась с 1,93% до 1,51%. Ключевым результатом стало увеличение коэффициента Шарпа – отношением доходности на волатильность на 16.8%. Таким образом, алгоритм не только повышает доходность портфеля, но и снижает риск потерь в кризисных условиях, обеспечивая устойчивое превосходство над традиционными стратегиями управления долговыми активами.

Литература

1. G. Huang, X. Zhou, Q. Song// Deep Reinforcement Learning for Portfolio Management URL: doi.org/10.48550/arXiv.2012.13773.
2. Галимнуров А.А., Исмагилова А. С. Моделирование портфеля на основе задачи Келли и метрики Васерштейна// Системы управления и информационные технологии, №1(99), 2025. С. 7–12.

© Галимнуров А.А., 2025

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А., Долгий Д.А.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,
г. Стерлитамак, Россия

Современные методы машинного обучения открывают новые горизонты для создания межатомных потенциалов (MLIP) в молекулярной динамике (MD), заменяя дорогостоящие *ab initio* расчеты. В работе представлен сравнительный анализ четырех основных подходов: DeepMD, Gaussian Approximation Potential (GAP), Spectral Neighbor Analysis Potential (SNAP) и Moment Tensor Potential (MTP). Эти методы оценивались по точности (RMSE энергии ~ 1 -10 мэВ/атом, сил ~ 20 -40 мэВ/Å), скорости (10^{-4} - 10^{-3} с/атом/шаг) и эффективности данных, с учетом расхождений в динамике атомов и редких событий, где MLIP могут показывать ошибки в 8-25% для сил на мигрирующих атомах.

DeepMD, основанный на нейронных сетях, обеспечивает высокую точность для систем с многими элементами (например, AgI_3 с RMSE ~ 1 мэВ/атом), но требует GPU и больше данных ($\sim 10^3$ энергий, $\sim 10^5$ сил), показывая ограничения в экстраполяции на фазовые равновесия. GAP использует гауссовскую регрессию и SOAP-дескрипторы, эффективен для малых наборов данных, но медленнее MTP. SNAP с гиперсферическими биспектрами быстр (до 10^{-6} с/атом/шаг на больших кластерах) и портативен, однако уступает в точности для сложных металлов. MTP с тензорными моментами наиболее точен (до 1 мэВ/атом) и эффективен (до 99% меньше данных, чем DeepMD для расплавов), идеален для CPU, но ограничен для >5 элементов.

Аспект анализа	Ключевые дополнения
Учет магнитных степеней свободы	Самообучающиеся потенциалы для парамагнитных материалов (на примере CrN)
Инструментарий и доступность	Библиотеки mlp/MACE/NequIP/ViSNet и DeePMD-kit 5-8
Методы табулярного GAP	Метроны табулярного GAP для Cu, Al, Ni 6-8
Валидация на многокомпонентных системах	Успешное применение DeepMD для тройных сплавов 8

© Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А., Долгий Д.А., 2025

ПРИГЛАШЕННЫЕ ЛЕКЦИИ

УДК 538.9

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Fe-Ga

Загребин М.А., Павлухина О.О., Сокол А.С.,

Безбородова П.А., Матюнина М.В.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Магнитострикционные материалы играют важную роль в современной электротехнике и применяются для изготовления датчиков давления, сенсоров и гидролокаторов, в преобразователях энергии, в различных биомедицинских приложениях, в гибкой электронике и др. [1]. Значительная часть этих применений связана с работой в условиях повышенных частот перемагничивания, что диктует дополнительные требования к материалам [1-3]. Наиболее распространенными магнитострикционными сплавами, используемыми в промышленных масштабах, являются FeTbDy (Терфенол-Д) и FeCo. В последние годы популярность приобрел сплав Fe-Ga (Галфенол) [1]. С момента открытия в 2000-х годах Кларком и др. в указанной системе высоких значений магнитострикции [4, 5], сплав неизменно привлекает повышенное внимание исследователей и инженеров, что подтверждается динамикой публикаций. Fe-Ga сочетает в себе более высокую магнитострикцию по сравнению с FeCo, и гораздо более низкие магнитные поля насыщения и стоимость по сравнению с FeTbDy [1, 4, 5]. Преимуществами Fe-Ga являются такие характеристики как температурная стабильность в широком диапазоне, коррозионная стойкость, возможность управления свойствами в широких интервалах за счет контроля структуры, механическая устойчивость [1].

Магнитострикционные свойства галфенолов определяются сложным фазовым составом и существенно зависят от термических условий изготовления образцов. На практике кристаллизация Fe-Ga обычно соответствует метастабильному фазовому состоянию и было показано, что приближение к равновесному состоянию способствует образованию упорядоченных фаз $D0_3$ (ОЦК), $L1_2$ (ГЦК) или $D0_{19}$ (ГПУ) [1]. Фаза $D0_3$ отрицательно влияет на магнитострикцию сплавов с содержанием Ga около 19 ат.%, а фазы $L1_2$ и $D0_{19}$ – в сплавах с содержанием Ga в диапазоне 26-29 ат.%. К настоящему времени получено достаточно информации об оптимальных методах изготовления сплава и методах повышения магнитострикции. Однако открытым остается вопрос теоретической интерпретации действующих механизмов фазовых

превращений в сплавах Fe-Ga важных для конструирования инженерных устройств.

В обзоре приводятся результаты теоретических исследований фазовых превращений, а также функциональных свойств сплавов Fe-Ga и Fe-Ga-*RE* (*RE* = Pr, Tb, Er). В качестве объектов исследования выступали кристаллические структуры $A2$, $D0_3$ и $L1_2$ сплавов $Fe_{100-x}Ga_x$ ($3.7 \leq x \leq 25$ ат.%) и $Fe_{80.47}Ga_{18.75}RE_{0.78}$. С помощью первопринципных вычислений определены равновесные параметры кристаллической решетки a_0 , модули упругости (c' и c_{44}), магнитные моменты, постоянные тетрагональной магнитострикции λ_{001} и параметры магнитного обменного взаимодействия J_{ij} [6-10]. Первопринципные вычисления проводились с учетом различных обменно-корреляционных функционалов [6]. Полученные в результате вычислений параметры магнитного обменного взаимодействия и магнитные моменты далее были использованы для моделирования температурной зависимости намагниченности и оценки температуры Кюри T_C [6, 8, 9]. Моделирование было выполнено с использованием классической трехмерной модели Гейзенберга в рамках моделирования методом Монте-Карло. Кроме того, оценка температуры Кюри выполнена также с использованием приближения молекулярного поля [10]. В обзоре также уделено внимание перспективам применения молекулярно-динамического моделирования для исследования фазовых превращений и функциональных свойств сплавов Fe-Ga.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-20086, <https://rscf.ru/project/24-22-20086/>.

Литература

1. Головин, И. С., Палачева, В. В., Мохамед, А. К., Балагуров, А. М. // Физика металлов и металловедение, 2020, т. 121(9), стр. 937-980.
2. Hristoforou, E., Ktena, A., Gong, S. et al. // IEEE Transactions on Magnetism, 2020, v. 55(7), pp. 4002814.
3. Akinaga, H. // Japanese Journal of Applied Physics, 2020, v. 59, pp. 110201.
4. Clark, A. E., Restorff, J. B., Wun-Fogle, M. et al. // IEEE Transactions on Magnetism, 2000, v. 36, pp. 3238.
5. Clark, A.E., Restorff, J.B., Wun-Fogle, M. et al. // Journal of Applied Physics, 2003, v. 93, pp. 8621.
6. Матюнина, М. В., Загребин, М. А., Соколовский, В. В. и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика», 2024, том 16(3), стр. 62-69.

7. Matyunina M. V., Sokol A. S., Pavluchina O. O. et al. // Bulletin of the South Ural State University. Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, 2025, v. 18(2), pp. 18-30.

8. Zagrebin, M. A., Matyunina, M. V., Tarasova, Y. S. et al. // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2025, v. 38, pp. 136.

9. Pavluchina, O. O., Matyunina, M. V., Zagrebin, M. A. et al. // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2025, v. 38, pp. 157.

10. Zagrebin M. A., Markovich I. A., Kuznetsov A. S. et al. // Bulletin of the South Ural State University. Mathematics. Mechanics. Physics, 2025, v. 17(3), pp. 47-54.

© Загребин М.А., Павлухина О.О., Сокол А.С.,
Безбородова П.А., Матюнина М.В., 2025

УДК 544.03, 544.22

КАЛОРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ И УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ

Каманцев А.П.

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН,
г. Москва, Россия

Калорическими называют материалы, которые демонстрируют обратимые тепловые изменения под действием внешнего индуцирующего поля, известные как калорические эффекты (КЭ) [1]. История исследования изучения КЭ начинается с исследования обыкновенной резины. Натуральный каучук сильно нагревается, если его быстро растягивать. Если же тепло успевает рассеяться, то после снятия одноосного напряжения он охлаждается. Этот эффект впервые был описан слепым естествоиспытателем Джоном Гуком в начале XIX века в Англии, который обнаружил его, прикладывая резину к своим губам. Эластокалорические эффекты (элКЭ), подобные этому, были описаны Джоулем для различных материалов в 1859 году. Лорд Кельвин предложил их термодинамическую интерпретацию того, что позже назовут магнитокалорическим эффектом (МКЭ) и электрокалорическим эффектом (ЭКЭ), которые возникают под действием магнитного и электрического полей, соответственно. Барокалорический эффект (БКЭ) возникает под действием изотропного механического напряжения.

Статья Вейса и Пиккара 1917 года по исследованию свойств Ni вблизи температуры Кюри, является первым наблюдением обратимого МКЭ, но там его обратимость не была продемонстрирована. Только после прямого экспериментального наблюдения ЭКЭ в сегнетовой соли в 1930 году, охлаждение на основе МКЭ в парамагнитных солях было

использовано для приближения температур к абсолютному нулю. В 1976 году, используя Gd вблизи температуры Кюри, было продемонстрировано охлаждение вблизи комнатных температур. Экспериментальные исследования в области КЭ в настоящее время испытывают подъем, а прототипы холодильных машин на их основе находятся в стадии активной разработки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00942, <https://rscf.ru/project/25-19-00942/>

Литература

1. Sokolovsky, V. V., Kamantsev, A. P., Buchelnikov, V.D., Marchenkov, V.V. // Physics of Metals and Metallography, 2024, v. 125(14), pp. 1805–1813.

© Каманцев А.П., 2025

УДК 539.893

ПОЛУЧЕНИЕ АМОРФНЫХ И АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ МЕТОДАМИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сундеев Р.В.^{1,2,3}

¹Центральный научно-исследовательский институт имени И.П. Бардина, г. Москва, Россия

²МИРЭА - Российский технологический университет, г. Москва, Россия

³Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Хорошо известно, что экстремальные воздействия являются одним из перспективных направлений создания новых далеких от равновесия структурно-фазовых состояний с уникальными физико-механическими свойствами. Ярким примером неравновесных структурно-фазовых состояний являются всевозможные аморфные материалы. Некоторые из которых существуют в природе или могут быть получены с применением различных методов экстремальных воздействий. К таким способам, безусловно, можно отнести методы закалки из жидкого состояния (ЗЖС) (спиннингование) с высокой скоростью охлаждения 10^5 - 10^6 К/с и другие методы: вакуумного напыления, катодного распыления, ионного осаждения, облучения, ионной имплантации и др. Сейчас активно развиваются представления о том, что наряду с термической аморфизации сплавов, аморфное состояние в металлических сплавах можно получить и в результате экстремальных деформационных воздействий. Известно, что большие пластические деформации (кручения

под высоким давлением (КВД), равноканальное угловое прессование, аккумулируемая прокатка, всесторонняя ковка, винтовая экструзия и др.) позволяют достичь в металлических материалах больших величин деформации, недостижимые традиционными методами деформирования. В результате таких деформационных воздействий в кристаллических металлических сплавах может быть достигнуто как аморфное, так и аморфно-нанокристаллическое или нанокристаллическое состояние.

Среди различных способов больших пластических деформаций можно особенно выделить метод КВД, который позволяет в лабораторных условиях исследовать физику больших пластических деформаций на широком спектре материалов. Такие экстремальные деформационные воздействия могут приводить к формированию в материалах структурно-фазовые состояния с высокими физико-механическими свойствами.

© Сундеев Р.В., 2025

УДК 539.21, 535.55

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Хазимуллин М.В.

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

Топологические дефекты — области локального нарушения параметра порядка — представляют собой универсальный объект для исследований в самых разных областях, от космологии и квантовой физики до биологии и физики конденсированного состояния [1]. Жидкокристаллические (ЖК) системы служат удобной модельной средой для изучения дефектов, сочетая анизотропию физических свойств с текучестью. Это позволяет не только эффективно управлять топологическими структурами с помощью внешних полей, но и непосредственно наблюдать их методами оптической микроскопии, что зачастую невозможно в других системах.

Для жидкокристаллических систем характерно дальнейшее ориентационное упорядочение анизотропных элементов: стержне- или дискообразных молекул, полимерных цепей, наночастиц или даже биологических объектов (например, вирусов). Топологические дефекты в них спонтанно образуются в геометриях с искривленными границами, таких как цилиндрические капилляры, свободно взвешенные или лежащие на подложке капли. Уникальная сочетаемость лёгкости управления топологическими состояниями и их наглядности в жидких кристаллах стимулирует активные исследования как фундаментального, так и прикладного характера.

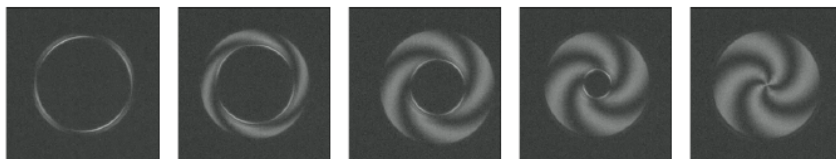


Рис. 1. Топологический переход от линейного к точечному дефекту в жидкокристаллическом мостике под воздействием электрического поля

В лекции представлены основы топологической классификации дефектов в жидких кристаллах, а также экспериментальные и теоретические методы их исследования. Рассмотрены примеры использования дефектов в оптических устройствах, химических и биологических сенсорах, при самосборке микро- и наноструктур. Описываются способы генерации топологических дефектов в малоизученной системе — жидкокристаллических мостиках, представляющих собой капли, зажатые между двумя плоскими подложками. Отмечается, что устойчивость ориентационных конфигураций с точечным или линейным дефектами в таких системах определяется анизотропией ориентационной упругости, геометрическими параметрами и условиями на ограничивающих поверхностях. Приводятся результаты экспериментальных исследований ориентационных структур в жидкокристаллических мостиках и динамики топологических переходов между линейным и точечным дефектами под действием электрического поля (рис. 1).

Отдельный раздел в лекции уделяется теоретическим подходам к анализу устойчивости ориентационных состояний с топологическими дефектами. Рассматриваются методы расчёта пространственного распределения директора и компьютерного моделирования оптических изображений. Подчеркивается важность количественного сопоставления результатов моделирования с экспериментальными данными, что необходимо для более глубокого понимания физических механизмов формирования и устойчивости топологических состояний в жидкокристаллических системах.

В заключительной части обсуждаются перспективы дальнейших исследований жидкокристаллических систем с топологическими дефектами и их потенциальные приложения.

Литература

1. Fumerona, S., Berche, B. // Eur. Phys. J. Spec. Top., 2023, v. 232, p. 1813.

© Хазимуллин М.В., 2025

**ОЧЕРК ЖИЗНИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПУТИ.
ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА Р.З. БАХТИЗИНА**

Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

К глубокому сожалению, 10 сентября 2025 года ушел из жизни профессор кафедры «Физической электроники и нанофизики» (ныне кафедра «Электроники и физики наноструктур») Уфимского университета науки и технологий, выдающийся физик, один из виднейших специалистов мирового уровня в области эмиссионной электроники и физики поверхностных наноструктур, доктор физико-математических наук, профессор Рауф Загидович Бахтизин.

Много лет своей жизни Рауф Загидович отдал научной и педагогической деятельности в стенах Башкирского государственного университета и Уфимского университета науки и технологий. Его плодотворный труд был отмечен различными наградами и почетными званиями: «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации», «Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан», «Лауреат Государственной премии по науке и технике Республики Башкортостан», награжден серебряной медалью ВДНХ СССР, почетным знаком «Изобретатель СССР» и др. Он также работал в ведущих институтах Японии, Китая и Германии, его научные труды известны далеко за пределами Башкортостана и России.

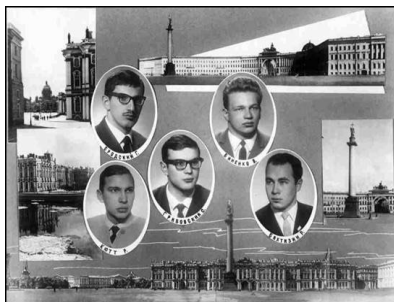
Родители Рауфа Загидовича - Загид Имамутдинович Бахтизин и Факия Малиховна Салимова (впоследствии заслуженный учитель РСФСР) - получили образование в Казанском педагогическом институте (1933 г.). Загид Имамутдинович начал трудовую деятельность учителем Казаккуловской начальной школы Тамьян-Катайского кантона БАССР (1925—29 гг.). С 1933 года молодая семейная пара продолжила трудовую деятельность в одной из казанских школ. В 1937 году начались репрессии и их направили в Горьковскую область, где они также работали учителями. Вскоре началась Великая Отечественная Война, для учителей была бронь, но в 1942 году Загида Имамутдиновича все же призвали в ряды Красной армии. В бою получил контузию. Завершал войну уже на Дальнем востоке. 20 января 1943 г. в с. Кочки-Пожарки Красно-Октябрьского района Горьковской обл. родился Рауф Загидович. До окончания войны Рауф Загидович с мамой и старшей сестрой оставались в Горьковской области.

В 1946 году семья Загида Имамутдиновича вернулась в Уфу. Ему поручили участвовать в создании нефтяного техникума и назначали директором. Интересно, что одним из первых студентов техникума был

первый Президент Республики Башкортостан Муртаза Губайдуллович Рахимов.

В 1950-ые годы в стране была активная пропаганда советских научных достижений. Многие школьники, в том числе и Рауф Бахтизин, тянулись к этим научным достижениям. Учился в обычной школе №11 (ныне № 61), располагавшейся в городе Черниковск. Интерес был к олимпиадам по математическим наукам. Уфа была тыловым городом, сюда перебрасывали людей с Европейской части СССР, в том числе с Крыма, что проявилось в интернациональном характере Уфы и повлияло на мировоззрение Рауфа Загидовича на всю последующую жизнь: он легко завязывал контакты с учеными разных стран, в том числе в своих зарубежных командировках. Учился успешно. Школу закончил с серебряной медалью, что в те годы было нечасто.

К моменту окончания школы открылся Башкирский государственный университет. Из-за своей робости Рауф Загидович не стал пробовать свои силы для поступления в столичные вузы, а поступил в БашГУ на физико-математический факультет, отделение физики. С первого года обучения стало ясно, что уровень преподавания недостаточный, и встал вопрос о переводе. Проучившись три года, перевелся в Ленинградский государственный университет (ЛГУ) на физический факультет, кафедра электрофизики, на третий курс. Учиться было трудно. Особенно чувствовалась разница в обучении математики и радиотехники. Один из преподавателей физфака ЛГУ, Фурсей Г.Н., предложил активному студенту работать под его руководством, предложив тему научно-исследовательской работы по взрывающимся проволокам. Ближе к окончанию обучения тема исследований конкретизировалась, ею стала автоэлектронная эмиссия полупроводников (германий и др.).



Р.З. Бахтизин – аспирант ЛГУ (второй справа)

Основной импульс к занятию научной деятельностью Рауф Загидович получил в аспирантуре ЛГУ. Там он продолжил изучать автоэмиссионные свойства полупроводников и опубликовал ряд статей в

ведущих научных журналах страны. Рауф Загидович рассказывал, вспоминая те годы: «В те годы у меня сформировалась привычка, подход - если я взялся за дело, то сначала досконально изучал литературу, в т.ч. зарубежную, что сделано в мире по данной теме другими учеными. С тех пор через всю жизнь я пронес такой подход.»

Тогда было очень нелегко опубликовать статью в хорошем зарубежном научном журнале, но неимоверными усилиями Рауфу Загидовичу удалось опубликовать статьи в таких журналах, как *Surface Science*, *Physica Status Solidi* и других [1, 2].

В 1972 году успешно защитил кандидатскую диссертацию. Разработал новые вакуумные приборы конической формы. В этом же 1972 году активный кандидат наук вернулся в БашГУ, но не с пустыми руками. Ему удалось привезти с собой приборную базу для будущих экспериментальных лабораторий.

БашГУ предоставил площади для новых лабораторий на базе кафедры общей физики. Необходимо было выбрать оригинальное направление. Таким стало - эмиссионная электроника. Удалось добиться значительных результатов. Группа ученых под руководством Р.З. Бахтизина сами проектировали новые электронные приборы и направляли заказы на их производство на заводы. А также самостоятельно создавали необходимые электроракумные приборы.



Доцент Р.З. Бахтизин с учениками и сотрудниками кафедры. Середина 1980-х гг.

В те времена в Советском Союзе дела обстояли так, что предприятия обязывали выделять материальные и финансовые средства на НИОКР. Одним из таких предприятий было НПО «Энергия» (г. Королев). То есть

оно выступало заказчиком проведения исследовательских работ. Благодаря этому, развивалась деятельность по измерению электростатических полей, что привело к созданию различных приборов для измерения их параметров. Работы носили прикладной характер, разрабатывались новые приборы, с некоторыми из которых группа Р.З. Бахтизина участвовала в ВДНХ (г.Москва), была отмечена серебряной медалью. На базе этих прикладных разработок получили множество авторских свидетельств и патентов на изобретения. По инициативе ректора Гимаева Р.Н., учитывая достижения группы профессора Бахтизина, в 1980-ых гг. при университете было открыто конструкторское бюро «Заряд», от руководства которым Рауф Загидович отказался, чтобы посвятить больше времени фундаментальной науке.



Доцент Р.З. Бахтизин с сотрудниками кафедры, 1987 г.
На фото (слева направо) в первом ряду: Б.К. Сушко, Ю.М. Юмагузин;
во втором ряду: Е. Прокшина, Р.З. Бахтизин, С.С. Гоц

По инициативе Рауфа Загидовича в начале 1980-х гг. в Башкирском госуниверситете была создана кафедра радиофизики, которой он эффективно руководил на протяжении 40 лет. По специальности «Радиофизика» готовили квалифицированных специалистов для отечественной радиоэлектронной промышленности.



Состав (неполный) кафедры физической электроники в 2001 г.
На фото (слева направо): д.т.н. Б.К. Сушко, д.ф.-м.н. С.С. Гоц,
д.ф.-м.н. Р.З. Бахтизин, д.т.н. В.М. Сапельников



Состав кафедры физической электроники и нанофизики в 2015 г.
На фото (слева направо) в первом ряду: секретарь Г.А. Гизатуллина,
проф. Р.З. Шайхитдинов, доц. О.Л. Рыжиков, доц. Т.И. Шарипов;
во втором ряду: проф. М.Ю. Доломатов, проф. Р.З. Бахтизин, проф. С.С. Гоц

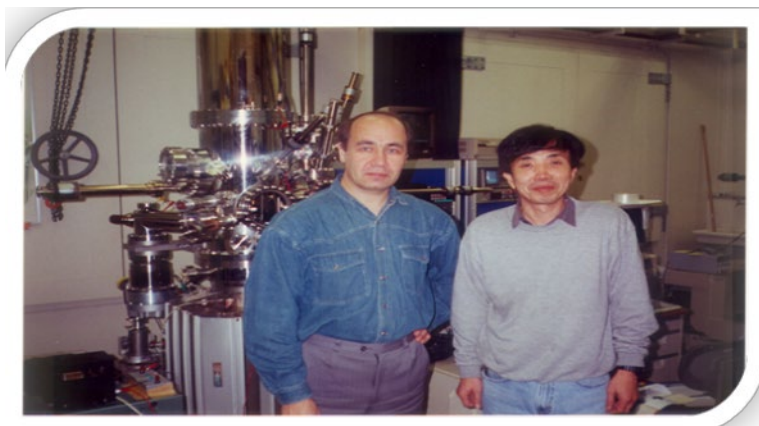
В авторитетных зарубежных и отечественных научных журналах им опубликовано более 300 научных работ, изданы 5 монографий и получено более 30 патентов [3-7].

В начале 1990-ых годов Р.З. Бахтизиным был определен новый вектор в исследованиях – нанофизика и нанотехнологии. Группа профессора Бахтизина Р.З. была одной из пионеров в нашей стране по внедрению новых физических методов исследования нанообъектов – методов сканирующей зондовой микроскопии. Благодаря его неимоверным усилиям и при поддержке руководства университета в БашГУ появился НОЦ «Нанофизики и нанотехнологий», оснащенный самым передовым на тот момент оборудованием.

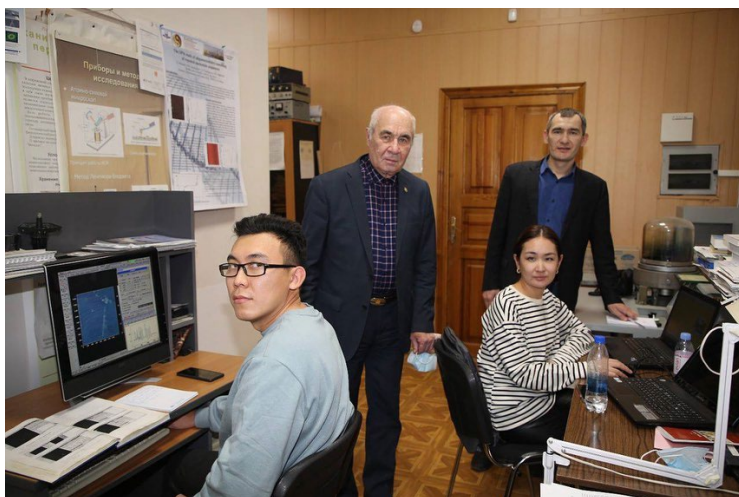


Р.З. Бахтизин с **Нобелевским лауреатом** по физике
Х. Рорером (Heinrich Rohrer), Швейцария, 2007 г.

Рауф Загидович наладил широкие научные контакты с иностранными учеными, зарубежными научными и образовательными центрами. Он неоднократно выезжал за рубеж в качестве приглашенного лектора и для проведения совместных экспериментов в ведущих университетских центрах Японии, США, Франции, Китая, Швеции, Германии, Великобритании, Южной Кореи, Польши.



Проф. Р.З. Бахтизин – исследователь в университете Тохоку, Япония, 2007 г.



Профессор Р.З. Бахтизин и доцент Т.И. Шарипов с аспирантами ЕНУ им. Л.Н. Гумилева (Казахстан) – Т. Алибай и Г. Байрбаева, проходящими стажировку на кафедре физической электроники и нанофизики УУНиТ, 2021 г.

Профессор Бахтизин Р.З. организовал и успешно провел несколько международных и всероссийских конференций с приглашением ведущих российских и зарубежных ученых для выступления с пленарными докладами и лекциями:



Международная конференция по вакуумным источникам электронов IVESC-2002 (г. Саратов). В центре первого ряда - Р.З. Бахтизин, академик Ю.В. Гуляев, Н.И. Синицын



Всероссийская конференция «Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники», 2016 г. Президиум (слева направо): д.т.н., проф. В.А. Быков, д.т.н., проф. В.А. Сергеев, д.ф.-м.н., проф. Р.А. Якшибаев, д.ф.-м.н., проф. Р.З. Бахтизин, д.ф.-м.н., проф. А.А. Бухараев



Всероссийская конференция с международным участием
«Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники», 2018 г.
Пленарный доклад профессора Vijay Kumar, Shiv Nadar University, India



Всероссийская конференция с международным участием
«Актуальные проблемы микро- и нанoeлектроники», 2018 г.
Встреча приглашенных лекторов с руководством БашГУ

Как специалиста высокого уровня в своей научной области, профессора Бахтизина постоянно приглашали для экспертной оценки научно-исследовательских результатов. Он являлся членом редколлегий высокорейтинговых международных научных журналов (Journal of Micromechanics & Microengineering, Nanotechnology & Advanced Microscopy, Eurasian Journal of Physics and Functional Materials и др.), членом руководящих комитетов Международного общества по полевой эмиссии IFES и Международного общества по вакуумным электронным источникам IVESC, Сопредседателем 43-го Международного симпозиума по полевой эмиссии (Москва, июль 1996) и 4-й Международной конференции по вакуумным электронным источникам (Саратов, июль 2002 г.).



Р.З. Бахтизин на церемонии награждения Государственной премией РБ в области науки и техники, 2006 г.

Время движется, а история остается. Трудно переоценить значительный научный и педагогический вклад Рауфа Загидовича Бахтизина, уважаемого и известного ученого, организатора и популяризатора науки и радиофизического образования в России.

В памяти своих друзей, коллег и учеников он останется как улыбчивый, доброжелательный, справедливый, преданный своему делу, добросовестный и приятный человек, целеустремленный и компетентный исследователь.

Литература

1. Mileschkina N. V. and Bakhtizin R. Z. Oxygen Adsorption on Atomically Clean Surface of Germanium Field Emitter // *Surface Science* 29 (1972) 644-652.
2. Sokolskaya I. L., Mileschkina N. V. and Bakhtizin R. Z. Gold Adsorption on Clean Germanium Field Emitters // *Physica Status Solidi (A) Applied Research*. 1972. Т. 14. № 2. С. 417-422
3. Бахтизин Р. З., Хашицуме Т, Вонг Ш, Сакурай Т. Сканирующая туннельная микроскопия фуллеренов на поверхности металлов и полупроводников // *Успехи физических наук*. 1997. Т. 167. Сс. 289–307.
4. Oreshkin A. I., Muzychenko D. A., Bakhtizin R. Z. et al. Real-time decay of fluorinated fullerene molecules on Cu(001) surface control-led by initial coverage. // *Nano Research*. 2018. V. 11 (4). P. 2069-2082.
5. Sadowski J. T., Bakhtizin R. Z., Oreshkin A. I., Nishihara T., Al-Mahboob A., Fujikawa Y., Nakajima K., Sakurai T. Epitaxial C-60 thin films on Bi(0001) // *Surface Science*. 2007. V. 601, No 23, P. 136.
6. A fluorinated fullerene molecule on Cu(001) surface as a controllable source of fluorine atoms”. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2018. 122, Iss. 42, Pp. 24454-24458. (5 соавт.)
7. Глава (Chapter) «Atomic Scale Study of Fullerene Molecules on Semiconductor Surfaces» by R.Z. Bakhtizin & A.I. Oreshkin **в книге:** «Nanotechnology in Environmental Science»/56227. Hussain, Mishra (Eds.). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA Boschstraße 12. 69469m Weinheim. Germany. 2018. 877 p.

© Шарипов Т.И., 2025

УДК 517.9, 519.633

ВЛИЯНИЕ НАПЫЛЕНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА $\text{BaSrNb}_2\text{O}_6$ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ ПЛЕНКИ ФЕРРИТА ГРАНАТА

Евдокимов А.Г.

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

В настоящее время активно исследуются домены в ферромагнитных тонких пленках несмотря на то, что история их изучения насчитывает более ста лет [1]. Это связано с тем, что домены в искусственных тонких ферромагнитных пленках представляют интерес для различных спинтронных приложений [2], а также являются перспективными носителями информационных битов [3].

В данной работе сообщается о наблюдении в пленке феррит-граната $(\text{BiLu})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$, выращенном на подложке из гадолиний галлиевого граната с кристаллографической ориентацией (210), специфической зигзагообразной доменной структуры, связанной с напылением нанометрового слоя сегнетоэлектрика $\text{BaSrNb}_2\text{O}_6$.

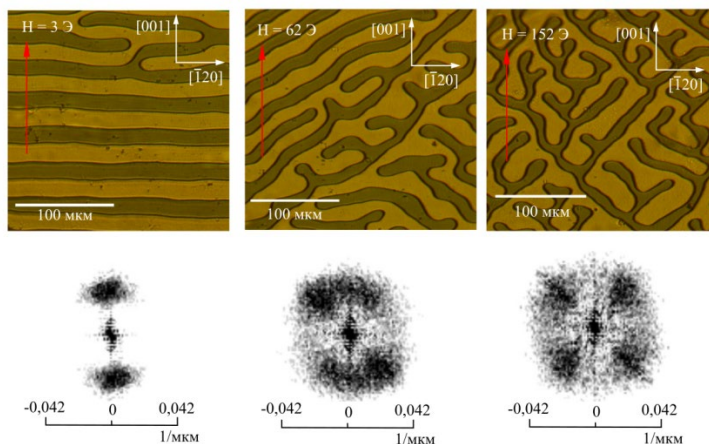


Рис. 1. Фотографии пленки при различных магнитных полях и их Фурье-образы

Доменная структура пленок была визуализирована в фарадеевской геометрии при скрещенных поляризаторе и анализаторе. В спонтанном состоянии, вследствие сильной орторомбической анизотропии в пленках (210) формируется полосовая доменная структура, однако внешнее постоянное магнитное поле, приложенное в плоскости пленки перпендикулярно доменным границам, позволяет компенсировать ее

влияние. На рисунке 1 представлены экспериментальные изображения и соответствующие им Фурье-образы при различных величинах этого поля. Анализ этих образов

показал, что угол между границами доменов близок к 90° .

Наблюдения также показывают, что в том же образце граната $(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$, без напыления сегнетоэлектрического слоя, доменная структура в магнитном поле в плоскости имела иной вид: угол между границами доменов с измененным направлением существенно отличался от угла близкого к 90° , а период измененной структуры варьировался от 20 до 80 мкм (рис. 2).

Отметив сходство рис. 1 с результатами, полученными в деформированных тонких пленках

быть связана с анизотропией взаимодействия Дзялошинского-Мории [5], которое было вызвано напылением сегнетоэлектрика на поверхность пленки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ #25-79-30019.

Литература

1. Barkhausen H. Zwei mit Hilfe der neuen Verstärker entdeckte Erscheinungen // Phys. Z. – 1919. – Т. 20. – №. 17. – С. 401-403.
2. Parkin S. S. P., Hayashi M., Thomas L. Magnetic domain-wall racetrack memory // science. – 2008. – Т. 320. – №. 5873. – С. 190-194.
3. Schellekens A. J. et al. Electric-field control of domain wall motion in perpendicularly magnetized materials // Nature communications. – 2012. – Т. 3. – №. 1. – С. 847.
4. Sapozhnikov M. V. et al. Zigzag domains caused by strain-induced anisotropy of the Dzyaloshinskii-Moriya interaction // Physical Review B. – 2022. – Т. 105. – №. 2. – С. 024405.
5. Udalov O. G., Sapozhnikov M. V. Orientation and internal structure of domain walls in ferromagnetic films with anisotropic Dzyaloshinskii-Moriya interaction // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. – Т. 519. – С. 167464.

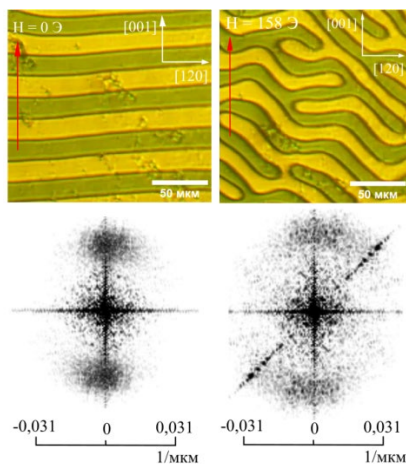


Рис. 2. Фотографии и Фурье-образы образца без напыления

ВЛИЯНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ДЕФЕКТОВ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВИХРЕПОДОБНЫХ СТРУКТУР В УЛЬТРАТОНКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ

Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Хакимуллина А.А., Ахметова А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы представляют собой топологически защищённые вихреподобные структуры, устойчивость которых связана с асимметрией в распределении спинов [1]. Они обладают рядом уникальных свойств (наномасштабные размеры, высокие скорости, возможность манипулирования ими с помощью электрического тока малой плотности и т.д.), что делает их потенциальными кандидатами для применения в вычислительных и запоминающих устройствах нового поколения, а также в искусственных нейронных сетях [2].

В магнитных материалах скирмионы в основном стабилизируются за счёт взаимодействия Дзюлошинского – Мория (DMI): объёмного – в нецентросимметричных магнетиках и межфазного – в многослойных плёнках. DMI является важным, но не единственным фактором, ответственным за устойчивость скирмионов. Существуют методы с использованием наномодифицированных плёнок, в которых возможно получать скирмионы при малых значениях DMI или даже в его отсутствии [3]. Один из них заключается в создании дефекта типа «потенциальная яма», в области которого скачком меняются материальные параметры плёнки [4]. При этом особенный интерес вызывают исследования совместного влияния этих двух стабилизирующих факторов: присутствие DMI и наличие дефектов [5].

В данной работе с помощью микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF [6] рассматривается возможность стабилизации вихревых структур в плёнках типа Co/Pt в форме диска. В центре диска присутствует колумнарный дефект, в области которого величина перпендикулярной магнитной анизотропии K_{u2} меньше, чем в области остального диска K_{u1} ($K_{u1} < K_{u2}$). Наличие данного дефекта оказывает положительное влияние на устойчивость скирмионов и значительно расширяет область их существования. Комбинация нескольких связанных между собой подобных дефектов приводит к появлению новых типов вихреподобных структур. При наличии двух дефектов появляются деформированные и вытянутые магнитные скирмионы. При наличии трёх дефектов возможно появление бимерона в виде полосового домена (Рис. 1) [7]. При моделировании данной структуры учитывались: обменное взаимодействие ($A = 1.5 \cdot 10^{-11}$ Дж/м), DMI ($D = 1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²), воздействие магнитной анизотропии ($K_{u1} = 0.4$ Дж/м³, $K_{u2} =$

0.2 Дж/м³) и магнитостатическое взаимодействие ($M_s = 5.8 \cdot 10^5$ А/м). Радиус плёнки $R=150$ нм, радиус каждого дефекта $R_0 = 30$ нм. Стоит отметить, что при данном наборе параметров в отсутствии дефекта какие-либо вихревые структуры не стабилизируются.

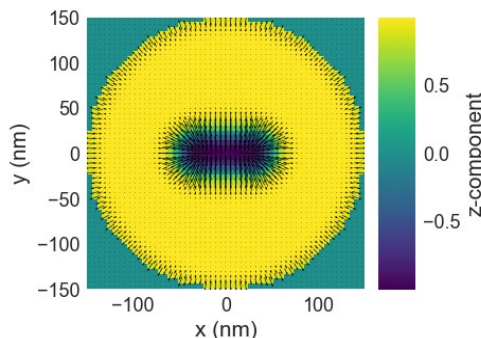


Рис. 1. Устойчивое состояние магнитного бимерона в виде полосового домена

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (Дизайн новых материалов (FRRR-2024-0001)).

Литература

1. Everschor-Sitte, K., Masell, J., Reeve, R.M., Kläui, M. // JAP, 2019, 124, 240901.
2. Kläui, M., Everschor-Sitte, K., Lee, O., Msiska, R. et al // Appl. Phys. Lett., 2023, 122, 260501.
3. Sapozhnikov, M.V. // JMMM, 2015, 396, 338-344.
4. Vakhitov, R.M., Solonetsky, R.V., Akhmetova, A.A., Filippov, M.A. // Symmetry, 2022, 14(3), 612.
5. Vakhitov R. M. et al. // JPCM., 2025, 37, 055802.
6. Donahue, M.J., Porter, D.G. // OOMMF User's Guide, 2019, version 2.0a2.
7. Hu X. C. et al. // Reviews in Physics, 2025, 13, 100111.

© Филиппов М.А., Вахитов Р.М.,
Хакимуллина А.А., Ахметова А.А., 2025

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА ТИПА «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА» НА РАДИУС МАГНИТНОГО СКЕРМИОНА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ

Хакимуллина А.А., Вахитов Р.М., Филиппов М.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Магнитные скирмионы представляют собой топологически защищённые вихреподобные структуры, возникающие из-за наличия взаимодействия Дзялошинского—Мория (DMI) в нецентросимметричных магнетиках и многослойных плёнках. Благодаря своим уникальным свойствам, таким как нанометровые размеры, высокие скорости, управляемость слабыми токами и т.д., они рассматриваются как возможные кандидаты для нового поколения устройств спинтроники, включая системы хранения данных и искусственные нейронные сети [1].

Хотя взаимодействие Дзялошинского—Мория (DMI) играет важную роль в формировании скирмионов, оно не является единственным определяющим фактором. Альтернативным способом их стабилизации является использование наномодифицированных плёнок с пространственно модулированными параметрами [2, 3]. Целью данной работы является исследование совместного влияния двух стабилизирующих для скирмионов факторов: DMI и наличия столбчатого дефекта типа «потенциальная яма». Оно проводилось методом микромагнитного моделирования в пакете программ OOMMF [4]. В качестве расчётной модели рассматривалась плёнка в форме диска с радиусами $R = 75$ и 150 нм и толщиной $h = 1$ нм. Исследовалось влияние дефектов различного радиуса $r = 20$ и 30 нм, в области которых происходит уменьшение величины перпендикулярной магнитной анизотропии K_{u2} по сравнению с магнитной анизотропией в остальном диске K_{u1} , т.е. ($K_{u2} < K_{u1}$). При моделировании учитывались: обменное взаимодействие ($A = 1.5 \cdot 10^{-11}$ Дж/м), DMI ($D = 1 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²), магнитная анизотропия ($K_{u1} = 0.4$ и $0.6 \cdot 10^6$ Дж/м³, $K_{u2} = (0 \div K_{u1})$) и магнитостатическое взаимодействие ($M_s = 5.8 \cdot 10^5$ А/м). Данные материальные параметры соответствуют многослойным плёнкам типа Co/Pt.

Анализ показал, что при дефекте радиусом $r = 30$ нм и значении константы анизотропии $K_{u1} = 0.4 \cdot 10^6$ Дж/м³ стабилизация скирмионов происходила при $K_{u2} \leq 0.25 \cdot 10^6$ Дж/м³ для обоих исследованных размеров. При $K_{u1} = 0.6 \cdot 10^6$ Дж/м³ скирмион образовывался уже при $K_{u2} \leq 0.1 \cdot 10^6$ Дж/м³. В отсутствие же дефекта магнитные скирмионы не формируются при данном наборе параметров. Уменьшение K_{u2} приводило к росту радиуса скирмиона R_v , который достигал

максимального значения, приближающегося к радиусу дефекта, при $K_{u2} = 0$ (Рис. 1). Для дефекта $r = 20$ нм наблюдалась аналогичная зависимость, где R_V стремился к соответствующему радиусу дефекта. Отметим, что размеры скирмиона определяются только соотношением величин магнитной анизотропии на дефекте и в остальном диске и не зависит от размеров самого диска. Полученные результаты демонстрируют возможность управления параметрами скирмионов путём варьирования геометрии дефекта и настройки анизотропии, что перспективно для создания энергоэффективных устройств спинтроники.

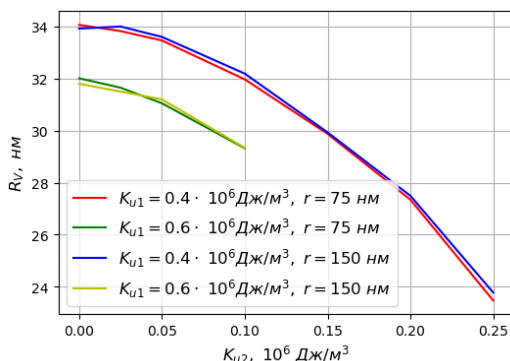


Рис. 1. График зависимости радиуса скирмиона R_V от K_{u2} при $r = 30$ нм

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания на выполнение научных исследований лабораториями (Дизайн новых материалов (FRRR-2024-0001)).

Литература

1. Kläui, M., Everschor-Sitte, K., Lee, O., Msiska, R. et al // Appl. Phys. Lett., 2023, 122, 260501.
2. Sapozhnikov M. V. Skyrmion lattice in a magnetic film with spatially modulated material parameters // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – V. 396. – P. 338-344.
3. Vakhitov R. M., Solonetsky R. V., Akhmetova A. A., Filippov M. A. Behavior of vortex-like inhomogeneities originating in magnetic films with modulated uniaxial anisotropy in a planar magnetic field // Symmetry. – 2022. – V. 14, №3. – P. 612.
4. Donahue, M. J., Porter, D. G. // OOMMF User's Guide, 2019, version 2.0a2.

© Хакимуллина А.А.,
Вахитов Р.М., Филиппов М.А., 2025

**ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ
НАНОРАЗМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТО-ГРАНАТОВ**Филиппова В.В.¹, Гареева З.В.^{1,2}¹Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Развитие современных информационных технологий и систем искусственного интеллекта влечет за собой необходимость поиска и разработки многофункциональных физических элементов и систем, выступающих в качестве структурных элементов вычислительных схем, которые должны привести к увеличению скорости операций и плотности записи информации за счет уменьшения размера и величины частот переключения основных состояний. В связи с этим большое внимание уделяется изучению магнитных топологических структур, возникающих в наноразмерных конечных элементах. [1, 2].

Цель данной работы состоит в изучении условий, необходимых для реализации магнитных структур нетривиальной топологии в наноразмерных ферромагнитных пленках с различным типом магнитной анизотропии при наличии и отсутствии взаимодействия Дзялошинского-Мории (вДМ).

Расчеты проводились с использованием пакета микромагнитного моделирования Object Oriented Micro Magnetic Framework (OOMMF) [3].

В качестве модельного объекта рассмотрена ферромагнитная структура, состоящая из двух би-слоев с магнитной анизотропией вида «легкая ось»-«легкая плоскость» (ЛО-ЛП), связанных друг с другом за счет межслойного обменного взаимодействия. Исследованы процессы намагничивания и перемагничивания пленок под действием магнитного поля, приложенного по нормали к поверхности пленки, исследованы реализующиеся состояния и их условия существования и трансформации. В качестве материала были выбраны пленки феррито-гранатов с параметрами: $M_s = 50$ кА/м, $A_{1,4} = 2.9 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $A_{2,3} = 4 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $K_{1,4} = -7 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_2 = 2 \cdot 10^5$ Дж/м³, $K_3 = 2 \cdot 10^3$ Дж/м³, $J_{12,34} = 3.5 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $J_{23} = 0.2 \cdot 10^{-12}$ Дж/м, $a = 200$ нм, $h = 24$ нм (для одного слоя) или 96 нм (для всей пленки), $|\mathbf{D}_{\text{inner}}| = (1 \div 9) \cdot 10^{-4}$ Дж/м², $J_{12,34,23}$ - обозначение межслойного обменного взаимодействия между 1 и 2, 3 и 4, 2 и 3 слоями.

Изучено влияние констант магнитной анизотропии на процессы перемагничивания и условия реализации ТБ. Рассмотрен сценарий, реализуемый при изменении константы магнитной анизотропии вида «легкая плоскость» во внешнем слое пленки при фиксированных значениях констант магнитной анизотропии во внутренних слоях. Получено, что уменьшение константы анизотропии ограничивающих

слоев на один порядок ($K_{1,4} = -7 \cdot 10^4$ Дж/м³) приводит к отсутствию состояния вида точки Блоха (ТБ). Уменьшение константы анизотропии только одного слоя дает нам возможность наблюдать состояние вида ТБ при уменьшении на один порядок ($K_4 = -7 \cdot 10^4$ Дж/м³) при незначительном уменьшении значения поля. Изменение константы анизотропии вида «легкая ось» не приводит к качественным изменениям в структуре, изменения касаются только величины полей реализации и аннигиляции состояния вида точки Блоха. Было получено, что вДМ оказывает существенное влияние на процессы намагничивания и формирование топологических структур в многослойных ферромагнитных системах: в процессе намагничивания и перемагничивания таких систем образуются состояния вида «точек Блоха» и «магнитный фужер» - конусных скирмионов. Вид и структура топологических объектов зависит от величины и знака константы вДМ (D): при малых величинах константы вДМ наблюдаются состояния вида «точек Блоха» и конусных скирмионов; при больших величинах константы вДМ процесс перемагничивания усложняется, состояние вида точки Блоха не реализуется, появляются процессы нуклеации, трансформации и аннигиляции лабиринтной доменной структуры.

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

Литература

1. Rybakov F. N., Borisov A. B., Blügel S., Kiselev N. S. // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115. P. 117201.
2. Мелтов К.Л. // Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 118. № 2. С 85-101.
3. M. J. Donahue and D. G. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0, No. NIST IR 6376, National Institute of Standards and Technology, 19

© Филиппова В.В., Гареева З.В., 2025.

МАГНИТНЫЕ СКЕРМИОНЫ В НЕОДНОРОДНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Казакбаева Р.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В последние годы флагманы мировой полупроводниковой индустрии столкнулись с невозможностью увеличивать быстродействие современных вычислительных систем за счет увеличения плотности числа микропроцессоров на единицу площади. Это обусловлено фундаментальными физическими ограничениями и послужило толчком к поиску новых моделей и способов реализации, на которых будет строиться электроника будущего. Одним из предложенных направлений оказалась спинтроника и ее, своего рода, подраздел — скирмионика, изучающая экзотические кольцевые магнитные образования, получившие название скирмионы. Магнитный скирмион — центрально-симметричная стабильная спиновая структура, в которой от центра к периферии происходит плавный разворот ориентации намагниченности между двумя противоположными направлениями. Направление разворота определяется киральным взаимодействием Дзялошинского–Мория (ВДМ) (рис. 1).

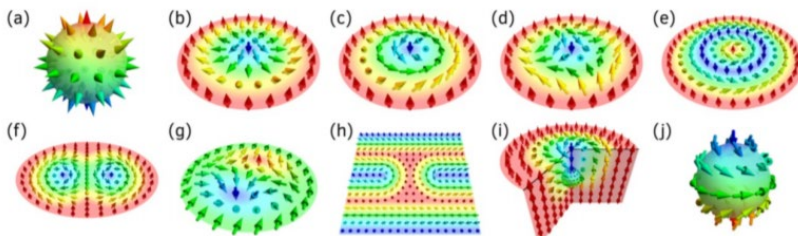


Рис. 1. Примеры различных топологических спиновых структур, возникающих в киральных магнитах под действием взаимодействия Дзялошинского-Мория, (а) - хеджехог (ежик), (b) - Неелеевский скирмион, (с) - Блоховский скирмион, (d) - антискирмион, (е) - скирмиониум, (f) - бискирмион, (g) - пример лежащего в плоскости скирмиона, (h) - скирмион в геликоидальном окружении, (i) - киральный поплавок, (j) - причесанный анти-хеджехог

Как правило, подавляющая часть исследований, касающихся магнитных скирмионов, велась в киральных магнетиках [1]. Однако, в силу разных причин, возникают определенные трудности с устойчивостью магнитных скирмионов в них. Поэтому возник новый тренд по поиску некиральных магнитных материалов (отсутствует ВДМ), в которых могут возникнуть устойчивые состояния скирмионов. На сегодняшний день известно несколько способов получения устойчивых скирмионов в некиральных магнетиках [2,3], где было показано, что

такими материалами могут явиться ферромагнитные пленки с пространственно модулированной одноосной анизотропией [4]. На них и стабилизируются магнитные скирмионы. Целью данной работы является исследование условий возникновения и свойств различных типов скирмионов в магнитоодноосных пленках с пространственно - модулированными материальными параметрами.

Литература

1. Bogdanov A.; Hubert A. // J. Magn. Magn. Mater. – 1994. – 138. – P. 255–269.
2. Navas D., Verba R.V., Hierro-Rodriguez A., et al. // APL Mater. 2019. 7. 081114.
3. Sapozhnikov M.V., Petrov Y.V. et al. // Materials. 2020. 99. 6981357.
4. Sapozhnikov M. V., Vdovichev S. N. et al.// Appl. Phys. Lett., 109, 042406 606 (2016).

© Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Казакбаева Р.Р., 2025.

УДК 530.182.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТОМНЫХ БРИЗЕРОВ

Сазонов С.А., Сеницын В.Е.

Институт естественных наук и математики, УрФУ, г. Екатеринбург, Россия

Современная нелинейная динамика твёрдого тела демонстрирует, что кристаллические решётки способны поддерживать особые локализованные колебательные состояния, известные как атомные бризеры или внутренние локализованные моды (ВЛМ). Понятие ВЛМ было впервые введено Сиверсом и Такэно, которые теоретически показали возможность существования стационарных колебаний, энергия которых сконцентрирована на нескольких атомах ангармонического кристалла [1]. В отличие от обычных фоновых волн, бризеры сохраняют свою структуру и энергию на протяжении длительного времени благодаря сочетанию влияния дискретности решётки и нелинейности межатомного взаимодействия. Позднее, это явление было обобщено в рамках унифицированной теории дискретных бризеров, охватывающей широкий класс нелинейных гамильтоновых систем. Для адекватного моделирования этих процессов в нашей работе была исследована классическая модель — одномерная цепочка Ферми-Паста-Улама-β (ФПУ-β). С помощью численных методов был разработан и реализован алгоритм поиска стационарных бризеров, основанный на методе Ньютона в комбинации со схемой «shooting + continuation», который позволяет эффективно рассчитывать целые семейства бризеров с различной

амплитудой. В ходе исследования было подтверждено существование бризеров с частотами, лежащими выше фононного спектра. Разработанное программное обеспечение “breathers” позволило визуализировать динамику системы и показать, что степень пространственной локализации бризера усиливается при росте коэффициента нелинейности β и амплитуды колебаний. Полученные зависимости для частоты и энергии бризеров были сопоставлены с известными литературными данными: с результатами для цепочки ФПУ- β , что показало высокую степень согласованности (расхождение не более $\pm 5\%$) и подтвердило корректность реализованной методики.

Литература

1. Takeno S., Ichikawa M. Intrinsic Localized Modes and the Formation of Energy Bubbles in One-Dimensional Lattices // Journal of the Physical Society of Japan. — 1988. — Vol. 57, no. 8. — P. 2900–2903

© Сазонов С.А., Сеницын В.Е., 2025

УДК 517.9: 524.882

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ КРОВОЙ НОРЫ С ТОНКОЙ ОБОЛОЧКОЙ В ТЕОРИИ ЭДДИНГТОНА-БОРНА-ИНФЕЛЬДА

Ахтарьянова Г.Ф., Харипова Д.И.

Башкирский государственный педагогический университет,
г. Уфа, Россия

В работе получена модель кротовой норы сшивкой двух многообразий по заданному радиусу a_0 , где внешняя область описывается метрикой Шварцшильда, а внутренняя - безмассовой кротовой норы Эддингтона-Борна-Инфельда (ЭБИ) [1]. Стабильность модели определяется тонкой оболочкой экзотической материи, которая в данной работе проанализирована методом [2, 3].

Для визуализации геометрии полученной модели построены диаграммы вложения в трехмерное евклидово пространство. На Рис. 1 представлены диаграммы вложения для $\kappa = 0.1b_0^2$ и $0.5b_0^2$, где κ - параметр связи Эддингтона с обратной размерностью космологической константы, b_0 - радиус горловины кротовой норы ЭБИ.

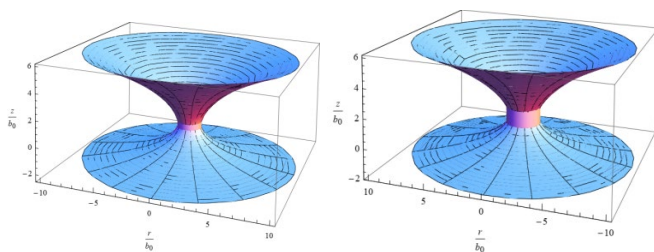


Рис. 1. Диаграмма вложения кротовой норы с тонкой оболочкой Шварцшильда-ЭБИ для $\kappa = 0.1b_0^2$ (слева) и $\kappa = 0.5b_0^2$ (справа)

В результате анализа стабильности тонкой оболочки было показано, что модель стабильна, когда радиус сшивки удовлетворяет следующим условиям: $a_0 < 6.25 M_{\text{SVN}}$, где M_{SVN} – масса многообразия Шварцшильда, и $a_0 < 3.9b_0$. Увеличение параметра κ увеличивает минимальный радиус сшивки a_0 и уменьшает область стабильности тонкой оболочки.

Литература

1. Harko T., Lobo F.S.N., Mak M.K., Sushkov S.V. // Modern Physics Letters A, 2015, v. 30(35), pp. 1550190.
2. Garcia N.M, Lobo F.S.N., Visser. M. // Phys. Rev. D, 2012, v. 86, pp. 044026.
3. Akhtaryanova G. F., Karimov R. Kh., Izmailov R. N., Bhattacharya A. // Phys. Scr., 2025, v. 100, pp. 075306.

© Ахтарьянова Г.Ф., Харипова Д.И., 2025.

УДК 517.957, 537.611, 51-73

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЛН БРИЗЕРНОГО И СОЛИТОННОГО ТИПОВ В МОДЕЛИ СИНУС-ГОРДОНА С ПРИТЯГИВАЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ

Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Уравнение синус-Гордона (УСГ), относящееся к классу уравнений Клейна-Гордона, пользуется популярностью при описании нелинейных волновых процессов в теоретической и математической физике [1] потому, что имеет точные аналитические решения в виде кинка, бризера и солитона. Оно имеет широкое применение в физике, например, может описывать динамику доменных границ в ферромагнетиках [2-3]. Однако для этого изначальное уравнение требует модификации. Например, можно учитывать наличие внешней силы, неоднородность параметров среды и др. Модифицированное УСГ уже не имеет точных аналитических решений, но его можно решить, используя численные методы, например, метод конечных разностей.

В настоящей работе исследована динамика нелинейных локализованных волн бризерного и солитонного типов, возникающих в протяженной притягивающей примеси после прохождения кинка, с применением метода авторезонанса. Проведён анализ излучений этих локализованных на примесях волн в системах с диссипацией и внешним периодическим полем. Показано, что, изменяя параметры примеси, можно изменять частоту излучаемых волн, изменяя амплитуду внешнего поля и начальную скорость кинка, можно управлять их амплитудой. Показано также существенное различие излучений волнами бризерного и солитонного типов.

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 // Springer. - 2014. - V. 10. - P. 263;
2. Екомасов Е.Г., Назаров В.Н., Самсонов К.Ю., Муртазин Р.Р. Возможность управления динамикой и структурой магнитного солитона в трехслойной ферромагнитной структуре// Письма в ЖТФ – 2021. – т.47, в.10. – с. 15 – 18;
3. Одномерная динамика доменной границы в мультислойной ферромагнитной структуре / Д. К. Кабанов, К. Ю. Самсонов, В. Н. Назаров, Е. Г. Екомасов // Физика твердого тела. – 2023. – Т. 65, № 4. – С. 558-565.

© Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г., 2025 г.

УДК 530.182.1

ПОЛНОЕ НАРУШЕНИЕ РЕПЛИЧНОЙ СИММЕТРИИ В СПИНОВЫХ СТЕКЛАХ $\text{Fe}_x\text{TAS}_2(\text{SE}_2)$: ВЛИЯНИЕ НЕСТЕХИОМЕТРИИ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г.

Институт естественных наук и математики, УрФУ, г. Екатеринбург, Россия

В работе рассмотрены низкотемпературные термодинамические свойства спин-стекольной фазы в системе $\text{Fe}_x\text{TAS}_2(\text{SE}_2)$, в которой ионы Fe^{2+} способны терять магнитный момент при переходе в низкоспиновое состояние. Теоретической основой нашего анализа является случайная модель Блюма–Капеля, при решении которой используется схема полного нарушения репличной симметрии (FRSB) по Паризи. Такой подход позволяет корректно описать энтропию и теплоёмкость при низких температурах, что невозможно в рамках реплично-симметричного приближения.

Показано, что процесс потери и восстановления магнитного момента ионами железа, а также эффекты нестехиометрии, связанные с различием кристаллографических позиций ионов, существенно влияют на форму температурных зависимостей энтропии и теплоёмкости вблизи трикритической точки перехода в синглетное парамагнитное состояние. Расчёты демонстрируют, что уменьшение среднего значения химического потенциала в модели Блюма-Капеля снижает концентрацию магнитно-активных ионов железа, что сдвигает максимум теплоёмкости в область более низких температур. Увеличение дисперсии химического потенциала, отражающей влияние нестехиометрии, значительно меняет форму кривых теплоёмкости, в то время как поведение энтропии оказывается менее чувствительным к изменению этого параметра.

Литература

1. Crisanti A., Leuzzi L. Thermodynamic properties of a full-replica-symmetry-breaking Ising spin glass on lattice gas: The random Blume-Emery-Griffiths-Capel model. *Phys. Rev. B* 70, 014409 (2004).
2. Ovchinnikov A.S. et al. Influence of the type of intercalation on spin-glass formation in the Fe-doped TaS₂ (Se₂) polytype family. *Phys. Rev. B* 109, 054403 (2024).

© Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г., 2025

УДК 530.182.1

УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНЫ ДЛЯ ОГИБАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В МОНООКСИЛЬНОМ КИРАЛЬНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ

Бострем И.Г.¹, Овчинников А.С.¹, Малютин М.С.¹,
Екомасов Е.Г.², Кишине Дж.³

¹Институт естественных наук и математики, УрФУ,
г. Екатеринбург, Россия

²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

³Open university of Japan, Chiba, Japan

На базе метода усредненных лагранжианов Уизема [1] анализируются возможные типы и стабильность нелинейных возбуждений в форме уединенных волн для огибающей функции в различных топологических фазах одноосного кирального гелимагнетика (солитонной решетки, конической и фазе вынужденного ферромагнетизма) [2]. Показано, что в монооксильном гелимагнетике могут распространяться уединенные волны только «темного» типа. В конической фазе возбуждения рассматриваемого типа стабильны при углах конуса, меньших 48 градусов, либо, наоборот, больших 132. В фазе

вынужденного ферромагнетизма стабильны уединенные волны с волновым числом, близким к волновому числу простой спирали $q=D/I$. В фазе солитонной решетки области стабильности уединенных волн лежат симметрично внутри магнитной зоны Бриллюэна, и их ширина быстро уменьшается с увеличением магнитного поля. При полях, больших 0.46 от критического, стабильных уединенных волн не существует.

Литература

1. G.B. Witham, Linear and Non-linear Waves (Wiley, New York), 1974
2. Kishine J. and Ovchinnikov A. S. Theory of Monoaxial Chiral Helimagnet, Solid State Phys. 66, 1 (2015)

© Бострем И.Г., Овчинников А.С., Екомасов Е.Г., Кишине Дж., 2025

УДК 538.955

ВЛИЯНИЕ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРАХ

Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф.

Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Рассматривается динамика магнитных вихрей в трёхслойном двухвихревом спин-трансферном наноосцилляторе (СТНО). Известно, что выход вектора намагниченности из центра нанодиска происходит вследствие минимизации обменной энергии в этой области. Для того, чтобы учесть взаимодействие магнитных моментов ядер вихрей, необходимо воспользоваться выражением для энергии взаимодействия в диполь-дипольном приближении (последнее слагаемое в уравнении 1) [1]. Энергия такой системы имеет вид:

$$W(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \frac{1}{2}k_1\vec{r}_1^2 + \frac{1}{2}k_2\vec{r}_2^2 + \mu(\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2) + Kp_1p_2 \frac{\Delta r^2 - 2H^2}{(\Delta r^2 + H^2)^2}, \quad (1)$$

где k_i – коэффициент квазиупругости i -го вихря (индекс $i = \overline{1,2}$ соответствует номеру вихря), μ – коэффициент магнитостатического взаимодействия магнитных моментов вихрей в плоскости, \vec{r}_i – радиус вектор i -го вихря, K – константа, определяемая геометрией наноосцилляторов и магнитными свойствами материала, $p_1p_2 = \pm 1$ – положительный коэффициент в случае однополярных вихрей и отрицательный – для разнополярных, H – расстояние между плоскостями, в которых движутся ядра вихрей, $\Delta \vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$.

Для описания гиротропного движения вихрей используется уравнение Тиля [2]. Расписывая уравнения Тиля можно получить систему линейных дифференциальных уравнений при малых отклонениях ($\Delta r^2 \approx 0$):

$$\begin{cases} [\vec{G}_1, \dot{\vec{r}}_1] = k_1 \vec{r}_1 + \mu \vec{r}_2 + A \vec{\Delta r} \\ [\vec{G}_2, \dot{\vec{r}}_2] = k_2 \vec{r}_2 + \mu \vec{r}_1 - A \vec{\Delta r}' \end{cases} \quad (2)$$

где G_i — модуль гироскопического вектора (вектор, направление которого перпендикулярно плоскости магнетика), A — коэффициент, определяющий взаимодействие магнитных моментов ядер вихрей.

После приведения системы (2) к стандартному виду с последующим обезразмериванием, её решение было численно найдено методом Рунге-Кутты 4-го порядка. При определённых соотношениях получившихся безразмерных комплексов, удалось получить стационарный (установившийся) режим движения вихрей, как в случае слоёв с различными, так и с одинаковыми параметрами. Получившиеся траектории движения и спектры частот отличаются от линейного случая, не учитывающего взаимодействие магнитных моментов ядер вихрей.

Литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учебное пособие. Т. 2. II. Теория поля. ФИЗМАТЛИТ. 2003. с. 145.
2. Thiele A. A. Steady-State Motion of Magnetic Domains // PHYSICAL REVIEW LETTERS. 1973. Vol. 30, 6. P. 230-233.

© Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф., 2025

УДК 537.6/8

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ ВИДА CuMnAs

Хохлач Я.А.¹, Баймурзина Ю.И.¹, Гареева З.В.², Звездин А.К.³

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

³Институт общей физики РАН, г. Москва, Россия

Антиферромагнетики (АФМ) представляют большой интерес для использования в устройствах спинтроники, поскольку они имеют существенные преимущества по сравнению с ферромагнетиками (ФМ), в первую очередь, связанные с отсутствием полей рассеяния и высокочастотной спиновой динамикой. Переключение магнитного упорядочения CuMnAs под действием импульсов электрического тока

впервые было продемонстрировано в [1], механизм переключения связывался с расположением ионов Mn в неэквивалентных кристаллографических позициях, что обеспечивало возможность реализации вращательного момента. В работе [2] показано, что симметрия АФМ вида CuMnAs разрешает линейный магнитоэлектрический эффект, наличие которого открывает возможности реализации новых физических эффектов, в том числе, обратных к эффекту, обнаруженному в [1] - магнитогальванических.

В данной работе проведено исследование магнитогальванических эффектов в АФМ вида CuMnAs. На основе использования уравнений электродинамики Максвелла и методов лагранжева формализма получены уравнения для гальванических токов смещения, как функций магнитного поля, рассчитаны основные зависимости магнитных и электрических параметров, в том числе, компонент АФМ и ФМ векторов и компонент токов смещения от параметров материала. Изучено действие магнитного поля, приложенного перпендикулярно оси легкого намагничивания. Результаты исследования показывают, что внешнее магнитное поле, изменяющееся по адиабатическому закону, вызывает перераспределение зарядовой плотности, и, как следствие, приводит к возникновению электрической поляризации и токов смещения.

Литература

1. P. Wadley et al., Science 351, 2016, pp. 587.
2. Звездин А. К., Гареева З. В., ФТТ, 66 (2024).

© Хохлач Я.А., Баймурзина Ю.И.,
Гареева З.В., Звездин А.К., 2025

УДК 577.3.01, 530.182

ПАРА «КИНК+АНТИКИНК» УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА В ПРИМЕНЕНИИ К ОПИСАНИЮ ОТКРЫТОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ ДНК

Закирьянов Ф.К., Латыпов А.Э.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Уравнение sin-Гордона (УСГ) широко используется для описания распространения нелинейных уединенных волн (солитонов) в различных средах. В частности, описание конформационных волн в молекуле ДНК с помощью солитонов УСГ берёт свое начало с 1980 г. Решения УСГ в виде 2π -кинков используют для описания распространения вдоль молекулы области *открытого состояния* (open state), возникающего в процессе функционирования ДНК. Вместе с тем одним из возражений против

существования в ДНК солитонов в виде 2π -кинков является *предположение* о том, что азотистые основания не могут сделать полный оборот вокруг сахарофосфатного остова (СФО) из-за стерических ограничений (steric hindrances). В связи с этим является весьма актуальным использование *других типов* солитонов УСГ применительно к динамике открытого состояния ДНК.

Мы предлагаем в качестве математического образа открытого состояния молекулы ДНК рассматривать *двухсолитонное* решение УСГ в виде *пары «кинк+антикинк»*, движущихся в одном направлении с одинаковыми (или близкими) скоростями. При достаточно малом расстоянии между центрами кинка и антикинка результирующее решение описывает поворот азотистых оснований вокруг СФО на угол 180° и их последующее возвращение в равновесное состояние. Такое решение представляет собой уединённую волну с топологическим зарядом $Q = 0$, что является весьма ценным математическим свойством решения для описания солитонов в полимерных цепочках.

В то же время считается, что энергия пары «кинк+антикинк» в два раза больше энергии одиночного кинка (антикинка). Однако проведённый нами компьютерный эксперимент показал, что энергия этой пары зависит от расстояния между центрами кинка и антикинка и может принимать значения, заметно меньшие двойной энергии кинка и близкие к энергии одиночного кинка. Следовательно, двухсолитонное решение УСГ в виде достаточно близкой пары «кинк+антикинк», движущихся в одном направлении с одинаковыми (или близкими) скоростями, является весьма перспективным для описания распространения в молекуле ДНК области открытого состояния как с «топологической», так и с «энергетической» точек зрения.

© Закирьянов Ф.К., Латыпов А.Э., 2025

УДК 517.9, 519.633

ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ВОЛНЫ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС- ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ШИРОКОЙ ПРЯТЯГИВАЮЩЕЙ ПРИМЕСЬЮ И ДИССИПАЦИЕЙ

Хасанов А.Д., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одними из популярных модельных уравнений, описывающих многие нелинейные волновые процессы в теоретической и математической физике, являются уравнения Клейна-Гордона (УКГ). Наиболее изученным примером такого класса уравнений является уравнение синус-Гордона (УСГ) [1]. Оно, например, описывает динамику доменных границ в ферромагнетиках [2-3], однако для этого возникает

необходимость его модификации путем добавления дополнительных слагаемых. Они могут описывать наличие внешней силы, неоднородность параметров среды и др. Модифицированное УСГ не имеет точных аналитических решений, но для его решения существует ряд широко применяемых численных методов.

Хорошо изучены локализованные волны УСГ в модели с узкими примесями. В данной работе исследованы локализованные на широкой притягивающей примеси волны возбуждаемые проходящим через область примеси кинком с учетом и без учета диссипации. Проведён анализ влияния параметров системы и начальных скоростей кинка на возможные сценарии динамики кинка и структуру возбуждаемых на примеси волн.

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 // Springer. 2014. V. 10. P. 263;
2. Екомасов Е. Г., Назаров В. Н., Самсонов К. Ю., Муртазин Р. Р. Возможность управления динамикой и структурой магнитного солитона в трехслойной ферромагнитной структуре // Письма в ЖТФ – 2021. Т. 47, Вып. 10. С. 15-18;
3. Одномерная динамика доменной границы в мультислойной ферромагнитной структуре / Д. К. Кабанов, К. Ю. Самсонов, В. Н. Назаров, Е. Г. Екомасов // Физика твердого тела. – 2023. – Т. 65, № 4. – С. 558-565.

© Хасанов А.Д., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г., 2025

УДК 537.9

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Mn_3Al : ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ SCAN

Артамонов И.В., Загребин М.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Сплавы Гейслера привлекают внимание благодаря своим уникальным функциональным свойствам, обусловленным изменениями структуры и фазовыми переходами в зависимости от внешних условий [1]. Особый интерес представляют сплавы на основе Mn_2 , которые активно исследуются с целью применения в различных областях спинтроники [2]. Функциональность сплавов на основе Mn_2 , а именно возможность переключаться между несколькими состояниями, открывает широкие

возможности для создания устройств с заданными характеристиками за счет тонкой настройки свойств материала с целью их будущего применения в качестве компонентов сложных электронных устройств.

В работе методом теории функционала плотности с использованием метода Meta-GGA SCAN исследовано основное магнитное состояние сплава Гейслера Mn_3Al , построены зависимости энергии от параметра решетки ферримагнитной (ФИМ) конфигурации сплава с антипараллельной ориентацией атомов Mn. Также проанализированы электронные функциональные свойства сплава при нормальном давлении и в зависимости от приложения внешнего гидростатического давления 3 и 5 ГПа. В результате геометрической оптимизации кристаллической решетки показано, что при расчетах SCAN Meta-GGA высокое магнитное состояние (HMS) при нормальном давлении является основным для ФИМ конфигурации, а при приложении давления больше 3 ГПа основным становится низкое магнитное состояние (LMS). HMS характеризуется поведением полуметаллического ферримагнетика, а LMS – металлического ферромагнетика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 07500187-24-00.

Литература

1. Sokolovskiy, V. V., Zagrebin, M. A., Baigutlin, D. R., Buchelnikov, V.D. // Computational Materials Science, 2023, v. 228, pp. 112365.
2. Marchenkov, V. V., Irkhin, V. Y. // Materials, 2023, v. 16, no. 19, pp. 6351.

© Артамонов И.В., Загребин М.А., 2025

УДК 537.611.3

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИКИ ВИХРЕЙ В ТРЕХСЛОЙНОМ СТНО ОТ ВНЕШНЕГО ПЛОСКОСТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Кудашев В.С., Фасхутдинов Р.А., Екомасов Е.Г.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Микроволновой спин-трансферный наноосциллятор (СТНО) можно по праву назвать одним из наиболее перспективных устройств спинтроники [1]. Обычно, СТНО представляет собой мультислойный наностолбик, состоящий из двух пермаллоевых магнитных слоев разной толщины, разделенных немагнитным слоем, к примеру, из меди. В магнитных слоях реализуется, как основное состояние, магнитный вихрь – такое распределение намагниченности, при котором намагниченность в

слое закручена по окружности везде, кроме сердцевины (кора) вихря, в которой намагниченность перпендикулярна диску. В настоящее время существует множество работ, в которых исследуются двухвихревые СТНО разных диаметров (к примеру: 120, 200, 400 нм) [1]. В данной работе исследовался СТНО малого диаметра (120 нм) с антипараллельной полярностью коров. Верхний слой нанодиска называется тонким (толщина 4 нм), нижний слой называется толстым (толщина 15 нм), между ними немагнитный слой меди (толщина 10 нм). Через данный столбик пропускают спин-поляризованный электрический ток, который воздействует на вихри, приводя их в определенные виды движения. Также включается внешнее магнитное поле с разными значениями напряженности, направленное в плоскости диска. При достижении некоторых значений силы тока, называемых критическими, тип движения вихря может измениться – происходит динамическое переключение, а изменение магнитного поля влияет на саму динамику вихрей и на величину токов, при которых происходят динамические переключения. Исследования проводились численными методами при помощи пакета программ для микромагнитного моделирования SpinPM. Были найдены виды движения вихрей, критические значения тока, определены зависимости частоты и радиусов орбит стационарных колебаний от силы спин-поляризованного тока, а также рассмотрена зависимость интервалов по току стационарных колебаний и значений критических токов от величины внешнего возмущения (магнитного поля). Проведено сравнение с результатами для геометрически идентичной системы, отличающейся одинаковым направлением намагниченности в слоях [2].

Литература

1. Екомасов А. Е., Звездин К. А., ФММ 123, 3, 219 (2022).
2. Ekomasov A. E., Stepanov S. V., Zvezdin K. A., Ekomasov E. G., Phys. Metals Metallogr. 118, 328 (2017).

© Кудашев В.С., Фасхутдинов Р.А., Екомасов Е.Г., 2025

УДК 530.12, 530.2

СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНАЯ АККРЕЦИЯ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Юсупова Р.М.^{1,2}, Исмаилов Р.Н.^{1,2}, Каримов Р.Х.²

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

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

В попытке объединения квантовой механики и теории гравитации была в работе [1] впервые была предложена идея акустической черной дыры

(далее АЧД). АЧД образуются при сверхзвуковом течении по сферической поверхности. Важным достижением в экспериментальной области является создание аналога АЧД в системе конденсата Бозе-Эйнштейна [2]. Подобные исследования дают возможность изучить более подробно астрофизические свойства АЧД, в частности сферически-симметричную аккрецию по обобщенной модели Бонди-Мишеля [3].

На сегодняшний день существует несколько решений для АЧД. В рамках нашей работы мы рассмотрим АЧД Шварцшильда, описываемую метрикой [4]:

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + f(r)^{-1}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (1)$$

$$f(r) = \left(1 - \frac{2M}{r}\right) \cdot \left[1 - \xi \frac{2M}{r} \left(1 - \frac{2M}{r}\right)\right], \quad (2)$$

где M – масса черной дыры, ξ – параметр тюннга. Необходимым условием существования акустических горизонтов события является $\xi \geq 4$.

В работе было определено, что при аккреции нефантомных материй (пыль, жесткая материя, квинтэссенция) масса АЧД Шварцшильда увеличивается, а при аккреции фантомной энергии масса уменьшается.

Литература

1. Unruh W. G., Experimental black hole evaporation? / W. G. Unruh // Physical Review Letters. – 1981. – Vol. 46. – P. 1351–1353.
2. Lahav O., Itah A., Blumkin A., Gordon C., Steinhauer J. Realization of a Sonic Black Hole Analogue in a Bose-Einstein Condensate / O. Lahav, A. Itah, A. Blumkin, C. Gordon, J. Steinhauer // Physical Review Letters. – 2010. – Vol. 105. – P. 240401.
3. Бабичев Е. О., Докучаев В. И., Ерошенко Ю. Н. Черные дыры в присутствии темной энергии / Бабичев Е. О., Докучаев В. И., Ерошенко Ю.Н // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 183. – № 12. – С. 1258-1280.
4. Ge X.-H., Sin S.-J. Acoustic black holes for relativistic fluids / X.-H. Ge, S.-J. Sin // Journal of High Energy Physics. – 2010. – Vol. 2010. – P. 087.

© Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н., Каримов Р.Х., 2025

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В (111)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ С УЧЕТОМ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В магнитоэлектрических материалах наиболее привлекательным с точки зрения его применения в прикладных целях является флексомагнитоэлектрический (ФМЭ) эффект, который в магнитно-неоднородных системах приводит к несобственной электрической поляризации и представляет собой явление смещение доменной границы (ДГ) под действием неоднородного электрического поля, создаваемого заряженным электродом, поднесенного к поверхности пленки [1].

Особенностью ФМЭ эффекта явилось зависимость характера его проявления от ориентации подложки, в частности, в (111)-ориентированной пленке ФМЭ эффект экспериментально не проявился, Теоретический анализ влияния электрического поля на (111)-ориентированную плёнку ферритов-гранатов с ФМЭ взаимодействием [2] показал, что в окрестности 180° ДГ происходит разделение зарядов, но из-за симметрии магнитной подсистемы их распределения таково, что результирующее электрическое поле, создаваемое этими зарядами, практически заэкранировано. Поэтому представляет интерес исследование проявления ФМЭ эффекта в (111)-плёнках при других значениях констант анизотропии, когда не реализуется магнитная фаза с $M \parallel [111]$.

Численное исследование уравнений Эйлера-Лагранжа рассматриваемой пленки, подобное в [3], показало, что при определенных значениях материальных параметров пластины и величины электрического поля возможны решения типа 0^0 -ДГ с квазиблоховской структурой. В работе исследовано влияние внешнего электрического поля на область возникновения и устойчивости доменных границ различной топологии. Показано, что величина электрического поля значительно влияет на устойчивость той или иной магнитной неоднородности

Литература

1. Пятаков, А. П., Звездин, А. К. // УФН, 2012, Т.182, с.593–620.
2. Vakhitov, R. M., Yumaguzin, A. R., Gridneva, G. T. // Phys. Scr., 2023, 98, 125988.
3. Вахитов, Р.М., Магадеев, Е.Б., Юмагузин, А.Р., Солонецкий, Р. В. // Физика твердого тела, 2015, Т. 57, № 8, с.1462-1466.

© Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М., 2025

УДК 544.25, 538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТИКАХ

Пересторонина А.В.^{1,2}, Тимиров Ю.И.², Хазимуллин М.В.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Одной из перспективных, но малоизученных систем для генерации топологических дефектов в жидких кристаллах (ЖК) являются жидкокristаллические мостики — капли ЖК, зажатые двумя плоскими поверхностями. В данной работе исследовался переход между линейным и точечным дефектом в системе мостиков разного диаметра ($D=50-200$ мкм), расположенных между плоскими подложками с проводящим покрытием (ИТО). Установлено, что при фиксированной высоте мостиков ($d=18$ мкм) тип дефекта определяется его диаметром: в мостиках с $D<80$ мкм наблюдается точечный дефект, при $D>80$ мкм формируется кольцевой линейный дефект. Также показано, что приложение переменного электрического напряжения к подложкам выше определенного значения $U>U_c$ индуцирует переход от кольцевого к точечному дефекту (рис. 1).



Рис. 1. Микроскопические изображения мостика с кольцевым и точечным дефектом. Слева - без электрического поля, справа - при приложении переменного напряжения $U=4$ В (1 кГц)

Для теоретического описания топологического перехода численно решались уравнение баланса вращательного момента директора и уравнение Пуассона для распределения электрического потенциала. Смоделированные на основе полученных пространственных распределений директора ЖК оптические изображения показали хорошее согласие с экспериментальными данными.

© Пересторонина А.В., Тимиров Ю.А., Хазимуллин М.В., 2025

**МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СПИНА ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАМАГНИЧЕННОСТИ В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ В
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПЛЕНКАХ**

Полуденная О.А., Шарафуллин И.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Использование тонкопленочных гетероструктур и манипулирование ими с помощью электрических полей является более эффективным способом для изучения и реализации различных явлений, что приведет к рациональному использованию электроэнергии. В традиционных магнитных устройствах переключение магнитного состояния требует значительных затрат энергии для создания магнитного поля. Магнитоэлектрические нанопленки позволяют обойтись без прямого использования тока для создания магнитного поля. Прикладывая электрическое поле, можно напрямую изменять магнитное состояние материала, что требует гораздо меньше энергии.

Минимизация обеспечивает сопоставление между любой конфигурацией спинов и локальным минимумом на энергетической поверхности. Одним из распространенных методов расчета минимизации является ортогональная спиновая минимизация. Ее цель состоит в том, чтобы найти набор ортогональных матриц, которые преобразуют исходную конфигурацию вращения в конфигурацию с минимальной энергией. При помощи этой формулировки энергия может быть сведена к минимуму как функция трехмерного вектора, а не как минимизация относительно ориентаций вращения в соответствии с нормальными ограничениями. На практике эталонная ориентация вращения является начальной конфигурацией, выбранной в настоящем случае на основе моделирования при конечной температуре. Чтобы эффективно минимизировать энергию, необходимо оценить градиент энергии относительно \vec{a} , где \vec{a} – трехмерный вектор.

Рассмотрим сверхрешетку, состоящую из чередующихся магнитных и сегнетоэлектрических пленок. Гамильтониан этой мультиферроической сверхрешетки выражается как:

$$H = H_m + H_f + H_{mf},$$

где H_m и H_f - гамильтонианы ферромагнитной и сегнетоэлектрической подсистем, в то время как H_{mf} - гамильтониан магнитоэлектрического взаимодействия двух соседних слоев пленок.

Опишем гамильтониан магнитной плёнки H_m с помощью спиновой модели Гейзенберга на простой кубической решётке:

$$H_m = - \sum_{i,j} J_{ij}^m \vec{S}_i \vec{S}_j - \sum_i \vec{H} \vec{S}_i,$$

где \vec{S}_i — спин на i -й позиции, \vec{H} — внешнее магнитное поле, $J_{ij}^m > 0$ — параметр ферромагнитного взаимодействия между спином и его ближайшими соседями (NN), а сумма берется по парам NN-спинов. Мы считаем, что $J_{ij}^m > 0$ и одинаковым для всех спинов в магнитной пленке. Внешнее магнитное поле \vec{H} направлено вдоль оси z , перпендикулярно плоскости слоёв.

Для простоты мы предполагаем, что для сегнетоэлектрической пленки электрические поляризации представляют собой векторы типа Изинга, направленные в направлении $\pm z$. Гамильтониан H_f задается формулой:

$$H_f = - \sum_{i,j} J_{ij}^f P_i P_j - \sum_i E^z P_i^z,$$

где P_i - поляризация на i -м узле решетки, $J_{ij}^f > 0$ - параметр взаимодействия между NN узлами.

Мы предполагаем, что магнитоэлектрическое взаимодействие на границе раздела сред описывается следующим гамильтонианом:

$$H_{mf} = \sum_{i,i,k} J_{ijk}^{mf} D_{ij} \cdot [S_i \times S_j]$$

В этом выражении $J_{ijk}^{mf} D_{ij}$ играет роль вектора \vec{DM} , перпендикулярного плоскости xy . Магнитоэлектрическое взаимодействие является доминирующим и подавляет образование скирмионных фаз. Методом наискорейшего спуска показано, что в области малых значений параметра взаимодействия Дзялошинского-Мория $|D| \in (0.0, 1.0)$ магнитоэлектрическое взаимодействие играет ключевую роль в подавлении скирмионных фаз. При включении магнитоэлектрического взаимодействия происходит смещение фаз, в которых наблюдаются скирмионы в основном состоянии, в область больших значений константы взаимодействия Дзялошинского-Мория.

Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.

Литература

1. Martin L. W., Crane S. P., Chu Y-H, Holcomb M. B., Gajek M., Huijben M., Yang C-H, Balke N., Ramesh R. // Multiferroics and magnetoelectrics: thin films and nanostructures
2. Ivanova A. V., Uzdin V. M., J'onsson H. // Fast and Robust Algorithm for Energy Minimization of Spin Systems Applied in an Analysis of High Temperature Spin Configurations in Terms of Skyrmion Density
3. Sharafullin I. F., Kharrasov M. Kh., Diep H. T. Dzyaloshinskii-Moriya interaction in magnetoferroelectric superlattices: Spin waves and skyrmions

© Полуденная О.А, Шарафуллин И.Ф., 2025

УДК 524.882

УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТА РЕГУЛЯРНЫМИ ЧЕРНЫМИ ДЫРАМИ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Харипова Д.И., Каримов Р.Х.

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

Гравитационное линзирование, предсказанное Альбертом Эйнштейном в рамках общей теории относительности, представляет собой искривление световых лучей под воздействием гравитации массивных и сверхмассивных компактных астрофизических объектов [1]. При прохождении луча света вблизи такого объекта (линза), его траектория отклоняется гравитационным полем, что приводит к характерным оптическим эффектам. Метод Китона-Петерса является одним из наиболее распространенных инструментов для получения угла отклонения света асимптотически плоскими решениями [2]. В работе в качестве линзы рассматривается регулярная черная дыра, симулирующая гравитационные квантовые эффекты [3]. Модифицированный потенциал черной дыры задается в виде

$$\phi = -\frac{M}{r} e^{-\alpha/r^2},$$

где M – асимптотическая масса черной дыры, α – константа порядка квадрата планковской длины.

Угол отклонения света черной дырой с экспоненциальным потенциалом в слабом гравитационном поле получен в виде

$$\hat{\alpha}(b) = 4 \left(\frac{M}{b}\right) + \frac{15\pi}{4} \left(\frac{M}{b}\right)^2 + \frac{128}{3} \left(1 - \frac{\alpha}{8M^2}\right) \left(\frac{M}{b}\right)^3 \dots,$$

где b – прицельный параметр. Константа α появляется в третьем порядке угла отклонения света. Отметим, что увеличение константы, связанной с планковской длиной, приводит к уменьшению угла отклонения света, а в

случае, когда $\alpha = 8M^2$, третий порядок поправки к углу отклонения света зануляется.

Литература

1. Hartle J. B. Gravity: An Introduction to Einstein's General Relativity / J.B. Hartle. – Pearson Inc., San Francisco, 2003. – 533 p.
2. Keeton, C. R., Petters, A. O. // Physical Review D, 2005, v. 72(10), art. no. 104006.
3. Xiang L., Ling, Y., Shen, Y. G. // International Journal of Modern Physics D, 2013, v. 22(12), art. no. 1342016.

© Харипова Д.И., Каримов Р.Х., 2025

УДК 538.935

ФОТОТОКИ В ЦЕНТРОСИММЕТРИЧНЫХ КВАНТОВЫХ ЯМАХ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Жигалов М.А., Будкин Г.В., Тарасенко С.А.
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
г. Санкт-Петербург, Россия

В структурах с центром пространственной инверсии генерация фототока возможна за счёт эффекта увлечения – передачи импульса фотона электронам. Такие эффекты широко исследовались в двумерных системах при наклонном падении излучения [1,2].

В данной работе исследован эффект увлечения в электронном газе в симметричной квантовой яме при нормальном падении излучения. Генерация тока в такой структуре оказывается разрешена при наличии в плоскости структуры постоянного магнитного поля. Из симметричного анализа получена феноменологическая зависимость тока увлечения, линейная по компонентам вектора магнитного поля и квадратичная по компонентам вектора поляризации излучения, и выражаемая тензором третьего ранга. В подходе кинетического уравнения Больцмана в условиях рассеяния на случайно расположенных неподвижных примесях получена микроскопическая теория эффекта увлечения электронов фотонами и дан аналитический вид тензора фототока. Мы показываем, что модификация электронных волновых функций в направлении оси квантования суммой постоянного магнитного поля и осциллирующего магнитного поля волны приводит к осцилляции темпа рассеяния электронов на частоте падающего излучения. Совместное действие модуляции рассеяния и переменной силы, создаваемой электрическим полем волны, приводит к перераспределению электронов в импульсном пространстве и генерации постоянного электрического тока. Показано, что вклад в ток, не зависящий от поляризации излучения, а также вклады

линейной и циркулярной поляризаций имеют общую амплитуду и отличаются на величину, малую по отношению энергии Ферми электронного газа к характерной энергии размерного квантования электронов. Получены частотные зависимости фототоков. Исследована зависимость величины фототока от распределения рассеивающих центров относительно центра квантовой ямы и определено положение примесей, при котором эффект максимален.

Литература

1. S. Stachel, G. V. Budkin, U. Hagner, V. V. Bel'kov, M. M. Glazov, S. A. Tarasenko, S. K. Clowes, T. Ashley, A. M. Gilbertson, and S. D. Ganichev, Phys. Rev. B 89, 115435 (2014).
 2. M.M. Glazov, S.D. Ganichev, Phys. Rep. 3, 535 (2013)
- © Жигалов М.А., Будкин Г.В., Тарасенко С.А., 2025

УДК 532.685

ЗАКОН ДАРСИ В СИЛЬНО ДИССИПАТИВНЫХ СРЕДАХ

Филиппов А.И., Зеленова М.А., Нагаев Р.Ш.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,
г. Стерлитамак, Россия

В работе [1] путём сопоставления полученного нестационарного уравнения для скоростей фильтрации при радиальном течении в сильно диссипативных системах с классическим законом Дарси найдена зависимость диссипативной силы \vec{R} от вязкости фильтрующейся жидкости μ и проницаемости пористой среды m : $\vec{R} = -\frac{\mu m}{\rho k} \vec{w}$. Здесь \vec{w} – истинной скорости течения жидкости в пористой среде.

Показано, что вклад акселерационной составляющей градиента давления при радиальном течении пропорционален квадрату скорости фильтрации и не зависит от проницаемости $\left(\frac{\partial P}{\partial r}\right)_a = \frac{\rho}{r} w^2$. С учётом акселерационной составляющей градиента давления получено уточнённое выражение для закона Дарси при радиальной фильтрации в сильно диссипативной среде

$$v = \frac{\mu m^2 r}{2k\rho} \left(1 - \sqrt{1 + \left(\frac{2k}{\mu m}\right)^2 \frac{\rho}{r} \frac{\partial P}{\partial r}} \right).$$

Отметим, что при малых градиентах давления уточнённый закон Дарси согласуется с его классическим выражением $v = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r}$.

На основе вычислительных экспериментов оценён вклад акселерационной составляющей градиента давления при фильтрации в реальных пористых средах, который достигает больших значений вблизи

критического радиуса и убывает с увеличением радиальной координаты. Показано, что величина критического радиуса коллекторов нефти и газа имеет порядок $r_{кр} \sim 10^{-4}$ м.

Полученные результаты позволяют уточнить представления о фильтрации в сильно диссипативных системах и коллекторах нефти и газа

Литература

1. Филиппов А.И., Зеленова М.А. Акселерационные эффекты в диссипативных течениях // Известия вузов. Физика. 2025. Т. 68. № 6 (811). С. 5-13.

© Филиппов А.И., Зеленова М.А., Нагаев Р.Ш., 2025

УДК 577.3.01, 530.182

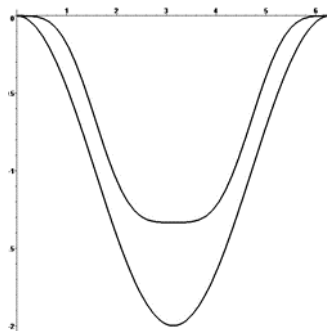
РЕШЕНИЕ В ВИДЕ КИНКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДНК

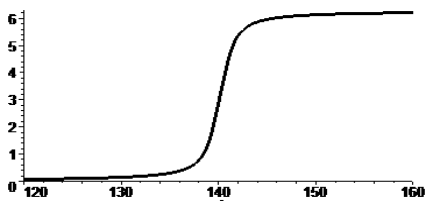
Шангареева В.Н., Закирьянов Ф.К.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Солитонные модели динамики ДНК условно делятся на две основные группы: *поперечные* и *угловые*. Одной из основных проблем угловых моделей является подбор эмпирического потенциала взаимодействия комплементарных полинуклеотидных оснований, который в группе поперечных моделей представлен хорошо зарекомендовавшим себя в моделировании водородных связей потенциалом Морзе. Мы предлагаем *комбинированную* модель нелинейной динамики ДНК, которая учитывает геометрию угловых моделей и потенциал Морзе, характерный для поперечных моделей.

Ранее нами было показано, что в такой модели возможны солитоны типа кинка, возникающие в угловых моделях, причём эти солитоны являются несколько более широкими по сравнению с солитонами в «классических» угловых моделях, описываемых уравнением \sin -Гордона [1]. Связано это с тем, что потенциал Морзе является более «мягким» в сравнении с потенциалом $(1 - \cos \varphi)$ «классической» модели \sin -Гордона, что хорошо видно на рисунке справа.





Мы разработали также алгоритм численного нахождения решения в виде кинка для предложенной комбинированной модели. На рисунке слева показан профиль полученного кинка.

Литература

1. Кубатиева М.Р., Закирьянов Ф.К. Солитоны в угловой модели ДНК с потенциалом Морзе. В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Материалы XI Межрегиональной школы-конференции молодых ученых. Уфа, 2025. С. 25.

© Шангареева В.Н., Закирьянов Ф.К., 2025

УДК 524.882

ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ И ДЕФОРМАЦИИ ПРОБНОЙ ЧАСТИЦЫ ВБЛИЗИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Хидиров У.К., Каримов Р.Х., Юсупова Р.М.

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

Пробные частицы, попадающие в действие гравитационного поля черных дыр, подвергаются воздействию приливных сил, вследствие чего они растягиваются вдоль направления движения. В предельных случаях, когда объекты находятся вблизи чёрных дыр, деформация настолько сильна, что никакой объект не может сохранить свою структуру и может даже разрушиться или разорваться. Таким образом, исследование приливных сил вблизи черных дыр является актуальной задачей. Именно поэтому в данной работе исследованы приливные силы вблизи горизонта событий акустической черной дыры Шварцшильда [1]. Акустическая чёрная дыра представляет собой компактный объект, в которой фононы (звуковые возмущения) не могут покинуть область жидкости, текущую быстрее локальной скорости звука. Акустическая черная дыра описывается массой M , параметром настройки ξ , имеет один горизонт событий $r_h = 2M$ и два акустических горизонта $r_{ac\pm} = M(\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 4\xi})$. Акустические горизонты появляется только при условии $\xi \geq 4$.

В статичной ортонормированной системе наблюдателя только следующие компоненты тензора кривизны является ненулевыми: R_{0101} , R_{0202} , R_{0303} , R_{1212} , R_{1313} и R_{2323} . Рассмотрим компоненту, отвечающую за приливные силы вдоль θ -координаты

$$R_{0202} = R_{0202}^{(s)} + \frac{v^2}{1-v^2} R_{0202}^{(ex)},$$

где $R_{0202}^{(s)}$ –компонента кривизны в статичной системе, $R_{0202}^{(ex)}$ –общее увеличение кривизны в системе Лоренцевского буста по сравнению со статической системой и v – скорость пробной частицы.

В работе показано, что увеличение параметра настройки ξ приводит к уменьшению приливных сил. Таким образом, пробная частица движущаяся вблизи акустических черных дыр будет испытывать наименьшие приливные силы.

Литература

1. Qiao, Ch.K., Zhou M. // European Physical Journal C, 2023, v. 83 (4), pp. 271.

© Хидиров У.К., Каримов Р.Х., Юсупова Р.М., 2025

УДК 519.633, 537.986, 534.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ МАГНИТНЫХ И УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ПЛЁНКАХ МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВОЙ ШПИНЕЛИ В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Майбуров М.В., Котов Л.Н.

Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия

Современные исследования магнитных материалов все чаще обращаются к нелинейной магнитоупругой динамике, что обусловлено большой ролью нелинейных эффектов в создании новых устройств, таких как, магнитные сенсоры и устройства хранения информации, нелинейные устройства преобразования частоты, сверхчувствительные датчики магнитного поля [1-3]. Пленки на основе кристаллов марганец-цинковой шпинели (МЦШ) представляют собой уникальные объекты для изучения физических свойств, поскольку в кристаллах некоторых составов константы магнитной кристаллографической анизотропии K_1 и K_2 могут сильно изменяться в зависимости от температуры образцов [4]. Значение констант магнитной кристаллографической анизотропии K_1 и K_2 для кристалла МЦШ нестехиометрического состава $Mn_{0.421}Zn_{0.44}Fe_{2.145}O_4$ изменяются на два порядка в интервале 70 - 400 К, а константа K_1 при этом изменяет и знак при температуре $T_s = 210K$. В этом интервале температур для этого кристалла МЦШ значительно изменяется и параметр магнитной диссипации α . Нами было проведено исследование влияние параметра α на максимальные амплитуды магнитных и упругих колебаний в плёнках МЦШ в окрестности магнитного фазового перехода.

По итогам численных расчётов были построены температурные зависимости максимальных амплитуд компонент вектора намагниченности $m_{x,y}$ для плёнок МЦШ в области МФП при различных значениях напряжённости постоянного магнитного поля, изменяющего в интервале 1-100 мТл и частот переменного магнитного поля 0.5-1 ГГц. Полученные в работе результаты исследований позволяют предложить интервал магнитных полей и область частот переменного поля, где нелинейности в этом кристалле проявляются наиболее сильно.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-72-20063, <https://rscf.ru/project/25-72-20063/>.

Литература

1. Kotov L. N., Bull. RUS: Physics 87, 3. (2023)
2. Kotov L. N., Physics of the Solid State 60, 1153 (2018)
3. Goldin B. A., Kotov L. N., Zarembo L. K., Karpachov S. N., Spin-phonon interactions in crystals, Leningrad, Nauka (1991) [in Russian]

© Майбуров М.В., Котов Л.Н., 2025

УДК 517.9, 519.633, 537.9

НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕКТОРА НАМАГНИЧЕННОСТИ В ТРЁХСЛОЙНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЁНКЕ ЖИГ С НЕМАГНИТНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ ПРИ 100 К

Абрамовский И.Е.¹, Котов Л.Н.¹, Наяк Ч.²

¹Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия,

²Веллурский технологический институт, г. Веллур, Индия

Для описания динамики намагниченности используются уравнения Ландау-Лифшица (ЛЛ) с различным учётом диссипации. Выражение представлено в виде классического дифференциального уравнения в частных производных в векторной форме. Интересные особенности поведения систем, описываемых ЛЛ, вшито в выражение эффективного магнитного поля. Простой вид эффективного поля позволяет линеаризовать ЛЛ, что позволяет оценить резонансную частоту, а также восприимчивость и проницаемость материалов. В более комплексном виде эффективные поля содержат члены с нелинейными зависимостями, выражение ЛЛ приобретает сильную нелинейность, а задача не решается аналитически. В нашей работе такая постановка задачи, а решение отыскивается с помощью численных методов. Полученное выражение включает вклады постоянного и переменного магнитного поля, поля кубической анизотропии и поля обменного взаимодействия. Нами ставилась задача смоделировать явления, происходящие в трёхслойной структуре с двумя магнитными слоями, с незначительно различающимися намагниченностями, и немагнитной прослойкой между ними.

Переменное поле действовало в плоскости структуры, постоянное задавалось перпендикулярно плоскости [1]. Дополнительными факторами выступает температурное изменение коэффициентов анизотропии и намагниченности насыщения магнитных слоёв структуры. Полученные решения использовались для построения параметрических трёхмерных диаграмм, графиков временных зависимостей и спектров компонент намагниченности. Анализ графических представлений уравнений позволяет определить различные нелинейные эффекты, происходящие в таких структурах, а также помогает представить их варианты приложений в области спинтроники и магнитоэлектроники [2, 3].

Исследования проведены за счёт гранта РНФ, проект № 25-72-20063

Литература

1. Абрамовский И. Е., Котов Л. Н., Голов А. В. // ФТТ, 2024, Т. 66, № 12, С. 2145-2147.
2. Claas A. // The European Physical Journal B., 2019, v. 92, pp. 120.
3. Vernik U., Lomonosov A. M., Vlasov V. S., Kotov L. N., Kuzmin D. A., Bychkov I. V., Vavassori P., Temnov V. V. // Phys. Rev. B., 2022, v. 106(14), pp. 144420.

© Абрамовский И.Е., Котов Л.Н., Наяк Ч., 2025

УДК 538.94

ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА

Фадеева Е.О., Фридман Ю.А.

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

Ферримагнетики представляют собой материалы с антипараллельными подрешётками магнитных моментов, обладающие ненулевой суммарной намагниченностью, которая может обращаться в ноль в точке компенсации. Эти материалы являются особенно перспективными для спинтроники и фемтомагнетизма. Так, например, в сплавах GdFeCo наблюдается сверхбыстрое переключение намагниченности под действием фемтосекундных лазеров. Возник растущий интерес к ферримагнетикам из-за их устойчивости к дефектам по сравнению с антиферромагнетиками. Такие материалы позволяют реализовать терагерцовые наногенераторы и другие устройства сверхбыстрой спинтроники. При этом физика ферримагнетиков, особенно

вблизи точки компенсации и в системах с сильной анизотропией или негейзенберговскими взаимодействиями, остаётся малоизученной. Это делает актуальными исследования фазовых состояний и продольной спиновой динамики, выходящей за рамки классической модели Ландау–Лифшица. В нашей работе исследованы фазовые состояния анизотропного ферримагнетика с подрешётками $S = 1$, $\sigma = 1/2$ и негейзенберговским билинейным и биквадратичным обменным взаимодействием. Показано, что при различных соотношениях материальных параметров системы возможна реализация как ферримагнитного состояния с интегральным магнитным моментом $\langle S^z + \sigma^z \rangle = 1/2$ и векторными параметрами порядка, так и нематической фазы, в которой присутствует тензорный параметр порядка в первой подрешётке, обусловленный большим биквадратичным обменным взаимодействием. Определён тип фазового перехода и условие компенсации магнитных моментов подрешёток.

Литература

1. Fridman Yu. A., Kosmachev O. A. and Klevets Ph. N., Magn J. Magn. Mater. 325, 125 (2013).
2. Stevens K., Proc. Phys. Soc. A 65, 209 (1952).

© Фадеева Е.О., Фридман Ю.А., 2025

СЕКЦИЯ «ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

УДК 538.91

ФАЗА СКЕРМИОНА В ПЕРФОРИРОВАННОЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКЕ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИИ В ПЛОСКОСТИ

Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф, Самигуллина А.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящей работе исследуется влияние структурного дефекта в форме локального отверстия на характеристики скирмионов – в частности, на их размер и пространственную плотность – в рамках двумерной треугольной магнитной решетки. Для анализа равновесных конфигураций применяются метод наискорейшего спуска и моделирование Монте-Карло. Рассматривается модель гетероструктуры, состоящей из чередующихся магнитных и сегнетоэлектрических монослоев, при этом дефект в виде отверстия локализован в верхнем сегнетоэлектрическом слое.

Недавнее исследование, проведенное Мацумото [1], использовало искусственные поверхностные ямки, созданные сфокусированным электронным пучком, для запуска зарождения скирмионов в определенных местах закрепления в $\text{FeGe}_{(1-x)}\text{Si}_x$ ($x \sim 0,05$) [2]. Одним из важных этапов, необходимых для реализации устройства на основе скирмионов, является разработка контролируемого метода зарождения топологически защищенных спиновых вихрей или фазы скирмионов. Достижение контроля плотности скирмионов может быть настраиваемым извне и открывает возможности для проектирования функциональных устройств на основе скирмионов [3].

В настоящей работе мы показываем, как при наличии дефекта в форме отверстия диапазон значений параметров, при которых существует фаза скирмионов, значительно шире по сравнению с пленкой без дефекта. Чтобы проверить стабильность скирмионов и фазы скирмионной решетки при конечных температурах, мы используем моделирование Монте-Карло для расчета усредненной энергии на спин, параметра порядка и восприимчивости. Наличие дефекта в форме отверстия в верхнем монослое сегнетоэлектрика приводит к генерации скирмионов в нижнем слое в локальной области непосредственно под дефектом. Результаты расчетов конфигураций основного состояния представлены на рис. 1.

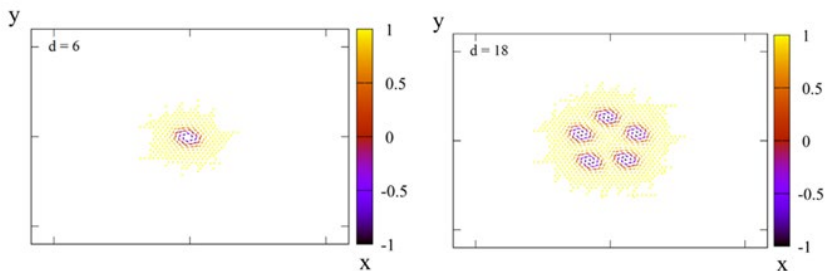


Рис. 1. Конфигурации спинов основного состояния второго монослоя (плоскость xy) при различных диаметрах дефектов.

Белый цвет на графике характеризует выстраивание спинов в узлах решетки строго вдоль поля (в сторону наблюдателя)

Исследовано влияние магнитоэлектрического взаимодействия, размера дефекта и взаимодействия Дзялошинского–Мория на спиновые конфигурации основного состояния во взаимодействующих слоях с треугольной структурой решетки. Полученные в работе результаты могут быть полезны для оценки «потенциальных возможностей» конкретного размера дефекта, значений параметров взаимодействия в магнитном материале с точки зрения достижения в нем высоких температур переходов в условиях наличия сильного планарного взаимодействия Дзялошинского–Мория.

Работа выполнена в рамках государственного задания (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024, тема № 324-21).

Литература

1. Matsumoto T., So Y. G., Ikuhara Y., Shibata N. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2021. V. 531. 167976.
2. Huang P., Zhang P., Xu S., Wang H., Zhang X., Zhang H. // Nanoscale. 2020. V. 12. 2309.
3. Zhang X., Xia J., Tretiakov O. A., Diep H. T., Zhao G., Yang J., Zhou Y., Ezawa M., Liu X. // Physical Review B. 2021. V. 104. L220406

© Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф, Самигуллина А.И., 2025

ДИНАМИКА СПИНОВЫХ ВОЛН В ФРУСТРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одной из самых сложных задач в современных исследованиях является создание компактных и многофункциональных устройств. Хотя миниатюризация долгое время служила основным двигателем прогресса, за последние 20 лет стало очевидно, что существует физический предел её эффективности: при уменьшении размеров до наномасштабов резко возрастает тепловыделение. Именно поэтому тактовые частоты современных процессоров практически не выросли по сравнению с показателями двух десятилетней давности.

Альтернативным подходом может стать использование спиновых волн – коллективных возбуждений спинов, не связанных с переносом электрического заряда. Такой механизм передачи и обработки информации практически не сопровождается выделением тепла. Кроме того, спиновые волны обладают длиной волны порядка нанометров, что идеально соответствует требованиям миниатюризации. Современные технологии изготовления открыли новые горизонты для изучения спиновых волн в трёхмерных периодических структурах и многослойных системах. Такие системы позволяют реализовать реконфигурируемые спин-волновые микроструктуры и обеспечить динамическую связь между слоями – перспективные возможности для управления магнонами (квантами спиновых волн) на наноуровне. Особенно интересным представляется взаимодействие Дзялошинского–Мория. Это взаимодействие позволяет формировать «гребенчатый» спектр магнонов, что полезно для мультиплексирования сигналов, а также обеспечивает независимые дисперсионные свойства и локализацию магнонных мод.

В данной работе рассматриваются влияния взаимодействий и статического внешнего магнитного поля на структуры, подобные гелиомагнетикам, с использованием квантово-статистических методов. Исследуется модель двухслойной пленки, состоящей из магнитного слоя со спинами $S = 1/2$ и сегнетоэлектрического слоя с изинговскими поляризациями. Гамильтониан системы представлен в виде:

$$\begin{aligned}
 H = & -J_1 \sum_{i,j} \vec{S}_i \vec{S}_j - J_2 \sum_{i,i'} \vec{S}_i \vec{S}_{i'} - \sum_{i,j} I_{i,j} \vec{S}_i \vec{S}_j - g\mu_B h \sum_i \vec{S}_i - \sum_{i,j} \vec{D}_{i,j} [\vec{S}_i \times \vec{S}_j] \\
 & - J_f \sum_{i,j} \vec{P}_i \vec{P}_j - J_{mf} \sum_{i,j} (S_i^x S_j^y - S_i^y S_j^x) P_i^z
 \end{aligned}$$

где первое слагаемое описывает ферромагнитное взаимодействие между ближайшими соседними спинами $J_1 > 0$, второе слагаемое $J_2 < 0$ – антиферромагнитное взаимодействие между следующими ближайшими соседними спинами, третье слагаемое – одноосная анизотропия $I_{i,j}$, четвертое слагаемое – описывает влияние внешнего магнитного поля h , направленного вдоль оси z , пятое слагаемое – взаимодействие Дзялошинского–Мория с константой $D < 0$, направленное в плоскости пленки ($xу$), шестое слагаемое – обменный параметр сегнетоэлектрического слоя ($J_f = 1$), последнее слагаемое – магнитоэлектрическое взаимодействие между слоями.

Ниже представлены аналитические результаты.

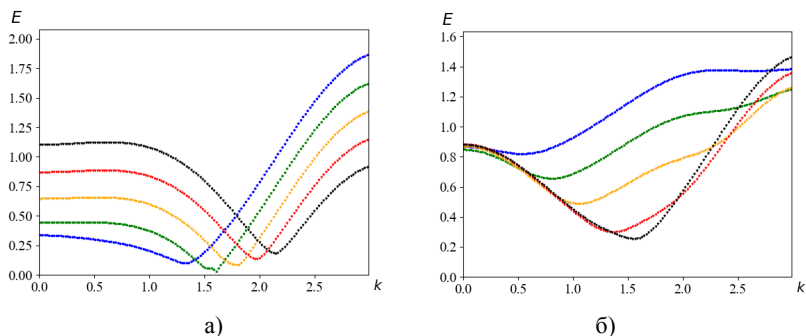


Рис. 1. Спиновые волны с параметрами $J_1 = 1$, $J_2 = -0.4$, $I = 0.1$, $D = -0.5$, где каждая зависимость соответствует определённому значению внешнего магнитного поля h : синий цвет — $h=0.0$, зелёный — $h=0.25$, жёлтый — $h=0.5$, красный — $h=0.75$, чёрный — $h=1.0$: а) $J_{mf} = 0.1$, б) $J_{mf} = 1.5$.

На рис.1 показано влияние параметра J_{mf} на структуру энергетического спектра. При $J_{mf} = 0.1$ (рис. 1а) наблюдается выраженная зависимость энергии от волнового вектора k с минимумом вблизи $k \approx 1.5$, что указывает на сильную модуляцию спиновых возбуждений. При увеличении J_{mf} до 1.5 (рис. 1б) происходит уплощение дисперсионных кривых и снижение амплитуды колебаний энергии, что свидетельствует о подавлении коллективных спиновых флуктуаций из-за усиления обменного взаимодействия.

Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.

Литература

1. Sahbi E.H., Sharafullin I.F., Diep H. T., Garbouj H., Debbichi M., Said M. // Magnetism and Magnetic Materials. 2022. V. 563. 169920.
2. Sharafullina I. F., Abdrakhmanov D. I., Samigullina A. I., Latypova A. R. // Physics of Metals and Metallography. 2024. V. 125. 1894.

© Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф., 2025

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ
ФАЗЫ НА ОСНОВЕ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ**Павлик В.В.^{1,2}, Грешняков В.А.^{1,2}¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,
г. Калининград, Россия

Двумерные гибридные углеродные соединения, называемые графिनowymi слоями, могут выступать в качестве структурных блоков для модельного формирования трехмерных углеродных фаз с ковалентно-ван-дер-ваальсовым типом связей [1]. Наиболее устойчивые из этих фаз являются проводниками с пористой структурой [2,3]. Фазы такого типа структурно схожи с молекулярными каркасами, обладающими редким механическим свойством – отрицательной линейной сжимаемостью при объемном сжатии, благодаря которому они могут найти практическое применение при создании оптических сенсоров. Поэтому в данной работе были исследованы механические свойства наноструктурированной фазы из слоев α -графина-1 при объемном сжатии.

В результате первопринципных расчетов методом vdW-DF установлено, что углеродная фаза при $P=0$ имеет тетрагональную элементарную ячейку и плотность 1.28 г/см^3 . С ростом давления до 12.5 ГПа параметры a и b элементарной ячейки фазы уменьшаются на 16.6% , а параметр c увеличивается на 7.3% . Такие изменения параметров указывают на сохранение тетрагонального типа элементарной ячейки, а также на наличие у фазы отрицательной линейной сжимаемости K_c вдоль оси c . Линейная сжимаемость K_c при увеличении давления демонстрирует близкий к линейному рост и имеет наименьшее значение -11.6 ТПа^{-1} в пределе $P \rightarrow 0$. Линейные сжимаемости K_a и K_b фазы при давлениях до 12.5 ГПа положительны и имеют наибольшее значение 18.2 ТПа^{-1} при $P \rightarrow 0$. Расчетный объемный модуль упругости фазы ниже, чем модуль 2H -графита на 36.5% , и составляет 31.0 ГПа .

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №25-72-31032).

Литература

1. Беленков, Е.А., Грешняков, В. А. // ФТТ, 2013, Т.55, С. 1640-1650.
2. Greshnyakov, V. A., Pavlik, V. V. // Letters on Materials, 2023, V. 13(4), PP. 323-328.
3. Грешняков, В. А., Павлик, В. В. // Челябинский физико-математический журнал, 2025, Т. 10(1). С. 145-157.

© Павлик В.В., Грешняков В.А., 2025

**ВЛИЯНИЕ КОЛУМНАРНОГО ДЕФЕКТА
НА ТОПОЛОГИЮ $k\ell$ -СКИРМИОНОВ**

Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время наблюдается повышенное внимание к изучению магнитных скирмионов. Такой интерес был вызван их топологической защищенностью, наноразмерами, высокой подвижностью и другими интересными спин-электронными свойствами, что делает их перспективными в устройствах спинтроники [1]. Магнитные скирмионы были впервые обнаружены в магнетиках с киральной симметрией [2], в которых они образуют устойчивые состояния благодаря наличию взаимодействия Дзялошинского–Мории (ВДМ). Однако существенным недостатком таких магнетиков является то, что устойчивость магнитных скирмионов была возможна только при низких температурах (объемный ВДМ) [3]. В сверхтонких многослойных пленках уже проявляется интерфейсное ВДМ [4], в котором магнитные скирмионы существуют уже при комнатных температурах. Однако по разным причинам их также нельзя рассматривать как полностью устойчивые образования, что привело к востребованности альтернативных методов их стабилизации в других материалах, в которых ВДМ отсутствует. Один из возможных способов реализации данного подхода был предложен в работе [5], где показано, что такими материалами могут быть ферромагнитные пленки с пространственно модулированной одноосной анизотропией. Позднее было установлено, что магнитные скирмионы могут существовать в таких материалах в широком диапазоне изменений температуры и магнитного поля. В большинстве последующих исследований под магнитными скирмионами, как правило, понимались вихреподобные неоднородности, в которых единичный вектор намагниченности $\mathbf{m}=\mathbf{m}(\mathbf{r})$ поворачивается на 180° при движении в радиальном направлении от центра ($r = 0$) к периферии ($r = R$) пленки (π -скирмионы). В то же время в работе [6] была предсказана возможность существования $k\ell$ -скирмионов ($k \in 1, 2, 3, \dots$), проведен теоретический анализ (методом микромагнитного моделирования с использованием программного пакета) структуры и свойств $k\ell$ -скирмионов, а также их поведения в магнитном поле.

В нашей работе рассматриваются микромагнитные структуры, возникающие в одноосном ферромагнетике в форме диска, в центре которого расположен колумнарный дефект типа «потенциальная яма». Исследования проводились методом микромагнитного моделирования. Показано, что в диске (в отсутствии дефекта) в зависимости от его радиуса попеременно стабилизируются $k\ell$ -скирмионы ($k=1, 2, \dots, 7$).

Выявлено, что в данном случае процесс трансформации микромагнитной структуры диска от состояния с кл-скирмионами происходит путём уширения его колец и образования на краю диска переходной области, в которой вектор намагниченности ещё раз совершает поворот на 180° . При наличии дефекта в диске трансформация кл-скирмионов в $(k+1)$ π -скирмионы происходит в центре диска, т.е. в коре. Кроме того, найдено, что критические размеры диска, при которых происходят эти преобразования, существенно ниже, чем в случае отсутствия в диске дефекта.

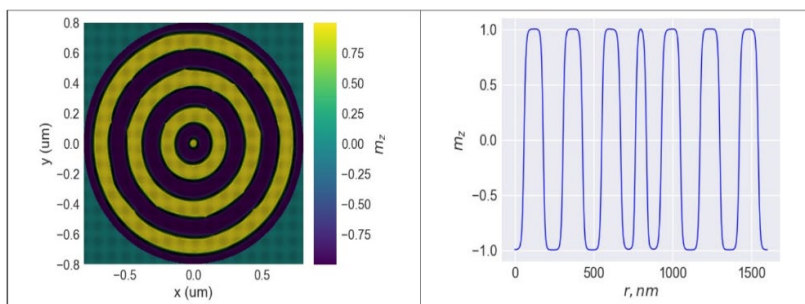


Рис. 1. Изображения магнитного 7π -скирмиона и график его распределения намагниченности, при следующих материальных параметрах $K_{u2}=0$, $A_2=0.5 \cdot A_1$, $M_{s2}=M_{s1}$, $H=120$ нм, $D=1600$ нм, $\gamma_0=50$ нм

Авторы благодарят за финансовую поддержку Государственное задание Российской Федерации на проведение научных исследований лабораториями (Теория, моделирование и получение тонкоплёночных, наноструктурированных и гибридных структур (FRRR-2024-0001)))

Литература

1. Fert A., Reyren N., Cros V. // Nat.Rev.Mater. – 2017. – V.2. – 17031
2. Bogdanov A., Hubert A. // J. Magn. Magn. Mater. 1994. 138. P. 255–269.
3. Jonietz F., Mühlbauer S., Pfleiderer C., et al. // Science. 2010. 330. P.1648–1651.
4. Büttner F., Moutafis C., Schneider M., et al. // Nat. Phys. 2015. 11. P. 225–228.
5. Vakhitov R. M, Shapaeva T. B., Solonetsky R. V., Yumaguzin A. R.// FMM.2017.118.571
6. Jiang J., Wu Y., Kong L., et.al. // Acta Materialia. 2021. 215. 117084.

© Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., 2025

КУБИЧЕСКАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕХМЕРНО ПОЛИМЕРИЗОВАННОГО ФУЛЛЕРИТА C₆₀

Самборский Ф.М., Карандышев Д.А., Грешняков В.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Полимеризованный фуллериты – это углеродные фазы, отличающиеся высокой твердостью. Плотность и твердость фуллеритов зависят от доли sp^3 -гибридизированных атомов в массиве образца. Важным является поиск наиболее устойчивых при нормальных условиях форм полимеризованных фуллеритов. Следовательно, необходимо выполнить первопринципные расчеты новых стабильных форм трехмерно полимеризованных фуллеритов C₆₀.

Все расчеты были выполнены по методике структурообразования из работы [1] при использовании метода теории функционала плотности в обобщенном градиентном приближении с учетом параметров из работ [2, 3]. Анализ показал, что среди экспериментально полученных и ранее предсказанных форм полимеризованных фуллеритов не была описана 3D фаза из связанных фуллеренов C₆₀. Эта фаза характеризуется кубической симметрией (рисунок 1), причем доля sp^3 -гибридизированных атомов в ней составляет 20 %, из-за чего плотность оказалась относительно низкой (1.66 г/см³). Новая кубическая фаза должна быть устойчивой, так как ее полная энергия выше энергии алмаза только на 0.36 эВ/атом.

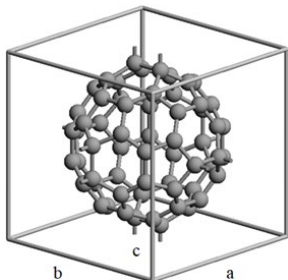


Рис. 1. Элементарная ячейка трехмерно полимеризованного фуллерита

Литература

1. Belenkov, E.A., Greshnyakov, V.A. // New Carbon Materials, 2013, v. 28, № 4, pp. 273-283
2. Грешняков, В.А. // Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 117, № 4. С. 306-313
3. Грешняков, В.А. // ЖСХ, 2023, т. 64, № 2, с. 106790

© Самборский Ф.М., Карандышев Д.А., Грешняков В.А., 2025

ВЛИЯНИЕ МЕЖСЛОЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА СКИРМИОННЫЕ ФАЗЫ В ФРУСТРИРОВАННЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОНКИХ ПЛЁНКАХ

Латыпова А.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование топологических спиновых структур, таких как скирмионы, является перспективным направлением в спинтронике для создания энергоэффективных устройств хранения и обработки информации. В данной работе методом Монте-Карло исследовано основное состояние и фазовые переходы в магнитоэлектрической сверхрешетке, состоящей из чередующихся ферромагнитных и сегнетоэлектрических слоев с фрустрированными взаимодействиями. Модельный гамильтониан системы включал обменные взаимодействия внутри слоев (J^m , J^f), межслойное взаимодействие (J_\perp^m, J_\perp^f), взаимодействие Дзялошинского-Мория на границе раздела (J^{mf} и внешнее магнитное поле - H).

Показано, что межслойное взаимодействие играет ключевую роль в стабилизации скирмионной решетки. Например, при $J^{mf} = -1.5$ и $J_\perp = 0.75$ наблюдается стабильная скирмионная решетка, тогда как при $J_\perp = 0.25$ эта фаза коллапсирует. Построена фазовая диаграмма в плоскости параметров $J^{mf} - J_\perp$, определяющая области существования скирмионной решетки, неупорядоченной фазы скирмионов и неколлинеарной фазы (рис.1).

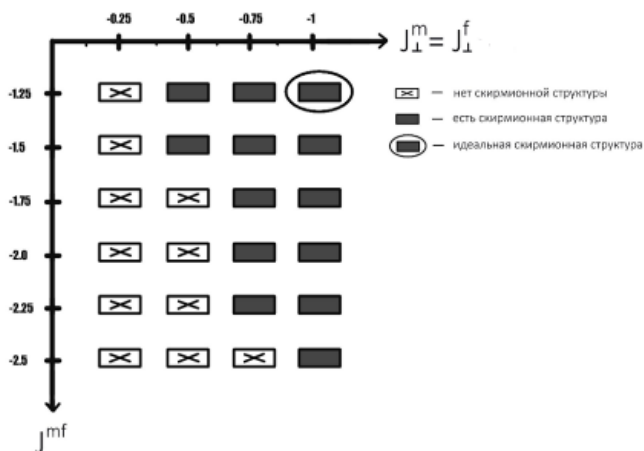


Рис. 1. Фазовая диаграмма в плоскости межслойного и магнитоэлектрического взаимодействий

Результаты работы согласуются с экспериментальными данными и могут быть использованы для проектирования новых спинтронных устройств на основе топологических структур.

Работа выполнена в рамках государственного задания соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 тема № 324-21.

Литература

1. Sharafullin, I. F.; Kharrasov, M. K.; Diep, H. T. Dzyaloshinskii-Moriya interaction in magnetoferroelectric superlattices: Spin waves and skyrmions. Phys. Rev. B 2019, 99, 214420.

© Латыпова А.Р., 2025

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА»

УДК 551.52

РАДИАЦИОННО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ИСТОЧНИКИ И УРОВНИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Мамытбеков У.К.¹, Мукашова А.Б.¹, Шарипов Т.И.², Кидибаев М.М.¹

¹Институт физики им. академика Ж. Жеенбаева НАН КР, г. Бишкек,
Кыргызская Республика

²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Контроль за радиационной обстановкой местности является одной из важнейших частей комплекса экологического мониторинга. Необходимо использовать комплекс непрерывного распределенного мониторинга радиационной обстановки местности. Известно, что для отдельных территорий с повышенными уровнями радона в помещениях вклад радона в суммарную дозовую нагрузку от природных источников радиации может достигать до 90 %, а сами уровни облучения приближаются к уровням, соответствующим уровням облучения профессионалов [1]. Наличие ряда факторов, подтверждающих потенциальную радоноопасность территории при недостатке информации по вопросам радиационной обстановки явилось одной из причин выбора объекта исследований [2-4].

Два мощных горных хребта окаймляют озеро Иссык-Куль – с севера Кунгей Ала-Тоо, с юга – Тескей Ала-Тоо, образуя Иссык-Кульский массив интенсивно метаморфизированных пород протерозоя. Радиоактивность пород незначительно увеличивается к западу от г. Чолпон-Ата, здесь мощность эквивалента дозы (МЭД) выше 0,24 мкЗв/ч. К востоку от г. Чолпон-Ата до пос. Кутургу мощность дозы лежит в промежутке между 0,24 и 0,36 мкЗв/ч, местами достигает 0,5 - 0,6 мкЗв/ч. На восток от пос. Кутургу в известняках карбона с низкой активностью мощность дозы снижается до 0,1 мкЗв/ч и ниже [2, 5].

Литература

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. UN. New York, 2000.
2. Карпачев Б.М., Менг С.В. Радиационно-экологические исследования в Кыргызстане. Бишкек. 2000. С. 59-62.
3. Менг С.В. // Проблемы спектроскопии и спектрометрии: Межвузовский сборник научных трудов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. Вып. 11. С.120-126.

4. Экология Кыргызстана: проблемы, прогнозы, рекомендации / Под. ред. К. А. Каримова. Бишкек: Илим, 2000. С.138-140.

5. Feststellung des Strahlengrundniveaus im Issyk-Kul-Gebiet. Technische Zusammenarbeit. Projekt NR: 96.0791.2. Bundesrepublik Deutschland. Hannover. 1998.

© Мамытбеков У.К., Мукашова А.Б.,
Шарипов Т.И., Кидибаев М.М., 2025

УДК 621.3.011

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА: ОСНОВЫ АНАЛИЗА, РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ

Шайхуллин Т.А., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В современной электротехнике и электронике нелинейные электрические цепи постоянного тока занимают центральное место, являясь основой для функционирования большинства полупроводниковых устройств, стабилизаторов, логических элементов и преобразователей. В отличие от линейных цепей, где параметры элементов постоянны, нелинейные цепи характеризуются зависимостью сопротивления от протекающего тока или приложенного напряжения, что исключает применение принципа суперпозиции и требует специфических методов анализа и расчета. Понимание их принципов работы и особенностей является критически важным для разработки, моделирования и отладки высокоэффективных и надежных электронных систем [1].

Цель – представить основные понятия, свойства нелинейных элементов и их ВАХ, ключевые методы расчета нелинейных цепей постоянного тока, а также их практические применения.

Будут рассмотрены базовые определения, а также нелинейные элементы (диоды, стабилитроны, транзисторы, термисторы, варисторы) и их вольт-амперные характеристики (ВАХ), отражающие нелинейную зависимость тока от напряжения. Будут представлены графические методы (например, метод нагрузочной прямой), аналитические (для аппроксимированных ВАХ) методы.

Владение основами нелинейных электрических цепей постоянного тока, методами их расчета и понимание особенностей нелинейных элементов – фундаментально для современного инженера. Эти знания критичны для эффективного анализа, проектирования и оптимизации электронных устройств, позволяя использовать уникальные свойства нелинейности для решения технических задач и повышения надежности систем.

Литература

1. Садыков Р. Р., Шарипов Т. И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 136-137.

© Шайхуллин Т.А., Шарипов Т.И., 2025

УДК 621.3.011

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА: ОТ СВОЙСТВ ДО ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Гурбанов Р., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Нелинейные элементы являются неотъемлемой частью современных электротехнических и электронных систем [1], обуславливая сложное, но крайне важное для понимания поведение цепей переменного тока. Их нелинейные характеристики значительно усложняют, требуя специфических подходов к расчету и моделированию.

Цель доклада – представить комплексный обзор ключевых аспектов, связанных с анализом и расчетом нелинейных цепей переменного тока, от фундаментальных свойств до методов изучения переходных процессов.

Рассматриваются общие свойства нелинейных элементов на переменном токе, подчеркивающие отличия их поведения от линейных аналогов. Излагаются методы расчета нелинейных цепей при переменном токе, включая гармонический баланс, численные методы и графические подходы, необходимые для определения установившихся режимов.

Особое внимание уделяется цепям переменного тока с ферромагнитными элементами: подробно разбирается поведение катушки с магнитопроводом при насыщении, анализируется явление феррорезонанса как пример автоколебаний и множественности устойчивых состояний, а также рассматривается принцип действия магнитного усилителя как управляемого нелинейного элемента. Анализируются переходные процессы в нелинейных цепях, их особенности, такие как зависимость времени установления от амплитуды воздействия, и подходы к их моделированию.

Понимание рассмотренных свойств и методов анализа нелинейных цепей переменного тока является фундаментальным для корректного проектирования и эксплуатации современных электронных и энергетических систем. Представленные подходы позволяют не только предсказывать сложное поведение этих цепей, но и использовать их нелинейные свойства для создания функциональных устройств.

Литература

1. Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 134-135.

© Гурбанов Р., Шарипов Т.И., 2025

УДК 534.2+781.1

ФИЗИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МУЗЫКИ И ЕЕ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ

Полухин Р.В., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Звук – это механические колебания, создаваемые голосовыми связками или инструментами, которые распространяются в виде продольных волн в воздухе. Обертоны (гармоники) – дополнительные частоты, кратные тонику (880Гц, 1320 Гц и т.д.), создающие тембр инструмента [1]. Разное распределение обертонов у инструментов объясняет их уникальное звучание [2]. Музыка основана на физических принципах распространения и восприятия звуковых волн. Гармоничные сочетания частот (тоника и обертоны) определяют мелодичность и эмоциональное воздействие музыки на человека.

Проведено исследование формирования узлов и пучностей на струне при касании её в определённых точках (например, 12-й лад), что усиливает высшие гармоники и обогащает звучание. На рис. 1. представлена пучность струны на 12 ладу:



Рис. 1. Узлы колебаний струны и формирование обертонов

Литература

1. Hartmann, W. Signals, Sound, and Sensation. – Springer, 1998.
2. Полухин Р.В., Шарипов Т.И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы X Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, 25 – 26 апреля 2024 г.) – Уфа: РИЦ УУНТ, 2024. С. 144.

© Полухин Р.В., Шарипов Т.И., 2025

УДК 531.211.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕГИСТРАЦИИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РАВНОВЕСНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ИК-ДАТЧИКА И ПК

Нурматов К.Дж.¹, Караматов Ш.Г.¹, Шарипов Т.И.²

¹Джизакский педагогический университет, г. Джизак, Узбекистан

²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Основу крутильных весов гравитации (весов Кавендиша) составляет легкая поперечная планка с маленьким свинцовым шариком массы m_2 на каждом конце на расстоянии d от точки подвеса, подвешенная на тонкой упругой струне. На эти шарики действуют два больших свинцовых шара массы m_1 . Несмотря на то, что сила взаимодействия меньше чем 10^{-9} Н, можно продемонстрировать ее с помощью чрезвычайно чувствительных крутильных весов гравитации. Движение маленьких свинцовых шариков регистрируется и измеряется с помощью ИК-датчика положения (Рис. 1). Он имеет четыре инфракрасных диода, освещающие вогнутое зеркало, которое вмонтировано стационарно на поперечной планке крутильного маятника.

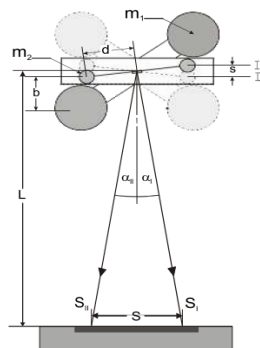
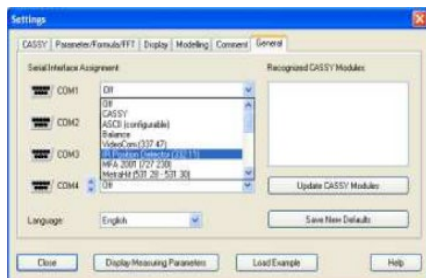



Рис. 1. Схема

Отраженный свет проектируется на ряд фототранзисторов для регистрации колебаний массы m_2 .

Соединяем ИК-датчик с компьютером. Выбираем вкладку «General» в окне «Настройки» и



устанавливаем надлежащий COM-порт путем отбора положения ИК детектора. Нажимаем на кнопку  или клавишу F9 для начала регистрации колебаний, после чего компьютер считает колебания.

Литература

1. Nurmatov K. D. DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE EDUCATION SYSTEM //Academic research in educational sciences. – 2023. – Т. 4. – №. 3. – С. 560-566.

2. LD Didactic GmbH, LD Physics leaflets.

© Нурматов К.Дж., Караматов Ш.Г., Шарипов Т.И., 2025

УДК 537.626

МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Нурматов К.Дж.

Джизакский педагогический университет, г. Джизак, Узбекистан

Магнитная цепь – это совокупность участков, выполненных из ферромагнитных материалов и воздушных промежутков, по которым замыкается магнитный поток. Она является аналогом электрической цепи: магнитодвижущая сила (МДС) соответствует ЭДС, магнитный поток – электрическому току, а магнитное сопротивление – электрическому сопротивлению. Магнитные цепи представляют собой совокупность ферромагнитных материалов и воздушных промежутков, по которым замыкается магнитный поток. Принцип их работы основан на законе полного тока (закон Ампера) и аналогии с электрическими цепями, где магнитное напряжение соответствует ЭДС, магнитный поток – току, а магнитное сопротивление – электрическому сопротивлению. Благодаря высокой концентрации магнитного потока в ферромагнитных материалах, магнитные цепи широко применяются в трансформаторах, электрических машинах (генераторах, двигателях), электромагнитах, реле, индукционных катушках и датчиках. Их использование позволяет эффективно преобразовывать и передавать энергию, управлять электромагнитными процессами и обеспечивать работу автоматизированных систем. В ферромагнитных материалах поток концентрируется благодаря высокой магнитной проницаемости, а в воздушных зазорах возрастает магнитное сопротивление. Таким образом, магнитная цепь управляет распределением и замыканием магнитного потока, обеспечивая преобразование электрической энергии в магнитную и обратно.

Классификация магнитных цепей по числу потоков: простые (один поток); сложные (несколько потоков).

По характеру материала: однородные (один материал сердечника); неоднородные (разные материалы, включая воздушные зазоры).

По режиму работы: линейные (магнитная проницаемость постоянна); нелинейные (наблюдается насыщение ферромагнетика).

По форме конструкции: замкнутые (практически без потерь потока); разомкнутые (с большим рассеянием потока).

Литература

1. Dorf R.C., Svoboda J.A. Introduction to Electric Circuits. – Wiley, 2022.
2. Nurmatov K. D. DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE EDUCATION SYSTEM //Academic research in educational sciences. – 2023. – Т. 4. – №. 3. – С. 560-566.

© Нурматов К.Дж., 2025

УДК 621.372.543

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОЛОСОВЫХ И РЕЖЕКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Борисов О.А., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Фильтр в электротехнике – устройство для выделения желательных компонентов спектра электрического сигнала и/или подавления нежелательных [1]. Полосовой фильтр – это устройство, которое пропускает сигналы в пределах определённого частотного диапазона, блокируя сигналы за пределами этого диапазона. Режекторный фильтр – это устройство, которое не пропускает колебания определённой полосы частот, но пропускает колебания с частотами, выходящими за пределы этой полосы. Фильтрующие свойства четырехполюсников обусловлены возникающими в них резонансными режимами – резонансами токов и напряжений. Данные фильтры применяются в радиосвязи, аудиотехнике, телекоммуникации, медицине.

Изучены принципы работы полосовых и режекторных фильтров. На рис. 1. представлены схемы полосового (а) и режекторного (б) фильтров:

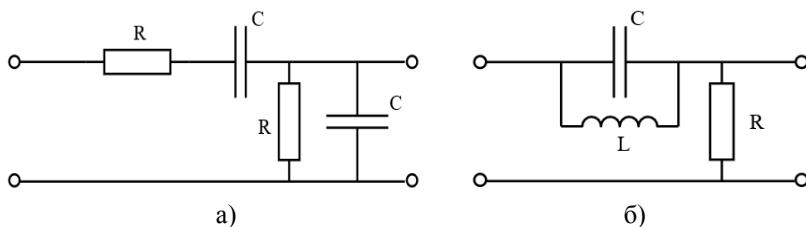


Рис. 1. Схемы полосового (а) и режекторного (б) фильтров

Исследованы полосы пропускания и задерживания в данных фильтрах. Результаты исследований могут быть внедрены в разработанный ранее цифровой учебный стенд [2].

Литература

1. Добротворский И.Н. Теория электрических цепей: Учебник для техникумов. – М.: Радио и связь, 1989.
2. Мусин А.И., Шарипов Т.И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНИТ, 2025. – С. 141-142.

© Борисов О.А., Шарипов Т.И., 2025

УДК 537.311.31

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Зайнашев И.И., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Удельное сопротивление – это физическая величина, характеризующая способность материала препятствовать прохождению электрического тока. В металлах при нагревании оно изменяется из-за увеличения амплитуды колебательного движения ионов в узлах кристаллической решетки, что приводит к столкновению электронов с ионами. В электролитах и полупроводниках оно уменьшается за счет возрастания свободных электронов и ионов. Для специальных сплавов (например, манганин), удельное сопротивление почти не зависит от температуры. Температурный коэффициент сопротивления определяет относительное изменение температуры на 1°C [1].

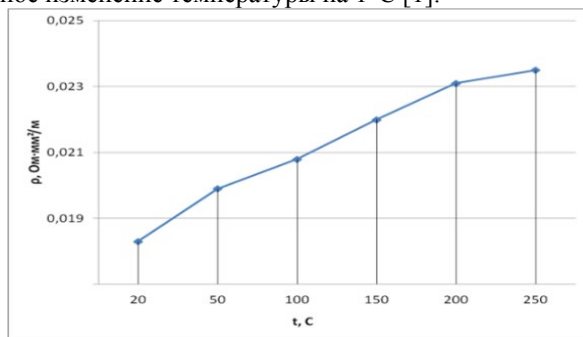


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от температуры

На стенде [2] проведено исследование зависимости удельного сопротивления металлического проводника (меди) от температуры, получен график (рис. 1). Видно, что зависимость квазилинейная.

Литература

1. Данилов И. А., Иванов П. М. Общая электротехника с основами электроники: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2005. – 752 с.
2. Мусин А.И., Шарипов Т. И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНИТ, 2025. – С. 141-142.

© Зайнашев И.И., Шарипов Т.И., 2025

УДК 532.51

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНОГО МОСТИКА

Татлыбаев С.А., Баишев А.Х., Шайхитдинов Р.З., Юминов И.П.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время нет общепринятого механизма, объясняющего динамическое равновесие водного мостика (ВМ). Исходя из этого, в данной работе предлагается новый механизм, объясняющий динамическую устойчивость ВМ, суть которого заключается в следующем. Как известно [1], между электродами основное падение напряжения происходит в самом водном мостике. Поэтому необходимо знание распределения напряженности электрического поля вблизи ВМ. При переходе через границу раздела двух диэлектрических сред вектор напряженности электрического поля \mathbf{E} преломляется; причем тангенциальные составляющие вектора \mathbf{E} остаются равными: $E_{1\tau} = E_{2\tau}$, в то время как $E_{1n}/E_{2n} = \varepsilon_2/\varepsilon_1$. Отсюда следует, что при переходе из воды (среда 1) в воздух (среда 2) нормальная составляющая вектора \mathbf{E}_{2n} возрастает в 81 раз. Конфигурация водной системы такова, что силовые линии электрического поля локализованы в верхней приповерхностной области мостика. Это электрическое поле, напряженность которого согласно [1] составляет 525 кВ/м, достаточно для возникновения электрического ветра (ЭВ), который создает подъёмную силу F_1 для ВМ. Действительно, из уравнения Бернулли и силы тяжести, действующей на мостик, можно определить соотношение этих сил: $n = F_1/mg = \rho_2 v^2 / \rho_1 \pi g r$, ρ_1 и ρ_2 – плотности воды и воздуха соответственно; v – скорость ЭВ и r – радиус ВМ. Для среднего значения диаметра ВМ, равного 10^{-3} м, $n = 0.084v^2$. Как следует из этого выражения, вес мостика уравнивается при скорости ЭВ в 3.4 м/с.

Для подтверждения влияния ЭВ на компенсацию силы тяжести были проведены следующие эксперименты. На тонком медном проводе был подвешен цилиндрический диэлектрик массой $7 \cdot 10^{-5}$ кг. На противоположных концах на расстоянии друг от друга полукольцом устанавливались навстречу друг к другу электроды из этого же провода. При подаче напряжения между электродами грузик отклонялся в сторону электродов. По известной массе грузика и измеряемого углу отклонения грузика определялась сила тяги грузика, которая для ВМ выступает как подъемная сила. Проведенные расчеты и анализ показывают, что эта сила достаточна для удержания ВМ в состоянии равновесия.

Литература

1. Elmar C Fuchs, Doekle Yntema and Jakob Woisetschläger // J. Phys. D: Appl. Phys. 2019. Vol. 52. P. 365302-365311.

© Татлыбаев С.А., Баишев А.Х., Шайхитдинов Р.З.,
Юминов И.П., 2025

УДК 621.3.049.77

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИЕ И ИНТЕГРИРУЮЩИЕ ЦЕПИ: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА

Набиев И.И., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Дифференцирующая и интегрирующая RC-цепи являются фундаментальными элементами в обработке электрических сигналов [1]. Их работа основана на переходных процессах в цепи резистора и конденсатора. Дифференцирующая цепь (конденсатор необходимо подсоединить последовательно, выходное напряжение снимается с резистора) выделяет быстрые изменения сигнала (высокочастотные составляющие), подавляя постоянную составляющую и низкие частоты. Интегрирующая цепь (резистор включен последовательно, выходное напряжение снимается с конденсатора), напротив, подавляет высокочастотные компоненты и выделяет медленные изменения сигнала и его постоянную составляющую.

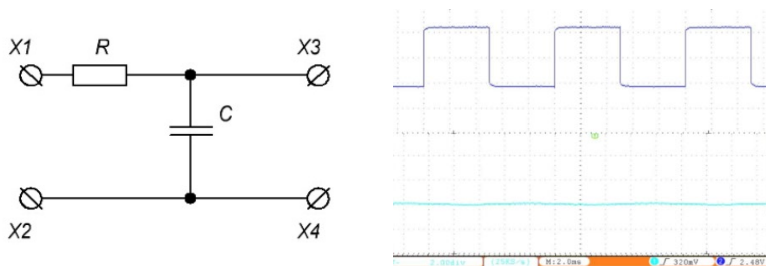


Рис. 1. Схема интегрирующей цепи и осциллограмма выходного сигнала

На рис. 1 представлена принципиальная схема данных цепей и пример обработки смешанного сигнала. Эти свойства позволяют использовать данные цепи в качестве простейших фильтров для выделения переменной или постоянной компоненты из сложного сигнала, например, в детекторах и источниках питания.

Литература

1. Касаткин А.С., Немцов М. В. Электротехника. – М.: Академия, 2020.
2. Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 134-135.

© Набиев И.И., Шарипов Т.И., 2025

УДК 532.51

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЖИДКОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ

Баишев А.Х., Татлыбаев С.А., Шайхитдинов Р.З., Юминов И.П.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

При приложении отрицательного напряжения к верхнему острому электроду, расположенному над поверхностью этилового спирта, наблюдается возникновение отчетливо сформированного столбика. Он представляет собой вытянутый навстречу верхнему электроду цилиндр из жидкости, заканчивающийся сферически закругленным концом. Направление вращения основания этого цилиндра носит случайный характер. Появление столбиков происходит только при отрицательной полярности верхнего электрода. При положительной полярности наблюдается лишь образование воронки, а при высоких напряжениях – пробой. Столбик (высота 5-7 мм) между электродом и поверхностью жидкости (расстояние около 1 см) возникает при напряжениях примерно

20 кВ. · Возникновение структур связывается [1] неустойчивостью Тонкса-Френкеля.

В нашей работе дается объяснение непредсказуемого по направлению вращения столбика переносом отрицательного заряда из игольчатого электрода в жидкость. Из-за коронного разряда в жидкости напротив острого электрода образуется воронка, на поверхности которой создается отрицательный объемный заряд. В результате, как показывают результаты наших расчетов и анализ, максимальная напряженность электрического поля локализована на краях воронки. Поэтому из-за случайного характера распределения объемного заряда направление вращения столбика также носит вероятностный характер. Такое объяснение подтверждается применением в наших экспериментах спиралевидной формы положительного электрода, который снимает в жидкости отрицательный объемный заряд. При этом вращение столбика происходило преимущественно вдоль спирали в направлении раскручивания ее витков.

Литература

1. Александров А.Ф., Бычков В.Л., Бычков Д.В., Бычков и др. // Вестник Московского университета, 2011, № 4, с. 67-74.

© Баишев А.Х., Татлыбаев С.А.,
Шайхитдинов Р.З., Юминов И.П., 2025

УДК 629.38

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ПОЛОСЕ

Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Несмотря на то, что системы помощи водителю, включая контроль полосы движения, направлены на снижение аварийности из-за человеческого фактора, они сталкиваются с ограничениями. Для повышения их действенности требуется дальнейшее совершенствование.

Цель работы: разработка системы контроля полосы движения автомобиля, обеспечивающей повышение безопасности движения.

В представленном исследовании разработана экспериментальная система управления на основе трёх инфракрасных датчиков. Два боковых датчика обеспечивают мониторинг положения относительно линий разметки и формируют управляющие воздействия на электродвигатель усилителя руля. Управление осуществляется непрерывной активацией

двигателя при выявлении линии на соответствующей стороне, что обеспечивает корректировку траектории движения в реальном времени. Центральный датчик отвечает за запуск системы торможения при нарушении заданного положения, обеспечивая мгновенную реакцию и повышение безопасности (рис. 1).

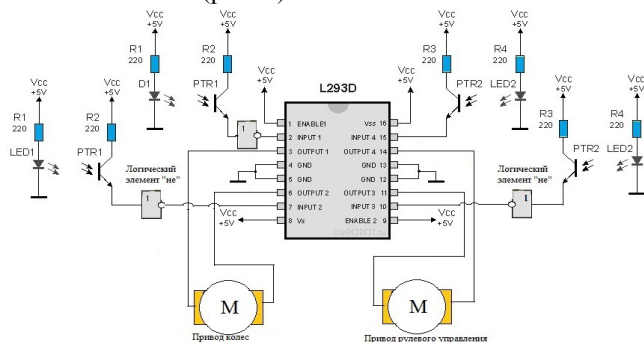


Рис. 1. Схема подключения датчиков и системы управления

Литература

1. Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И. // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 134-135.

© Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И., 2025

УДК 532.51

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ШЕСТЕРНИ

Изюров Д.С., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Основным элементом является датчик, преобразующий механическое движение в электрический сигнал. В качестве чувствительных элементов применяется датчик Холла. С помощью Датчика Холла осуществляется фиксирование прохождения постоянного магнита, закреплённого на шестерне. В частности, измерение скорости вращения зубчатых передач позволяет своевременно определять состояние узлов, предотвращать аварии и повышать надёжность оборудования [1, 2]. Компактность и устойчивость к помехам делают данный вариант перспективным для построения как лабораторных, так и промышленных измерителей [3]. При этом на выходе формируется последовательность импульсов, удобная для цифровой обработки. Сигнал с датчика поступает на формирователь, где

осуществляется подавление шумов и преобразование уровня. В качестве управляющего устройства применялся микроконтроллер Arduino, который обрабатывает информацию, это позволило реализовать базовые функции измерителя. Алгоритм подсчёта основан на регистрации количества импульсов за фиксированный интервал времени. Полученное значение пересчитывается в число оборотов в минуту. Для сглаживания случайных колебаний используется цифровая фильтрация и усреднение. Вывод данных может осуществляться на жидкокристаллический индикатор или передаваться в систему управления по стандартным интерфейсам связи. При малых скоростях вращения показания были стабильными, при увеличении частоты вращения потребовалась дополнительная обработка сигнала. В нашей работе подтвердилась возможность построения компактного и надёжного устройства для измерения скорости вращения зубчатых передач на основе датчика Холла и микроконтроллера. Полученные результаты показывают, что дальнейшее развитие связано с созданием промышленных образцов, адаптированных к реальным условиям эксплуатации: повышенным вибрациям, загрязнению и широкому диапазону температур.

Литература

1. Бакулин А.А. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. // М.: Академия, 2015, 240 с.
2. Глушков В.А. Электроизмерительные приборы и методы измерений. // М.: Энергоатомиздат, 2012, 368 с.
3. Яковлев П.А., Мещеряков В.И. Мехатроника. // СПб.: Питер, 2019, 432 с.

© Изюров Д.С., Шарипов Т.И., 2025

УДК 537.86

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА PX ULTRA-HYBRID 2.0 В РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ КОНФИГУРАЦИЯХ

Ткачук Е.А., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В докладе будет продемонстрировано как различные режимы работы микроскопа позволяют получать изображения высокого разрешения и анализировать свойства материалов на наноуровне [1]. В ходе работы были изучены два образца: образец №1: Калибровочная решетка TGZ2; был выбран для выработки навыков работы на микроскопе; образец №2: Титановая пластина; исследование этого материала позволило продемонстрировать возможности микроскопа в анализе поверхностей.

Вначале была выполнена калибровка микроскопа, включающая настройку зонда, юстировку оптической системы и проверку работы сканера. Для каждого образца были использованы различные режимы работы программно-аппаратного комплекса:

- контактный режим (Contact Mode): в этом режиме зонд находится в постоянном контакте с поверхностью образца. Позволяет получать высококачественные топографические изображения. Использовался для исследования калибровочной решетки, где важно было получить точные данные о высоте и форме поверхности.

- полуконтактный режим (Tapping Mode): зонд колеблется с высокой частотой, касаясь поверхности только в нижней точке амплитуды. Это снижает риск повреждения образца. Использовался для анализа титанового образца, чтобы избежать царапин на поверхности. Были получены АСМ-изображения поверхности калибровочной решетки:

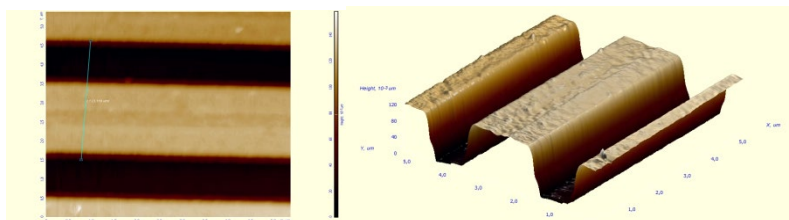


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности калибровочной решетки TGZ2

Литература

1. Sharipov T. I., Mishra A. K. and Garafutdinov R. R. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, Vol. 89, No. 3, pp. 391-395.

© Ткачук Е.А., Шарипов Т.И., 2025

УДК 615.841, 615.847

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В МЕДИЦИНЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА

Мичник В.С., Муллағалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает биологическое, электролитическое, тепловое и механическое действие. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении тканей и органов. Вследствие этого наблюдаются судороги скелетных мышц, которые могут привести к остановке дыхания, отрывным переломам и вывихам конечностей, спазму голосовых связок. Электролитическое действие тока проявляется в электролизе жидкостей,

в том числе и крови, а также существенно изменяет функциональное состояние клеток. Тепловое действие электрического тока приводит к ожогам кожного покрова, а также гибели подкожных тканей, вплоть до обугливания. Механическое действие тока проявляется в расслоении тканей и даже отрывах частей тела. Дозированное воздействие на организм электрического тока, а также электрических, магнитных или электромагнитных полей используется в медицинских целях [1].

Тело человека является проводником электрического тока. Сопротивление при нормальном кожном покрове составляет 3–100 кОм (Килоом). По технике безопасности величина силы тока не должна превышать 50 мА. Человек способен ощущать электрический ток от 1 мА. По мере того, как совершенствовались электроизмерительные приборы, электрические токи (или биотоки) обнаруживались у животных и растений. Из отдельных работ выросла специальная научная дисциплина – электрофизиология.

Электротерапия – это применение с лечебной целью различных видов электричества. Основано на свойстве определенных видов электрической энергии при терапевтических дозах изменять функциональное состояние органов и систем. Современные методы физиолечения применяют электрический ток для борьбы с различными патологиями: травмами опорно-двигательной системы, заболеваниями нервной системы, при восстановлении в послеоперационном периоде. К электротерапии относится:

Гальванизация – это применение с лечебной целью воздействия постоянным током низкого напряжения (60-80В) при небольшой силе тока (до 50 мА) на ткани организма. Для проведения гальванизации используют электроды из листового свинца или станиоля толщиной 0,3 – 0,5 мм. Между электродами и кожей помещают гидрофильные прокладки, смоченные теплой водой. Кожа оказывает большое сопротивление току с такими параметрами, именно поэтому развиваются наиболее значимые при этом методе физиотерапии реакции – усиливается лимфо- и кровообращение, стимулирует метаболические процессы, усиливает секрецию желез, оказывает обезболивающий и противовоспалительный эффекты [2].

Электросонотерапия – это метод лечебного воздействия на ЦНС человека импульсным током низкой частоты (1–150 Гц), малой силы (до 10 мА) и напряжением до 80 В. Под влиянием прямоугольного импульсного тока в мозге происходит стимуляция выработки серотонина и эндорфинов, что может объяснить снижение условно-рефлекторной деятельности и эмоциональной активности, седативное и болеутоляющее действие электросна. [3]

УВЧ – терапия – наиболее распространённый вид среди высокочастотной терапии. В его основе лежит использование электроколебаний ультравысокочастотного диапазона (частоты 40 МГц при длине волны 7 м или частоты 27МГц при длине волны 11 м). Действующим фактором является переменное магнитное поле, которое обладает способностью глубоко проникать в ткани. [4]

Литература

1. Большая медицинская энциклопедия, гл. ред. Б. В. Петровский. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1974-1989. Т. 28.
2. Электросон // Руководство по физиотерапии и физиопрофилактике детских заболеваний. — 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Медицина, 1987.
3. Лукомский И. В., Улащик В. С. Общая физиотерапия. Учебник., М., 2005.
4. Ушаков, А.А. Практическая физиотерапия. 2-е изд., испр. и доп. М.: ООО «Медицинское информационное агенство», 2009.

© Мичник В.С., Муллағалиев И.Н., 2025

УДК 621.373.826

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ

Абзалилов Д.А., Вальшин А.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время накачка больших лазерных комплексов производится цилиндрическими лампами вспышками методом традиционной емкостной накачки. При этом эффективность такой накачки не превышает доли процентов.

В работах [1,2] была показана возможность достижения 3-кратного снижения порога генерации и 2-кратного повышения КПД $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ лазера при высокочастотной накачке.

В данной работе проводится исследование спектральных характеристик газоразрядных ламп при высокочастотной накачке. Проведенные эксперименты продемонстрировали существенное уменьшение сплошного спектра излучения и увеличение интенсивности линейчатого спектра криптоновых ламп по сравнению с традиционной накачкой. В то время, как в лампах, заполненных ксеноном, существенных изменений не наблюдались независимо от методов накачки. Следовательно, был сделан вывод о предпочтительности использования в качестве лампы накачки при высокочастотной накачке

криптоновых ламп по сравнению с ксеноновой лампой. Это в свою очередь, может привести к существенному увеличению КПД твердотельного лазера на гранате при высокочастотном поджиге и высокочастотной раскачке.

Литература

1. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Гришин М.Я., Пузыревский В.И. Высокочастотный розжиг лампы YAG: Nd3+-лазера с кратным уменьшением интенсивности излучения видимого диапазона // Журнал прикладной спектроскопии. – 2025. – Т. 92. – №. 2. – С. 211-215.
2. Вальшин А.М., Орлович В.А., Бельков С.А., Першин С.М., Пузыревский В.И. 3-кратное снижение порога генерации и 2-кратное увеличение КПД Nd3+:YAG лазера при ВЧ раскачке поджига лампы. Инженерная физика. – 2023. – №12. – С. 3-10.

© Абзалилов Д.А., Вальшин А.М., 2025

УДК 517.9

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ: АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ

Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А., Долгий Д.А., Климанова П.С.
Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,
г. Стерлитамак, Россия

Радиосистемы часто сталкиваются с нестационарными помехами, например, отражениями и ионосферными эффектами

Традиционные фильтры Винера и Калмана ограничены в нелинейных динамичных средах, что требует гибридных подходов для надежности радиосвязи. Сжатое восстановление эффективно реконструирует сигналы из неполных данных, но зависит от базиса, как в интерферометрии.

Краткий обзор проблемы

Обработка сигналов в нестационарных условиях критически важна для 5G/6G, радиоастрономии и космической связи, где помехи (городские отражения, ионосферные возмущения) нелинейны. Фильтры Винера и Калмана, рассчитанные на стационарность, не справляются, вызывая ошибки в точных задачах.

Альтернативы классическим методам

Сжатое восстановление реконструирует сигналы из неполных данных, опираясь на разреженность (вейвлеты, фурье), превосходя CLEAN в SNR (5–25% покрытия). В ALMA вейвлет-анализ и глубокое обучение минимизируют RFI, балансируя вычисления.

Перспективы

Исследования подтверждают, что PINN с уравнениями Максвелла ускоряют симуляции RF в 10–100 раз по сравнению с методом моментов, хотя недооценка составляет 2–4 дБ.).

Сравнение методов

Метод	Преимущества	Недостатки	Применение
Фильтр Винера	Простота	Нелинейность	Ограничено
Compressed Sensing	Шумоустойчивость	Базис-зависимость	Радиоастрономия
PINN	Ускорение	Нужны данные	RF-симуляции
Гибридные (вейвлет+DL)	Точность	Высокая сложность	ALMA

© Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А.,
Долгий Д.А., Климанова П.С., 2025

УДК 537.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОГО ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА МЕТОДАМИ АСМ И СТМ

Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В ходе проведённой работы выполнено комплексное экспериментальное изучение морфологии и атомарной структуры поверхности высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) с использованием методов сканирующей зондовой микроскопии, в частности атомно-силовой (АСМ) и туннельной микроскопии (СТМ). Были детально проанализированы влияние ключевых технологических параметров сканирования, включая коэффициент усиления обратной связи (Gain), пространственное разрешение, скорость сканирования и напряжение смещения, на качество, воспроизводимость и информативность получаемых экспериментальных данных. Установлено, что параметр Gain оказывает критически важное влияние на качество получаемого снимка. Качественный снимок образца достигается при значениях Gain в диапазоне от 3 до 5. Именно в этом технологическом режиме обеспечивается наиболее четкая и достоверная идентификация наноразмерных дефектов кристаллической структуры. Методом СТМ были успешно получены высококачественные сканы с атомарным разрешением, на которых была однозначно идентифицирована

характерная гексагональная кристаллическая решетка графита. Экспериментально показано, что снижение скорости сканирования до оптимального значения 0,8 Гц значительно повышает детализацию и четкость получаемого скана благодаря более точному и плавному отслеживанию поверхностного рельефа, хотя это приводит к увеличению общего времени проведения измерений. Напряжение смещения (BV) в интервале от 0,1 до 0,2 В было признано наиболее эффективным для одновременного анализа как топографических, так и электронных свойств исследуемого материала. Полученные результаты подтверждают эффективность комбинированного применения АСМ и СТМ для проведения наноразмерного анализа углеродных материалов.

Литература

1. Шарипов Т.И., Мишра А.К., Гарафутдинов Р.Р. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2025. Том 89. № 3. С. 414-418.

© Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И., 2025

УДК 537.86

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА АСМ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Нургалиев И.Г., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Выполнение экспериментов, требующих большого времени, на атомно-силовых микроскопах [1] коррелирует с большой проблемой из-за существования температурного дрейфа, или термодрейфа. Колебания температуры в исследовательской лаборатории в течение дня, даже в пределах 0.1-0.5°C, вызывают смещение элементов частей микроскопа относительно исследуемого образца. Это приводит к постепенному уходу наблюдаемого участка, искажению получаемых данных и делает невозможным изучение медленных процессов, требующих непрерывного мониторинга в течение многих часов или даже суток. Для решения этой проблемы учеными разрабатываются комплексные системы активной компенсации термодрейфа, работающие в реальном времени. Например, методика, основанная на использовании стабильных наноразмерных объектов на поверхности образца в качестве реперных маркеров. Специальный алгоритм трекинга с субпиксельной точностью отслеживает положение этих маркеров, а система обратной связи вносит необходимые

коррекции в работу пьезосканера. Особенностью подхода является комбинирование аппаратных и программных методов компенсации. Для проверки метода запланирована серия экспериментов по наблюдению процессов адсорбции биомолекул на поверхность слюды и графита в течение 24-48 часов. Предварительные оценки показывают, что система позволит поддерживать стабильность положения образца с точностью до 0.5-1.0 нм в течение 48 часов. Это откроет новые возможности для изучения динамических процессов в наномасштабе, включая самосборку молекул, рост нанокристаллов и трансформацию биологических структур.

Литература

1. Ткачук Е.А., Шарипов Т.И. Применение различных режимов работы программно-аппаратного комплекса PX Ultra-Hybrid 2.0 // Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах: материалы XI Межрегиональной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: РИЦ УУНиТ, 2025. – С. 150-151.

© Нургалиев И.Г., Шарипов Т.И., 2025

УДК 537.86

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Нургалиев И.Г., Шарипов Т.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Зондовая микроскопия (СЗМ) обладает своей уникальной возможностью экспериментального изучения морфологических и наномеханических свойств различных материалов со сверхвысоким разрешением, вплоть до масштаба отдельных молекул [1]. В то же время, стандартный анализ данных СЗМ требует рутинной ручной обработки и интерпретации полученных данных, а это ограничивает его эффективность и воспроизводимость. Основной проблемой остается субъективность обработки данных и невозможность анализа больших массивов данных традиционными методами. Для решения этой проблемы предлагается использовать подход, сочетающий методы машинного обучения с многопараметрическим анализом данных АСМ. В отличие от существующих решений, известен метод, который использует комплексный анализ как морфологических, так и наномеханических параметров, что значительно повышает достоверность классификации. Исследование посвящено использованию известного алгоритма

классификации наночастиц на основе данных силовой спектроскопии и топографии. Алгоритм будет включать следующие этапы: автоматическое выделение отдельных частиц на топографических изображениях, экстракцию признаков и последующую классификацию с использованием методов машинного обучения. Для верификации подхода будут проведены эксперименты с модельными системами: смесями графена и оксида графена. Наибольший вклад в различение материалов будут вносить модуль упругости и адгезия, в то время как для молекул нуклеиновых кислот (в первую очередь ДНК) ключевыми факторами станут размеры по-латерали, высота и морфологические параметры. Данный подход позволяет создать систему цифровых "отпечатков" различных наноматериалов, что откроет возможности для автоматизированного анализа сложных наноструктурированных систем в биологии.

Литература

1. Sharipov T.I., Mishra A.K., and Garafutdinov R.R. Electrical Resistance of Some Types of Homooligonucleotides. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, Vol. 89, No. 3, pp. 391-395.

© Нурғалиев И.Г., Шарипов Т.И., 2025

СЕКЦИЯ «НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОМАТЕРИАЛЫ»

УДК 621.38

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК, СОЗДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА

Салихов Р.Б., Губайдуллин М.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В последнее время исследователи стали уделять большое внимание изучению флуоресцентных и фотопроводящих свойств органических полупроводников. Особый интерес представляют тонкопленочные структуры на основе полианилина и его растворимых производных [1-7].

Экспериментальная часть состояла в следующем: стеклянную подложку с проводящим покрытием из оксида индия и олова (ИТО) промывали в растворе этанола с последующей сушкой в муфельной печи в течение 10 мин при 50°C. Поверх покрытия ИТО методом отжима наносили пленки производных полианилина (поли-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилин). Полученный слой подвергли термическому отжигу для удаления остатков растворителя путем нагревания до 110°C в течение 20-25 минут. Поверх производных полианилина был нанесен верхний алюминиевый электрод путем термического испарения в вакуумной установке. Электрод состоял из дорожки шириной 1 мм (рис. 1). Толщина алюминиевого электрода составляла 500 нм.

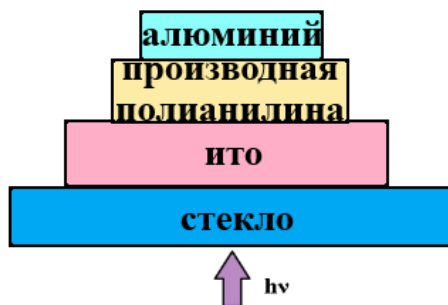


Рис. 1. Структура фоторезистора с пленкой из производного полианилина

Была измерена чувствительность фоторезистивных структур, она достигала значения 8330 мкА·Вт⁻¹. Данное исследование представляет практический интерес для разработки оптронов и фотоприемников на основе производных полианилина. Все измерения проводились в нормальных условиях, то есть на атмосферном воздухе, что является преимуществом исследуемых фоторезистивных структур по сравнению с

большинством экспериментальных структур на основе других соединений, для работы с которыми требуется камера с инертным газом или сухим азотом. Исследуемые фоторезистивные структуры могут оказаться весьма перспективными для использования в системах охранной сигнализации и в ячейках оптической памяти. Преимущество этих устройств в том, что технология их изготовления совместима с современными технологиями печатной органической электроники.

Литература

1. Salikhov R. B., Gaskarova A. A., Salikhov T. R., Ostaltsova A. D., & Yumalin T. T. Polyaniline Derivatives for Chemical Sensors of Ammonia Vapor // Chemistry Proceedings, 2023, № 14(1), 15 с.
2. Latypova L.R., Andriianova A.N., Usmanova G.S., Salikhov R.B., Mustafin A.G. 2023. Т. 72. № 4. С. 440–450. 25.
3. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., & Mullagaliev I. N. // Вестник Башкирского университета, 2024, № 29(2), 75–79 с.
4. Salikhov, R.B., Yumalin, T.T., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2025, vol. 30, no. 1, pp. 13–18.
5. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R. // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya, 2025, vol. 89, no. 3, pp. 408–413.
6. Bazunova, M.V., Salikhov, R.B., Teregulov, T.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Ostaltsova, A.D. // Zhurnal Prikladnoi Khimii, 2024, vol. 97, no. 4, pp. 347–353.
7. Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Ostaltsova, A.D., Vazhdaev, K.V. // Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth, 2024, no. 4, pp. 12–24.

© Салихов Р.Б., Губайдуллин М.И., 2025

УДК 539.23

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ

Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полианилин (ПАНИ), проводящий полимер, рассматривается как перспективный кандидат для различных электронных устройств благодаря своей электропроводности, стабильности и устойчивости к воздействию внешней среды [1-3]. Были разработаны многослойные структуры резистивных сенсоров на основе тонких плёнок производных ПАНИ и ПЭК хитозана и сукцинамида хитозана с одностенными углеродными нанотрубками (УНТ). Конструкция тонкопленочного

резистивного датчика, представленная на рисунке 1, была ключевой для получения результатов. Использование инертных ситалловых и стеклянных подложек с вакуумным напылением алюминиевых электродов заданной геометрии (зазор 50 мкм) обеспечило стабильные омические контакты и исключило влияние самой измерительной ячейки на результаты.



Рис. 1. Структура тонкопленочных резистивных датчиков

Эта конструкция позволила точно наносить в активную зону либо пленку производного ПАНИ, либо композит ПЭК-УНТ и измерять изменение их сопротивления в ответ на внешние стимулы, что стало основой для получения данных.

Литература

1. Salikhov, R. B., Yumalin, T. T., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Mullagaliev, I. N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2025, vol. 30, no. 1, pp. 13–18.
2. Salikhov, R. B., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R. // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya, 2025, vol. 89, no. 3, pp. 408–413.
3. Bazunova, M. V., Salikhov, R. B., Teregulov, T. B., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., Safargalin, I. N., Ostaltsova, A. D. // Zhurnal Prikladnoi Khimii, 2024, vol. 97, no. 4, pp. 347–353.

© Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У., 2025

УДК 539.23

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК И ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ

Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В исследовании электропроводности нанокompозитных плёнок, таких как полимерные плёнки на основе полианилина (ПАНИ) и поликарбоксилата (ПЭК), применяются различные методы спектроскопии импеданса [1-3]. Результаты позволяют определить оптимальные условия для создания материалов с заданными электрическими свойствами, такими как высокая электропроводность и низкая диэлектрическая

проницаемость. На рисунке 1 представлены графики зависимости сопротивления тока от влажности для плёнок ПАНИ и ПЭК с использованием углеродных нанотрубок.

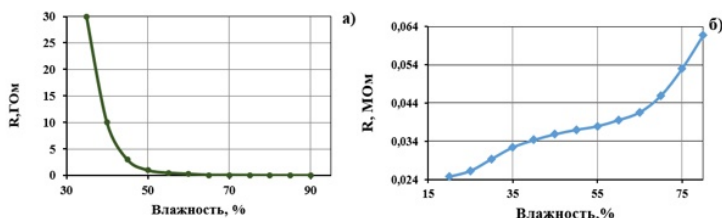


Рис. 1. Зависимость протекающего через:

а) пленки производной ПАНИ и б) ПЭК с УНТ тока от относительной влажности воздуха в объеме воздуха

Установлено, что электропроводность полимерной плёнки увеличивается с повышением влажности, что связано с подвижностью легирующих ионов и набуханием полимера. Изменение влажности варьировалось от 20 % до 80 %, а зависимость тока от сопротивления остаётся нелинейной, с одинаковой скоростью увеличения сопротивления при снижении тока на всём диапазоне измерений.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (код научной темы FZWU-2023-0002).

Литература

1. Salikhov, R.B., Ostaltsova, A.D., Salikhov, T.R., Mullagaliev, I. N. //Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2024, vol. 29, no. 2, pp. 75–79.
2. Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Ostaltsova, A.D., Vazhdaev, K. V. // Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth, 2024, no. 4, pp. 12–24.
3. Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Ostaltsova, A.D. // Izvestiya Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN, 2025, no. 1, pp. 31–38.

© Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У., 2025

УДК 539.23

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ (NH_3 , CO_2) В ПОМЕЩЕНИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Салихов Р.Б., Миннеахметов Д.И., Баджассилона Б.Г.,

Муллагалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

На приведённой схеме представлена миниатюрная экспериментальная установка, состоящая из герметичной камеры, оснащённой датчиками газа (NH_3 и CO_2), а также датчиками температуры и влажности (рис.1). Все датчики подключены к микроконтроллеру Arduino UNO, который обеспечивает обработку сигналов и передачу данных на ЖК-дисплей для их отображения [1]. Благодаря использованию современных микроэлектронных компонентов и компактных сенсоров, система демонстрирует эффективность даже в ограниченном пространстве, что делает её идеальной для лабораторных исследований, образовательных целей и прототипирования умных экологических мониторов [2]. Интеграция всех элементов на базе Arduino UNO обеспечивает не только простоту сборки и настройки, но и гибкость в адаптации под различные задачи — от контроля атмосферы в замкнутых системах до моделирования условий для биологических экспериментов.

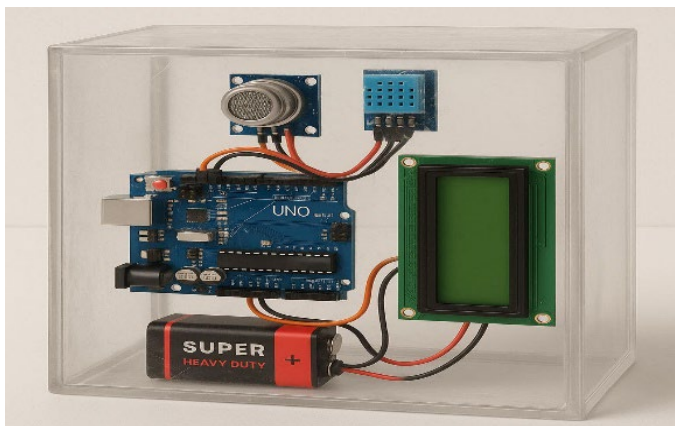


Рис. 1 Герметичная газовая камера с датчиком CO_2 и Arduino UNO, обеспечивающая измерение концентрации углекислого газа в замкнутом пространстве и отображение данных на LCD-дисплее

Arduino-система играет ключевую роль в данной конструкции, обеспечивая оцифровку сигналов от датчиков и их визуализацию на

экране в реальном времени. Это позволяет оперативно отслеживать изменения параметров среды внутри герметичной камеры, что особенно важно при проведении экспериментов по контролю газовой среды или исследованию вольт-амперных характеристик резистивных элементов [3]. Архитектура Arduino UNO, основанная на микроконтроллере ATmega328P, предоставляет достаточную вычислительную мощность для обработки многоканальных данных, а также поддерживает простую интеграцию с широким спектром аналоговых и цифровых сенсоров. Благодаря компактному размеру и высокой функциональности, разработанное устройство может быть использовано как эффективный инструмент для мониторинга параметров окружающей среды в лабораторных условиях или при проведении научных экспериментов — включая исследования в области материаловедения, биотехнологий и экологического моделирования [4]. Миниатюризация системы не только упрощает её использование, снижает энергопотребление и стоимость эксплуатации, но и делает её более универсальной для различных исследований, где требуется точный, стабильный и воспроизводимый контроль газовой среды, температуры и влажности [5]. Возможность программной настройки порогов срабатывания, логирования данных и беспроводной передачи информации дополнительно расширяет потенциал системы для автоматизации научных процессов.

Исследование выполнено при поддержке государственного задания (научный шифр FZWU- 2023-0002).

Литература

1. Базунова М. В., Салихов Р. Б., Терегулов Т. Б., Муллағалиев И. Н., Салихов Т. Р., Сафарғалин И. Н., Остальцова А. Д. // *Žurnal prikladnoj himii*, 2024, v. 97, № 4, pp. 347-353.
2. Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Usmanova, G. S., Salikhov, R. B., Mustafin, A. G. // *Polymer International*, 2023, v. 72, №. 4, pp. 440-450.
3. Mustafin, A. G., Latypova, L. R., Andriianova, A. N., Salikhov, S. M., Sattarova, A. F., Mullagaliev, I. N., Abdrakhmanov, I. B. // *Macromolecules*, 2020, v. 53, №. 18, pp. 8050-8059.
4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. // *Письма о материалах*, 2023, v. 13, pp. 132-137.
5. Safargalin I.N., Badretdinov B.R., Salikhov R.B. // *Инновационные материалы и технологии: материалы*, 2024, p. 221.

© Салихов Р.Б., Миннеахметов Д.И.,
Баджассилона Б.Г., Муллағалиев И.Н., 2025

Новые полимерные материалы вызывают интерес для разработки электронных сенсоров благодаря низкой стоимости и легкости модификации [1]. Полиэлектролитные комплексы (ПЭК), такие как ПЭК-УНТ (полиэлектролитные комплексы с углеродными нанотрубками), образуются при смешивании противоположно заряженных растворов без органических растворителей [2-3]. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) показала, что пленка производного полианилина имеет однородную глобулярную структуру, что увеличивает ее поверхность для сорбции газов. В то же время, поверхность композита ПЭК-УНТ покрыта сетью нитевидных структур, что указывает на интеграцию углеродных нанотрубок и формирование проводящего каркаса. Эти различия в морфологии напрямую влияют на электрофизический отклик на влажность и аммиак, как показано на рисунке 1.

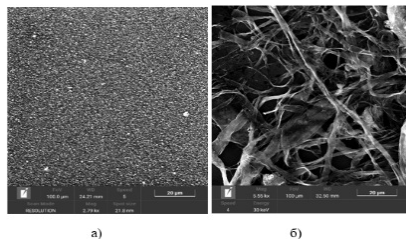


Рис. 1. СЭМ изображения микроструктур образцов пленок: а- производная ПАНИ, б- ПЭК-УНТ

Исследование выполнено в рамках государственного задания (код научной темы FZWU-2023-0002).

Литература

1. Salikhov, R. B., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2025, vol. 89, no. 3, pp. 386–390.
2. Zilberg, R., Salikhov, R., Mullagaliev, I., Teres, Yu., Bulysheva, E., Salikhov, T., Ostaltsova, A., Vakulin, I. // Chimica Techno Acta, 2024, vol. 11, no. 3, p. 202411302.
3. Salikhov, R.B., Mullagaliev, I.N., Ostaltsova, A.D., Vazhdaev, K.V. // Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth, 2024, no. 4, pp. 12–24.

ХИТОЗАНЫ И КАРРАГИНАНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БИОПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ГИБКОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Салихов Р.Б., Козин К.Д., Остальцова А.Д.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Каррагинан — сульфированный полисахарид, выделяемый из красных морских водорослей, представляет собой многообещающий биополимер для создания гибких, устойчивых и биосовместимых электронных устройств. Благодаря высокой механической прочности, эластичности и устойчивости к многократным изгибам, он идеально подходит в качестве гибкой подложки, особенно для технологий рулонной печати и носимой электроники.

На его основе уже созданы твёрдые полимерные электролиты с ионными жидкостями, в которых достигнута подвижность дырок до $1,46 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Это значение, полученное в полностью экологически чистой системе, демонстрирует потенциал каррагинана для применения в сенсорах, электрохромных устройствах и других компонентах «зелёной» электроники.

Ещё большие возможности открываются при создании гибридных нанокомпозитов. Системы каррагинан/углеродные квантовые точки (CQDs) показывают повышенную фотолюминесценцию и улучшенный перенос заряда, что делает их перспективными для активных слоёв в светодиодах, сенсорах и транзисторах [1-2].

Для иллюстрации эффекта армирования полимерной матрицы углеродными наноматериалами можно обратиться к данным по сукцинамиду хитозана (SCTS). Как показано на рисунке 1, добавление однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT) увеличивает подвижность носителей заряда с $0,173 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ у чистого SCTS до $0,713 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ в композите SCTS-SWCNT. Такое значительное усиление проводимости связано с формированием эффективной проводящей сети [3].

Аналогичный подход может быть реализован и с каррагинаном. Его сочетание с CQDs или углеродными нанотрубками способно привести к созданию материалов, сочетающих высокую подвижность, гибкость, стабильность и биосовместимость. Учитывая превосходные механические свойства и потенциал для функционализации, каррагинан является стратегической платформой для разработки следующего поколения полностью утилизируемых и печатных электронных систем [4-8].

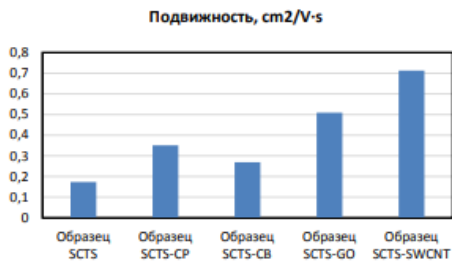


Рис. 1. Подвижность носителей заряда в композитных плёнках на основе сукцинамида хитозана

Литература

1. Zilberg R., Salikhov R., Mullagaliev I., Teres Yu., Bulysheva E., Salikhov T., Ostaltsova A., Vakulin I. *Chimica Techno Acta*. 2024. Vol. 11. No. 3. Art. 202411302.
2. Salikhov R., Zilberg R., Mullagaliev I., Salikhov T., Teres Yu.B., Bulysheva E., Ostaltsova A. *Current Nanomedicine*. 2025. Vol. 15. No. 1. Pp. 70-79.
3. Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., Ostaltsova A. D., Vazhdaev K. V. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2024. No. 4. Pp. 12-24.
4. Bazunova M. V., Salikhov R. B., Teregulov T. B., Mullagaliev I. N., Salikhov T.R., Safargalin I.N., Ostaltsova A.D. *Journal of Applied Chemistry*. 2024. Vol. 97. No. 4. Pp. 347-353.
5. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., Mullagaliev I. N. *Vestnik Bashkirskogo Universiteta*. 2024. Vol. 29. No. 2. Pp. 75-79.
6. Salikhov R. B., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2025. Vol. 89. No. 3. Pp. 386-390.
7. Salikhov R. B., Yumalin T. T., Ostaltsova A. D., Salikhov T. R., Mullagaliev I. N. *Vestnik Bashkirskogo Universiteta*. 2025. Vol. 30. No. 1. Pp. 13-18.
8. Salikhov R. B., Mullagaliev I. N., Salikhov T. R., Ostaltsova A. D. *Izvestiya Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2025. No. 1. Pp. 31-38.

© Салихов Р.Б., Козин К.Д., Остальцова А.Д., 2025

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПЛЕНКИ, ФОТОАКТИВНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ

Салихов Т.Р., Лазарев Н.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В данной работе представлены фотолюминесцентные плёнки и фотоактивные слои на основе пол-2-(1-метилбут-2-ен-1-ил)анилина для органических тонкоплёночных фоторезисторов. Материалы показали высокую фоточувствительность и отклик, превосходящие аналоги на основе полииндола [1-2]. Ключевые параметры были оценены при УФ-облучении, что подтверждает эффективность материала в генерации носителей заряда. Полученные образцы демонстрируют стабильность фотопроводимости при подаче световых импульсов, что делает их перспективными для фотодетекторов и оптоэлектронных устройств [3].

На рис. 1а показано, что проводимость плёнок слабо зависит от напряжения, а на рис. 1б — что под освещением фототок возрастает примерно в 40 раз (от ~50 нА до ~2 мкА при 10 В).

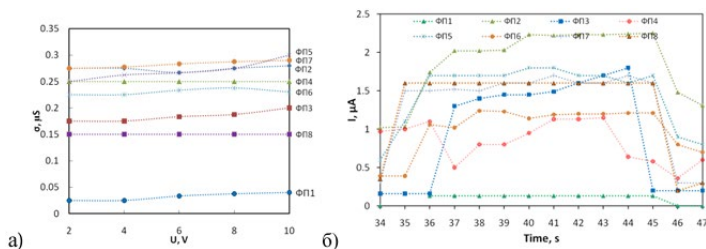


Рис. 1. (а) Проводимость образцов пленок, (б) кинетика фототока от времени облучения

Благодаря совместимости с методами печатной электроники полученные плёнки могут применяться в фоторезисторах для систем безопасности и оптической памяти, превосходя материалы, требующие инертных условий.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (код научной темы FZWU-2023-0002).

Литература

1. Salikhov, R. B., Yumalin, T. T., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Mullagaliev, I. N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta, 2025, vol. 30, no. 1, pp. 13–18.

2. Salikhov, R. B., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R. // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya, 2025, vol. 89, no. 3, pp. 408–413.

3. Bazunova, M.V., Salikhov, R.B., Teregulov, T.B., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Safargalin, I.N., Ostaltsova, A.D. // Zhurnal Prikladnoi Khimii, 2024, vol. 97, no. 4, pp. 347–353.

© Салихов Т.Р., Лазарев Н.А., 2025

УДК 539.23

МАКЕТ УМНОГО ДОМА: СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Салихов Р.Б., Муллағалиев И.Н., Миннеахметов Д.И., Баджассилона Б.Г.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В данной работе представлен макет умного, состоящая построенный на базе микроконтроллера Arduino Uno – из наиболее популярных платформ для разработки систем автоматизации и прототипирования решений в области Интернета (рис.1). В схему включены ключевые компоненты, умного дома: PIR-датчик движения, установленный в верхней части макета, который фиксирует наличие человека по тепловому излучению; звуковой сигнализатор (зуммер), предназначенный для подачи звукового сигнала при включении системы; набор светодиодов (красного, зелёного и синего цветов), обслуживающих функцию визуальной индикации различных режимов работы; модульный реле, позволяющий управлять электроприборами с более низким напряжением, такими как лампы, обогреватели или бытовая техника; а также монтажная плата (макет), на которой осуществляется соединение всех элементов с помощью проводов. Все компоненты соединяются между собой и подключаются к микроконтроллеру.

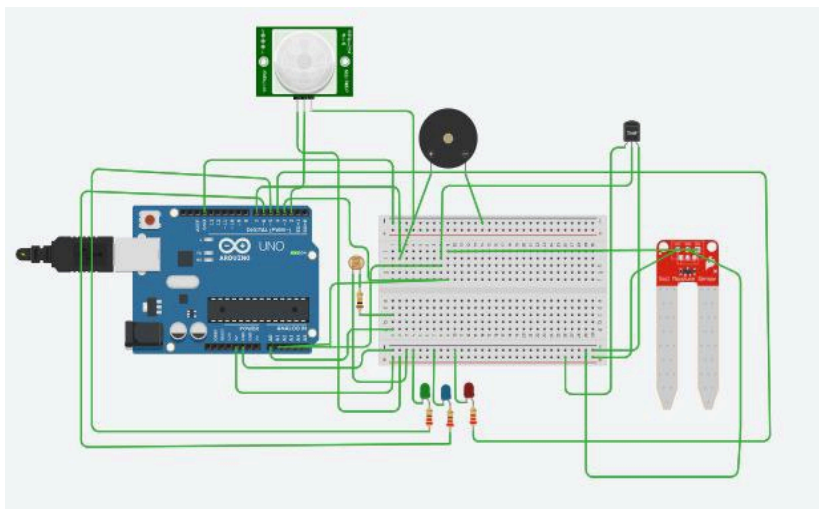


Рис. 1. Схема прототипа умного дома на базе микроконтроллера Arduino UNO. Система включает в себя PIR-датчик движения, светодиоды, зуммер и реле, подключаемые через монтажную плату

Такой макет можно использовать в качестве учебной модели для понимания работы умных систем, а также в качестве основы для разработки новых решений в жилых помещениях, с использованием сенсорных устройств [1-5]. Умный дом необходим для повышения уровня комфорта, безопасности и комфортности повседневной жизни. Он позволяет автоматизировать рутинные процессы – включение и выключение света в зависимости от присутствия людей, контроль за состоянием помещений (температура, освещённость, утечка воды или газа), а также своевременно реагировать на потенциальные угрозы, такие как несанкционированное проникновение или пожар. В перспективе такие системы интегрируются с голосовыми помощниками (например, «Маруся» от VK, «Салют» от Сбера), облачными и мобильными приложениями, которые позволяют удаленно управлять домом и создавать адаптивную, интеллектуальную среду, ориентированную на поведение и привычки жильцов.

Литература

1. Базунова М. В., Салихов Р. Б., Терегулов Т. Б., Муллағалиев И. Н., Салихов Т. Р., Сафаргаллин И. Н., Остальцова А. Д. Нанокompозитные тонкопленочные материалы на основе полисахаридов и наночастиц иодида серебра для использования в сенсорных устройствах // *Žurnal prikladnoj himii*, 2024, v. 97, №. 4, pp. 347-353.

2. Салихов Р. Б. Остальцова А. Д., Салихов Т. Р. Электронные газовые сенсоры на основе полимерных и нанокompозитных материалов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2025. Т. 89, № 3. С. 408-413.

3. Юмалин Т. Т., Салихов Р. Б., Салихов Т. Р. Разработка и исследование материалов на основе углеродных нанотрубок и полианилинов для создания новых электронных устройств // Известия Уфимского научного центра РАН. 2025. № 1. С. 39-44.

4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. Nanocomposite thin-film structures based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide with SWCNT // Письма о материалах, 2023, v. 13, pp. 132-137.

5. Safargalin I. N., Badretdinov B. R., Salikhov R. B. Study of the environmental influence on the electrophysical properties of a pani glove box // Инновационные материалы и технологии: материалы, 2024, p. 221.

© Салихов Р. Б., Муллағалиев И.Н.,
Миннеахметов Д.И., Баджассилона Б.Г., 2025

УДК 538.911

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПОЛИАЗУЛЕНОВЫХ НАНОЛЕНТ

Соковнин А.Д., Грешняков В.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Графеновые ленты представляют собой линейные фрагменты графеновых слоев, которые являются перспективными элементами наноэлектронных устройств, а также могут быть предшественниками для получения алмазоподобных соединений [1, 2]. Так как графен имеет множество полиморфных разновидностей [3], то большой интерес представляет поиск графеновых лент новых структурных разновидностей. В данном исследовании проведен анализ и расчет структуры графеновых лент полиазуленового типа.

Одним из возможных способов получения новых графеновых лент является полимеризация молекул азулена. Процесс построения заключался в образовании связей между соседними молекулами вдоль их оси с учетом двух вариантов ориентации каждой молекулы. Ширина рассматриваемых графеновых лент не превышала 8 Å.

Расчеты полуэмпирическим методом РМЗ показали, что большинство полиазуленовых лент не являются плоскими. В нанолентах, кроме исходных 5- и 7-угольных звеньев, также могут формироваться 6-угольные звенья. Структура наиболее устойчивой наноленты приведена

на рисунке 1 и является промежуточной между обычной графеновой лентой и лентой из графена L_{5-7a} .

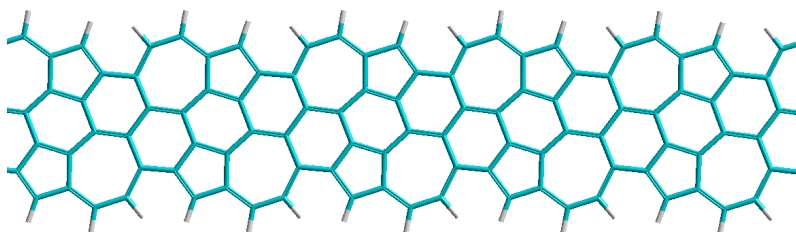


Рис. 1. Фрагмент полиазуленовой графеновой ленты

Литература

1. Greshnyakov, V. A., Belenkov, E. A. // Letters on Materials, 2019, v.9, pp.428-432
2. Грешняков, В. А., Беленков, Е. А. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов, 2019, т.11, с. 458-465
3. Беленков, Е. А., Грешняков, В. А. // ФТТ, 2013, т.55, с. 1640-1650

© Соковнин А.Д., Грешняков В.А., 2025

УДК 543.552.054.1

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРЕПАРАТОВ ТИМОЛОЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЯЗЫКА

Булышева Е.О., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Тимолола малеат – это лекарственное средство, относящееся к группе β -адреноблокаторов. Он широко применяется в офтальмологии для снижения внутриглазного давления при глаукоме и других офтальмологических состояниях, связанных с повышенным ВГД. Данный препарат выпускается множеством фармацевтических компаний, что делает важным контроль его качества и содержания активного вещества различных форм выпуска.

В данном исследовании разработана мультисенсорная система «электронный язык» [1] на основе стеклоглеродных электродов, модифицированных полиэлектролитным комплексом хитозана N-сукцинил-хитозана с алюмосиликатными (MFI, BEA, FAU, CHA) и алюмофосфатными (AEL, AFI) цеолитами для идентификации фармацевтических препаратов «Тимолол» следующих производителей:

Окупрес-Е (АО «Кадила Фармасьютикалз Лимитед», Индия), Тимолол Реневал (АО «ПФК Обновление», Россия), Тимолол Солофарм («Гротекс ООО», Россия), Окумед (АО «Сентисс Фарма Пвт. Лтд» Индия), Тимолол-ДИА (АО «ДИАФАРМ Институт молекулярной диагностики», Россия), Тимолол МЭЗ (АО «Московский эндокринный завод», Россия), Тимолол Белмедпрепараты (АО «Белмедпрепараты», Беларусь). Хемометрическая обработка вольтамперометрических данных показала, что полученная трехсенсорная система позволяет точно определить препараты тимолола по производителю. Доля правильно распознанных образцов составила 100%, а ошибки второго рода не превысили 20%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 23-73-00119.

Литература

1. Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Teres, Y. B., Volkova, A. A., Ishmakaeva, G. I., Mukhametdinov, G. R., Vakulin, I. V. // *Chimica Techno Acta*, 2025. v. 12 (2), pp. 12204.

2. Вольтамперометрическая идентификация многокомпонентных растворов с использованием метода главных компонент / А. В. Сидельников, Р. А. Зильберг, Ф. Х. Кудашева [и др.] // *Журнал аналитической химии*. 2008. Т. 63, № 10. С. 1072-1078.

© Булышева Е.О., Зильберг Р.А., 2025

УДК 539.23

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЕНСОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Салихов Р.Б., Миннеяхметов Д.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полианилин (ПАНИ) – один из самых изученных и востребованных электропроводящих полимеров, обладающий уникальным сочетанием свойств: способностью к окислительно-восстановительным превращениям, кислотно-основной активностью, электронной и ионной проводимостью, а также высокой химической и термической устойчивостью [1]. Благодаря этому он широко применяется в энергосберегающих технологиях, для экранирования электромагнитных волн, создания антистатических и проводящих покрытий, а также в качестве эффективного ингибитора коррозии.

Данная работа направлена на модификацию анилиновых мономеров с различными функциональными группами с целью выявления влияния структуры заместителя на свойства получаемых полимеров [2] В рамках работы был синтезирован и детально охарактеризован ряд новых

производных полианилина на основе орто-замещённого анилина – 2-(1-methylbut-2-en-1-yl) анилина. Структура и химический состав полученных полимеров подтверждены с помощью элементного анализа, ЯМР спектроскопии протонов и УФ-видимой спектроскопии.

Важным преимуществом ПАНИ и его производных, позволяющим использовать их в различных областях техники, является то, что их физико-химические параметры зависят от химического состава окружающей среды. Газовые сенсоры считаются одним из перспективных направлений применения полимеров на основе ПАНИ [3]. В связи с этим полученные полимеры Р-МВ, Р-АР и Р-РА были использованы в качестве чувствительных материалов в резистивных датчиках. Результаты представлены на рис. 1.

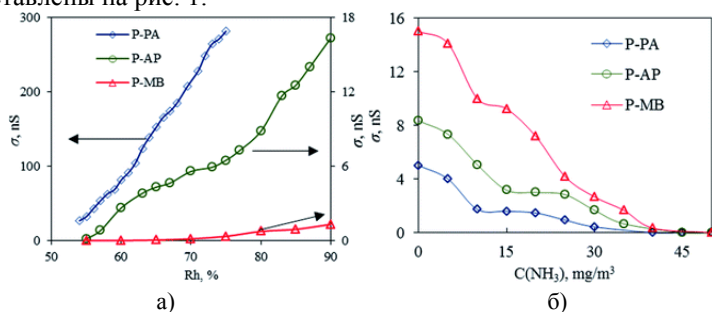


Рис. 1. Графики зависимости проводимости пленок Р-РА, Р-АР и Р-МВ: а) от влажности воздуха, б) от концентрации паров аммиака

На основании данных сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) можно предположить, что полимер Р-РА (рис. 1 (а)) обладает повышенной реакционной способностью по отношению к летучим химическим соединениям в воздушной среде, поскольку характеризуется более развитой удельной поверхностью. Именно Р-РА продемонстрировал максимальную проводимость плёнки в условиях повышенной влажности (рис. 1 (б)). Увеличение электропроводности полимерной пленки с увеличением влажности окружающей среды обусловлено увеличением подвижности легирующего иона, слабо связанного с полимерной цепью силами Ван-дер-Ваальса. При насыщении окружающей среды влагой полимерная плёнка адсорбирует воду, что вызывает её набухание и раскручивание изначально компактной спиральной конформации полимерных цепей. Формирование более упорядоченной структуры производного ПАНИ способствует переносу заряда по полимерной цепи. Насыщение полимера влагой сопровождается образованием комплекса за счет передачи неподеленной электронной пары от атома азота полимера к молекулам воды. Результаты измерения вольт-амперных характеристик подтверждают предположение о том, что подвижность носителей заряда вдоль отдельных полимерных

цепей и по соседним цепям высока благодаря геометрически упорядоченной, плотноупакованной структуре полимерных цепей. Р-МВ характеризуется неупорядоченной структурой и высокой дефектностью, что обеспечивает повышенную реакцию на пары аммиака (рис. 1).

Модификация анилина орто-заместителем позволяет целенаправленно регулировать структуру и функциональные свойства полианилиновых производных. Результаты подтверждают перспективность структурного дизайна ПАНИ для создания материалов под конкретные задачи – от проводящих покрытий до газовых датчиков.

Литература

1. Салихов Р. Б., Остальцова А. Д., Салихов Т. Р. Электронные газовые сенсоры на основе полимерных и нанокомпозитных материалов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 408-413

2. Latypova L. R., Andriianova A. N., Usmanova G. S., Salikhov R. B., Mustafin A. G. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline Polymer International. 2023. Т. 72. № 4. С. 440-450. 25.

3. Салихов Р. Б., Юмалин Т. Т., Остальцова А. Д., Салихов Т. Р., Муллағалиев И. Н. Исследование фотопроводимости тонких пленок на основе производных полианилина // Вестник Башкирского университета. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 13-18.

© Салихов Р.Б., Миннеахметов Д.И., 2025

УДК 539.23

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Салихов Р.Б., Баджассилона Б.Г., Миннеахметов Д.И.,
Муллағалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Полимерные наноэлектронные устройства в виде химических сенсоров широко используются для мониторинга окружающей среды и параметров здоровья человека. Их преимущества – гибкость, низкое энергопотребление и простота изготовления – делают органические композиты перспективными чувствительными слоями. В частности, сенсорные свойства исследуются в пленках и композитах на основе полимеров и наночастиц (углеродных нанотрубок, ионов серебра и др.), которые демонстрируют чувствительность к газам, температуре и влажности [1].

Газочувствительность: это свойство материалов менять проводимость при взаимодействии с газом. Яркий пример: гибридные пленки на основе

полисахаридов с наночастицами AgI, которые реагируют на аммиак (5–50 мг/м³) резким спадом сопротивления. Чувствительность обеспечивается именно иодидом серебра, так как чистые полимеры не реагируют на газ.

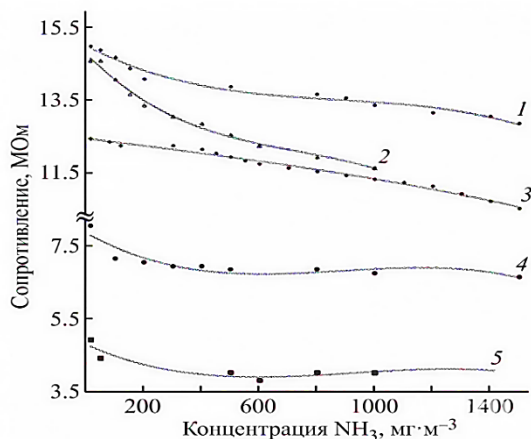


Рис. 1. Зависимость электрического сопротивления пленок от концентрации паров аммиака: хитозан 1%–AgI–глицерин 0.175%, натрийкарбоксиметилцел-люлоза 2%–AgI–глицерин 0.35%, натриевая соль N-сукцинилхитозана 1%–AgI, натрийкарбоксиметил-целлюлоза 0.5%–AgI–глицерин 0.175%, натриевая соль N-сукцинилхитозана 2%–AgI [1]

Электрочувствительность: изменение электропроводности материала под действием внешних факторов (электрических полей, напряжения и др.). Исследуются вольт-амперные характеристики и вычисляются параметры проводимости. Например, в полевых транзисторах с активным слоем на основе смеси эпоксидных смол и УНТ были измерены ВАХ и рассчитана подвижность носителей, что позволяет оценивать электрочувствительность композита [2-4].

Температурная чувствительность: изменение электропроводности с температурой, характерное для полупроводниковых и органических наноматериалов. В проведённых работах оценивались температурные зависимости сопротивления пленок и транзисторов (например, полимерные системы нередко имеют термическую активацию проводимости), однако оптимизация таких эффектов требует стабилизации нагрева/охлаждения каналов [5-6].

Влажочувствительность: изменение проводимости при изменении влажности окружающей среды. Так, модифицированные полимеры (например, производные полианилина) обладают заметной чувствительностью к влажности. Морфология тонкопленок полимера

влияет на их реакцию как на аммиак, так и на водяной пар, что важно для разработки устойчивых влагочувствительных датчиков.

Литература

1. Бабунова, М. В., Бабунова, М. В., Салихов, Р. Б., Салихов, Р. Б., Терегулов, Т. Б., Терегулов, Т. Б., & Остальцова, А. Д. (2024). // *Žurnal prikladnoj himii*, 97(4), 347-353.
2. Салихов, Р. Б., Муллағалиев, И. Н., Остальцова, А. Д., & Важаев, К. В. (2024). // *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*, (4), 12-24.
3. Салихов Р. Б. Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2025. Т. 89, № 3. С. 408-413.
4. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. // *Письма о материалах*, 2023, v. 13, pp. 132-137
5. Salikhov, R. B., Zilberg, R. A., Bulysheva, E. O., Ostaltsova, A. D., Salikhov, T. R., Teres, Y. B. // *Письма о материалах*, 2023, v. 13, pp. 132-137.
6. Safargalin I. N., Badretdinov B. R., Salikhov R. B. // *Инновационные материалы и технологии: материалы*, 2024, p. 221.

© Салихов Р.Б., Баджассилона Б.Г.,
Миннехметов Д.И., Муллағалиев И.Н., 2025

УДК 631.387

АВТОНОМНЫЙ IoT-КОМПЛЕКС ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (AgroIoT)

Абдрахманов В.Х., Бурханова А.Д.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Сельское хозяйство представляет собой фундаментальный компонент обеспечения глобальной продовольственной безопасности и экономического развития. Вместе с тем, традиционные агротехнологические практики зачастую характеризуются ресурсоемкостью и оказывают негативное воздействие на состояние окружающей среды. В данной связи, актуализируется проблема внедрения инновационных технологий, направленных на повышение устойчивости и продуктивности аграрного сектора.

Перспективным направлением в данном контексте выступает применение технологий Интернета вещей (IoT), позволяющих автоматизировать сбор и анализ данных для последующей оптимизации агропромышленных процессов. Сенсорные устройства IoT обеспечивают

мониторинг критически важных параметров, включая температурные показатели, уровень влажности почвы, интенсивность освещения, а также состояние здоровья скота. Это создает условия для оперативной адаптации к изменяющимся условиям и повышает эффективность управления ресурсами.

В Российской Федерации уже апробированы отдельные решения, такие как система AgroIntellect. AgroIntellect – это система для управления молочной фермой, которая расширяет возможности управления стадом, обеспечивает доступ к данным в реальном времени и интеграцию с другими системами, использующая технологию Wi-Fi. Однако, применение решений на базе Wi-Fi сопряжено с рядом ограничений, в числе которых – повышенное энергопотребление и ограниченный радиус действия, что снижает их целесообразность для крупномасштабных сельскохозяйственных предприятий [1-2].

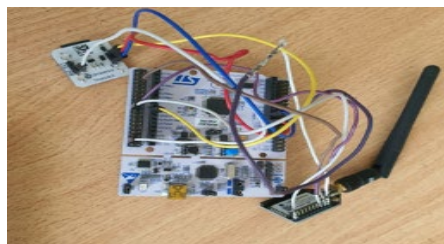


Рис. 1. Макетный образец сканера, с использованием технологии iBeacon (BLE) и приемопередатчика RAK811

В целях нивелирования указанных ограничений предлагается к внедрению многофункциональный аппаратно-программный комплекс на основе технологии LoRaWAN, которая обеспечивает передачу данных на значительные расстояния при низком энергопотреблении, что определяет ее высокую применимость в агропромышленном комплексе.

В качестве платформы для агрегации и обработки данных предполагается использование облачной системы Rightech IoT Cloud (RIC), обеспечивающей интеграцию IoT-устройств без необходимости разработки сложного программного обеспечения.

Особое внимание в рамках исследования уделено разработке макетного образца «Цифровой сотрудник», интегрирующего технологии iBeacon (BLE) и LoRaWAN. Устройство состоит из сканирующего модуля и маячка, взаимодействующих через облачный сервис Rightech.iot Маячок, питаемый от батареи, может быть применен для мониторинга персонала, животных или материальных активов (рис. 1.). В случае изменения местоположения или выхода объекта из зоны

действия сканирующего устройства система инициирует отправку уведомлений посредством Telegram-бота [3-5].

Таким образом, представленный проект демонстрирует потенциал конвергенции технологий IoT и LoRaWAN для трансформации агропромышленного комплекса, способствуя переходу к точному, ресурсоэффективному и экологически устойчивому сельскому хозяйству.

Внедрение предложенного комплекса позволит оптимизировать сельскохозяйственные процессы, снизить операционные затраты и минимизировать антропогенную нагрузку на агроэкосистемы. Использование энергоэффективных протоколов связи и облачных вычислений открывает новые возможности для дистанционного управления и автоматизации, что является значимым в условиях растущего спроса на высокотехнологичные и устойчивые решения в агрофере.

Литература

1. Salikhov R. B., Abdrakhmanov V. K., Safargalin I. N. Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM //Journal of Physics: Conference Series., IOP Publishing., 2021. Т. 2096. № 1. p. 012109
2. Abdrakhmanov V. K., Salikhov R. B., Zinnatulina A. A. Research of the Implementation Possibility of the Precise GPS Positioning Technology // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE. 2021. с. 234-238
3. Abdrakhmanov V. Kh., Vazhdaev K. V. and Salikhov R. B. Investigation of the possibility of implementing precise positioning technology // Electrical and information complexes and systems. 2019. V. 15. pp.118-129.
4. Rightech IoT Cloud. URL: <https://rightech.io/> (дата обращения: 13.04.2015)
5. Юмалин, Т. Т., Салихов, Р. Б., Абдрахманов, В. Х., Салихов, Т. Р., Важдиев, К. В., & Мунтянова, Т. Д. (2023). Беспроводная система контроля качества окружающей среды. Нефтегазовое дело, 21(3), 232-242.

© Абдрахманов В.Х., Бурханова А.Д., 2025

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Салихов Р.Б., Иванов В.И.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Углеродные волокна в будущем могут заменить традиционные материалы (в том числе металлы) в виде композитов, так как в последние десятилетия наблюдается увеличение числа научных статей, посвященных синтезу и получению углеродных материалов, и изучению их свойств. Транзистор на основе многослойных углеродных нанотрубок - MWCNTs (рис. 1) изготавливают на стеклянной подложке, контактом затвора служит пленка оксида индия, диэлектрик затвора сделан в виде пленки оксида алюминия с толщиной 390 нм путем центрифугирования из раствора при 1900 об/мин и отжига в печи при 320 С в течении 130 мин. Контакты сток-исток делают из алюминиевой фольги 300 нм и наносят поверх диэлектрика. Отличие от обычных полевых транзисторов – методом термического напыления в вакууме наносится пленка MWCNTs толщиной 200 нм в области зазора. Эта толщина определяется с помощью СЗМ Nanoeducator II. Были измерены вольтамперные характеристики и рассчитаны подвижности носителей заряда.

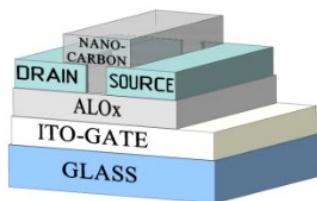


Рис. 1. Структура транзистора на основе MWCNTs

Полевые транзисторы являются перспективными материалами для молекулярной электроники, ведь их преимущество в отличие от обычных транзисторов на основе кремния заключается в более высокой подвижности зарядов, низком электропотреблении и возможности работы на гибких подложках [1-2].

Литература

1. Mustafin, I. A., Akhmetov, A. F., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. A., Salikhov, T. R., Galiakhmetov, R. // *Chimica Techno Acta* v. 11(4), p. 123.
2. Salikhov, R.B., Mustafin, A.G., Mullagaliev, I.N., Salikhov, T.R., Andriianova, A.N., Latypova, L.R., Sharafullin, I.F. // *Materials* v. 15(1), p. 228.

© Салихов Р.Б., Иванов В.И., 2025

РАЗРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Салихов Р.Б., Фролов В.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Перспективны композитные тонкие пленки на основе сукцинамида хитозана (SCTS) с углеродными наполнителями (GO, SWCNT, углеродные адсорбенты). Они демонстрируют высокую площадь поверхности и скорость переноса электронов. Наибольшая подвижность носителей заряда ($0,713 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$) достигнута в образце SCTS-SWCNT, что в 4 раза превышает показатель чистого SCTS [1,2].

Основу датчика составляет структура полевого транзистора (Рис. 1), включающая стеклянную подложку, диэлектрический слой AlO_x , электроды истока и стока, а также полупроводниковый композитный слой, нанесенный в зазор между электродами.

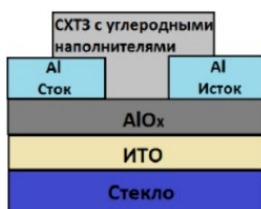


Рис. 1. Структура экспериментального полевого транзистора

Эта конструкция позволила обеспечить стабильный и воспроизводимый отклик на изменение концентрации аммиака в широком диапазоне. Для детектирования паров аммиака датчик помещался в измерительную камеру с контролируемой концентрацией аммиака, а измерения проводились с использованием сенсора MQ135, подключенного к плате STM32 Nucleo [3].

Литература

1. Salikhov R.B., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Ostaltsova A.D. // Izvestiya Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2025, no. 1. pp. 31-38.
2. Salikhov R.B., Yumalin T.T., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R., Mullagaliev I.N. // Vestnik Bashkirskogo Universiteta. 2025. vol. 30. no. 1. pp. 13-18.
3. Salikhov R.B., Ostaltsova A.D., Salikhov T.R. // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya. 2025. vol. 89. no. 3. pp. 408-413.

© Салихов Р.Б., Фролов В.В., 2025

**РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ТИПА
«ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК» ДЛЯ КОНТРОЛЯ АТЕНОЛОЛ
СОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ**

Волкова А.А., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

На фармацевтическом рынке ежегодно растёт доля дженериков, что требует усиленного контроля их качества. Перспективное решение – разработка мультисенсорной системы «электронный язык» [1,2]. Принцип работы таких систем основан на использовании комплекса неспецифических химических сенсоров с низкой избирательностью, которые характеризуются стабильностью показаний и способностью реагировать на разнообразные компоненты в растворах. Особую эффективность данная технология демонстрирует при применении методов многомерного анализа данных [2], что обеспечивает возможность детального изучения качественных и количественных характеристик исследуемых образцов препаратов.

Данная работа направлена на создание мультисенсорной системы для распознавания энантиомеров атенолола. В качестве основы для системы выступал пастовый электрод из графитированной термической сажи Carboblack C, модифицированной хиральными комплексами никеля (II) ((S)-2-(N-бензилпролил)аминобензофенона, глицина (S)-Ni1 и (S)-2-аминогептановой кислоты (S,S)-Ni2). Обработка массива вольтамперометрических данных проводилась с помощью хемометрических методов МГК и SIMCA. Для проверки системы были использованы модельные растворы чистых энантиомеров атенолола и их рацемической смеси. По результатам данных SIMCA классификации следует, что необходимая эффективность определения энантиомеров атенолола достигается при использовании разработанной мультисенсорной системы. При идентификации энантиомеров с использованием двухсенсорной системы исключаются ошибки первого и второго рода.

Литература

1. Zilberg R. A., Teres Y. B., Bulysheva E. O. [et al.] // *Electrochimica Acta*. – 2025. – Vol. 529. – P. 146309.
2. Zilberg R., Salikhov R., Mullagaliev I. [et al.] // *Chimica Techno Acta*. – 2024. – Vol. 11, No. 3. – P. 202411302.

© Волкова А.А., Зильберг Р.А., 2025

**ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИМОЛОЛА
НА КОМПОЗИТНОМ СЕНСОРЕ СУЭ/ПЭК@MFI**

Макарычева К.В., Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для эффективного композитного сенсора в электрохимическом анализе важен правильный выбор материалов, обеспечивающих высокую чувствительность, селективность и стабильность. В работе использованы цеолиты типа MFI [1-3] и полиэлектролитный комплекс хитозана. Цеолиты MFI, такие как ZSM-5, имеют микропористую структуру и высокую удельную поверхность, что увеличивает эффективную поверхность сенсора. Для изучения электрохимических свойств предложенного сенсора были выполнены вольтамперометрические и импедиметрические исследования с использованием в качестве редокс-зонда эквимольной смеси ферри- и ферроцианидов калия. Добавление цеолита в состав модификатора приводит к увеличению эффективной площади поверхности сенсора и к уменьшению сопротивления переносу заряда, в сравнении с сенсором, модифицированным ПЭК. Изучены аналитические характеристики предложенного сенсора: установлен линейный диапазон концентраций от $5 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ М. Коэффициент корреляции близок к 1 (0.997). Пределы обнаружения тимолола, рассчитанные по 3s и 10s-критериям составляют: LOD = $9.6 \cdot 10^{-7}$ и LOQ = $2.9 \cdot 10^{-7}$ соответственно. Предложенный сенсор был успешно апробирован для определения тимолола в модельных растворах и в фармацевтических препаратах.

Литература

1. Zilberg, R.; Teres, Yu.; Agliulin, M.; Vakulin, I.; Bulysheva, E.; Sycheva, M.; Maistrenko, V. Chiral voltammetric sensor on the basis of nanosized MFI zeolite for recognition and determination of tryptophan enantiomers. *Electroanalysis* 2024, 36, e202300375.
2. Zilberg, R.; Maistrenko, V.; Teres, Yu.; Vakulin, I.; Bulysheva, E.; Seluyanov, A. A Voltammetric Sensor Based on Aluminophosphate Zeolite and a Composite of Betulinic Acid with a Chitosan Polyelectrolyte Complex for the Identification and Determination of Naproxen Enantiomers *Journal of Analytical Chemistry* 2023, 78, 933-944.
3. Synthesis of Granular Free-Binder ZSM-5 Zeolites Using Different Amorphous Aluminosilicates / A. Kh. Ishkildina, O. S. Travkina, D. V. Serebrennikov, R. A. Zilberg, A. I. Malunov, N. A. Filippova, B. I. Kutepov, M. R. Agliullin // *Surfaces*, 2025, 8, No. 1.

**РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭНАНТИОМЕРОВ АТЕНОЛОЛА**

Траоре М., Волкова А.А., Савельева А.С., Кузьминых А.А., Зильберг Р.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Применение мультисенсорного подхода представляет собой перспективное решение для обеспечения контроля качества энантимерно чистых препаратов [1]. Разработана мультисенсорная система на основе пастового электрода модифицированного хиральными комплексами никеля (II) на основе (S)-2-(N-бензилпролил)аминобензофенона и глицина (S)-NiI и (S)-2-аминогептановой кислоты (S,S)-Ni2. Комплексные соединения переходных металлов [1-5] придают сенсору способность селективно детектировать аналитический сигнал энантиомеров аналита. Разработанные сенсоры обладают хорошей стабильностью, высоким коэффициентом энантиоселективности (1,52-1,60), разностью потенциалов ($\Delta E_p = 20 \text{ мВ}$). Способность к распознаванию энантиомеров атенолола по их природе достигается с помощью хемометрической обработки вольтамперометрических данных. МГК позволяет относить образцы по природе энантиомеров на основе корреляционных зависимостей между образцами. SIMCA оценивает эффективность распознавания, а также определяет значения ошибок распознавания первого и второго рода.

Литература

1. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carboblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta* 2025, 529, 146309.
2. Синтез и применение хелатных комплексов $[\text{Zn}(\text{E-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})]$ И $[[\text{Zn}(\text{Z-ARG})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ -в качестве хиральных селекторов / Р. Р. Гизатов, Ю. Б. Терес, М. Н. Галимов [и др.] // *Координационная химия*. – 2025. – Т. 51, № 5. С. 315-326
3. Chiral Cobalt(III) Complexes Based on (1R,2R)-Cyclohexanediamine and 4-Bromo-5-methylsalicylaldehyde: Synthesis, Modification, and Application in Catalysis and Enantioselective Sensors / O. V. Khromova, A. F. Smol'yakov, R. A. Zil'berg [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2025. Vol. 51, No. 3. P. 200-210.
4. Synthesis and Application of Chelate Complexes $[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})]$ and $[[\text{Zn}(\text{L-arg})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{SO}_4)]_2$ – as Chiral Selectors / R. R. Gizatov, Yu. B. Teres, M. N. Galimov [et al.] // *Russian Journal of Coordination Chemistry*. 2025. Vol. 51, No. 2. P. 119-128

5. Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, I. V. Vakulin [et al.] // *Chirality*. 2025. Vol. 37, No. 2. P. e70025

© Траоре М., Волкова А.А., Савельева А.С.,
Кузьминых А.А., Зильберг Р.А., 2025

UDC 543.552

MULTISENSOR SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF NAPROXEN PHARMACEUTICALS BY MANUFACTURER

Traore M., Filippova A.M., Emasheva A.A., Vakhova M.R., Zilberg R.A.
Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Identification of the pharmaceutical drug "Naproxen" by manufacturer is an important part of drug quality control. Naproxen is a common active ingredient among non-steroidal anti-inflammatory drugs, therefore, to determine products that meet established quality standards, a high-performance, affordable and easy-to-use method is needed to identify samples of pharmaceuticals by manufacturer. We have developed a multisensor system [1,2] based on a set of glassy carbon electrodes in combination with the necessary modifiers that give the sensor the ability to detect the analytical signal of not only the active substance - naproxen, but also excipients and possible impurities in the composition of tablet dosage forms. Cross-sensitivity to various components included in the composition of tablet forms of naproxen is ensured by applying carbon modifiers of various structures to the working surface of the electrode: single-wall carbon nanotubes, graphene oxide, CarbolblackC, Carbopack. The use of PCA allows us to classify samples by manufacturer based on correlation dependencies between samples, their nature, as well as the qualitative and quantitative content of the main and auxiliary components. SIMCA classification evaluates the efficiency of sample identification and determines the values of identification errors of the first and second kind. Thus, it is the combination of the PCA and SIMCA classification that allows achieving effective identification of tablet forms of the pharmaceutical drug "Naproxen" by manufacturer. It follows from the SIMCA classification data that when using 1-, 2- and 3-sensor systems, errors of the first and second kind are observed. When identifying samples using a 4-sensor system, classification errors are excluded.

References

1. A chiral Ni(II) complex immobilized on Carbolblack C as a readily available and effective enantioselective voltammetric sensor for recognition of atenolol enantiomers in real samples / R. A. Zilberg, Y. B. Teres, E. O. Bulysheva [et al.] // *Electrochimica Acta* 2025, 529, 146309.

2. Zilberg, R.; Bulysheva, E.; Teres, Y.; Volkova, A.; Ishmakaeva, G.; Mukhametdinov, G.; Vakulin, I. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer. *Chimica Techno Acta* 2025, 12, 12204.

© Traore M., Filippova A.M., Emasheva A.A.,
Vakhova M.R., Zilberg R.A., 2025

УДК 543.552.054.1

КОМПЛЕКСЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ДИЗАЙНЕ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Терес Ю.Б., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Комплексы переходных металлов с хиральными лигандами открывают новые горизонты в аналитической химии, служа основой для разработки энантиоселективных вольтамперометрических сенсоров (ЭВС) [1-2]. Благодаря сочетанию переходных металлов и хиральных лигандов различного происхождения эти комплексы позволяют с высокой точностью распознавать и определять энантиомеры биологически активных соединений.

Разработаны ЭВС на основе комплексов переходных металлов с хиральными лигандами природного и синтетического происхождения. Установлено, что гидрофильные комплексы с природными лигандами [1] демонстрируют превосходные характеристики при иммобилизации на стеклоуглеродных электродах с использованием полиэлектrolитных комплексов (хитозана и N-сукцинил-хитозана) или полиариленфталида. С другой стороны, гидрофобные комплексы с синтетическими лигандами [2] продемонстрировали высокую совместимость с графитированной термической сажей CarboblackC и связующим веществом (сквалан), что позволило создавать пастовые электроды. Разработанные ЭВС продемонстрировали свою высокую применимость и эффективность при анализе энантиомеров триптофана, атенолола и напроксена. Предложенные сенсоры характеризуются высокой чувствительностью, исключительной стабильностью, широким линейным диапазоном, низкими пределами обнаружения и нижними границами определяемых концентраций. Разработанные сенсоры имеют потенциал для точного количественного анализа энантиомеров в различных сложных средах, включая биологические жидкости, таблетированные лекарственные формы и рацемические смеси энантиомеров.

Литература

1. Gizatov R. R., Teres Yu. B., Galimov M. N., Bulysheva E. O., Berestova T. V., Zilberg R. A. // Russian Journal of Coordination Chemistry, 2025, v. 51(2), pp. 119–128.
2. Zilberg R. A., Teres Yu. B., Bulysheva E. O., Ivanov P. Y., Vakulin I. V., Panova M. V., Medvedev M. G., Khrizanforov M. N., Maleev V. I., Larionov V. A. // Electrochimica Acta, 2025, v. 529, p. 146309.

© Теpec Ю.Б., Зильберг Р.А., 2025

UDC 543.552.054.1

VOLTAMMETRIC SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF MINERAL WATERS

Mukhametdinov Ch.R.^{1,2}, Zilberg R.A.¹, Teres Y.B.¹, Volkova A.A.¹

¹Ufa university of science and technology, Ufa, Russia

²Ionpro, Ufa, Russia

The purpose of optimizing quality control is always urgent. The problem of known methods is high cost, low rapidity and no ability of identification. The proposed system solves these problems and able to do integral evaluation. In this study new voltammetric multisensory system was developed.

To achieve the results of study three composite sensors were used: GCE/PEC@rGO, GCE/PEC@SWCNT, GCE/PEC@AuNPs. The combination of these sensors is multisensory system with cross-sensitivity. The data was processed using chemometric methods: PCA, SIMCA-classification [1-4]. PCA modeling showed clear localization of clusters of each mineral water sample. SIMCA-classification showed low error values that didn't exceed 13.3%, which indicates that the developed sensor system can be used for identification of mineral waters by brand.

The work was financially supported by the FSI contract No. 3780GSSS15-L/99367 dated 29.10.2024.

References

1. Zilberg R., Bulysheva E., Teres Y., Volkova A., Ishmakaeva G., Mukhametdinov G., Vakulin I. Voltammetric electronic tongue for identification of naproxen pharmaceuticals by manufacturer // Chimica Techno Acta. – 2025. – Vol. 12, № 2. – Art. 12204.2
2. Яркаяева Ю. А., Дубровский Д. И., Зильберг Р. А., Майстренко В. Н. Вольтамперометрические сенсоры и сенсорная система на основе модифицированных полиарилеифталидами золотых электродов для распознавания цистеина // Электрохимия. – 2020. – Т. 56, № 7. – С. 591–603.

3. Voltammetric identification of multicomponent solutions using principal components analysis / A. V. Sidel'nikov, R. A. Zil'berg, F. Kh. Kudasheva [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2008. – Vol. 63, No. 10. – P. 975-981.

4. Zilberg R. A., Teres J. B., Bulysheva E. O. [et al.] Chiral octahedral cobalt (III) complex immobilized on Carbolblack C as a novel robust and readily available enantioselective voltammetric sensor for the recognition of tryptophan enantiomers in real // Electrochimica Acta. – 2024. – Vol. 492. – P. 144334.

© Mukhametdinov Ch.R., Zilberg R.A., Teres Y.B.,
Volkova A.A., 2025

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА В ВАКУУМЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА

Кирилюк К.К.¹, Мусабилов И.И.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт проблем сверхпластичности металлов, г. Уфа, Россия

Соединения, называемые сплавами Гейслера обладают разнообразными «полезными» функциональными эффектами, такими как ферромагнитный эффект памяти формы, магнитокалорический эффект и другие. Наличие этих свойств позволяет использовать сплавы семейства при создании магнитных холодильников, микроактюаторов и других микромеханизмов. Однако применение данных соединений пока недоступно из-за наличия потери усталостной прочности при многократных циклах фазовых превращений вследствие накопления внутренних напряжений. Ранние исследования показали, что деформационно-термическая обработка и отжиг могут решить данную проблему [1]. В данной работе представлены результаты исследования влияния отжига на микроструктуру сплава Гейслера системы Ni-Mn-Ga.

Сплав был получен методом аргонно-дуговой плавки с последующей вакуумной индукционной переплавкой. После чего была проведена деформационно-термическая обработка методом всесторонней изотермическойковки. Для исследований был вырезан образец, который отжигали при температурах от 400 до 800 °С с шагом 100 °С в течение одного часа.

Исследование микроструктуры показало, что послековки структура сплава представляет собой множество мартенситных колоний размером около 200 μm, ориентированных поперёк последней осадки и окружённых мелкозернистой прослойкой с размером зерна около 5 μm. После первой ступени отжига характер структуры не претерпевает

сильных изменений, однако выяснено, что после отжига при 800°C происходит перекристаллизация сплава, размер мартенситных колоний уменьшается до 50 μm , а мелкозернистая прослойка пропадает. Ориентация колоний становится хаотичной относительно направления образца. Таким образом, выяснено, что поэтапный отжиг приводит к изменению микроструктуры сплава, а именно к уменьшению размера зерна и исчезновению мелкозернистой прослойки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН.

Литература

1. Musabirov I. I., Gaifullin R. Yu., Safarov I. M., et al. The Structure and Martensitic Transformation of Deformed Ni–Mn–Ga Alloys // *Physics of Metals and Metallography*. 2023. Vol. 124. № 11. P. 1174–1180.

© Кирилук К.К., Мусабилов И.И., 2025

УДК 539.3

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ КОМПОЗИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ ГРАФЕН/CU

Рожнова Е.А.¹, Сафина Л.Р.², Крылова К.А.², Баимова Ю.А.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

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

В настоящее время большой интерес вызывает создание новых композиционных материалов с улучшенными механическими свойствами. Одним из перспективных материалов является композит графен/металл, который демонстрирует перспективные механические свойства, что позволяет рассматривать его для повышения прочности металлических поверхностей в качестве защитных и упрочняющих покрытий. В данной работе предлагается методом молекулярной динамики (МД) исследовать композит графен/Cu в качестве нанопокрывтия для повышения твердости поверхности Cu.

Начальная структура представляет собой монокристалл Cu с размерами 15,1×15,1×5,2 нм. В качестве покрытия используется композит графен/Cu толщиной 2,4 нм. Численные эксперименты выполняются в свободно распространяемом пакете МД моделирования LAMMPS с использованием потенциалов AIREBO (используется для описания взаимодействия C-C), EAM (используется для описания взаимодействия Cu-Cu) и Леннарда-Джонса (используется для описания взаимодействия C-Cu) [1]. Для оценки твердости поверхности меди с композитным покрытием использовался метод Оливера-Фарра при температуре 10 К.

Результаты моделирования показали, что нанесение композитного покрытия на поверхность меди повышает нанотвердость меди на 6% по сравнению с твердостью монокристаллической Cu. Такой незначительный прирост твердости обусловлен изначально не очень высокой твердостью композита графен/Cu, из-за достаточно слабой силы взаимодействия между атомами графена и меди. Тем не менее, предполагается, что композит графен/Cu будет обладать хорошими трибологическими свойствами, что может привести к его использованию в качестве смазочного покрытия, уменьшающего износ деталей.

Литература

1. Safina, L. R., Rozhnova, E. A., Murzaev, R. T., Baimova, J. A. // Applied Sciences, 2023, v. 13(2), p. 916.

© Рожнова Е.А., Сафина Л.Р.,
Крылова К.А., Баимова Ю.А., 2025

УДК 539.216.2

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Салихов Р.Б., Кунысбаев И.А., Остальцова А.Д.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Исследование морфологии поверхности композитных и нанокompозитных тонкоплёночных структур на основе сукцинамида хитозана (SCTS), модифицированных различными углеродсодержащими наполнителями, показало значительное влияние структурных особенностей на электрические характеристики полевых транзисторов. С помощью атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии получены изображения поверхности плёнок, позволившие выявить различия в их структуре и связать их с электрическими характеристиками полевых транзисторов. Установлено, что шероховатость поверхности оказывает заметное влияние на площадь контакта материала с окружающей средой, что отражается на чувствительности и селективности сенсорных устройств [1-2]. Добавление углеродных нанотрубок формирует волокнистую структуру, обеспечивающую улучшенную проводимость и более высокую подвижность носителей заряда. Образцы SCTS-GO и SCTS-CP характеризуются однородной зернистой морфологией, демонстрируя средние значения электропроводности. Для SCTS-CB выявлена значительная неоднородность, объясняющая относительно низкие функциональные

показатели, тогда как чистый SCTS не формирует выраженной структуры и отличается минимальными электрическими характеристиками. Показано, что рост шероховатости увеличивает количество активных центров адсорбции, что важно при разработке газовых сенсоров. Полученные данные подтверждают: морфологический контроль на микро- и наномасштабе способен повысить стабильность работы устройств, их чувствительность и долговечность. Таким образом, управление морфологией композитных плёнок рассматривается как один из ключевых факторов создания эффективных транзисторов и сенсорных платформ нового поколения.

Литература

1. Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Ostaltsova, A. D., Vazhdaev, K. V. // *Izvestiya Tula State University. Sciences of Earth*, 2024, no. 4, pp. 12–24.
2. Bazunova, M. V., Salikhov, R. B., Teregulov, T. B., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., Safargalin, I. N., Ostaltsova, A. D. // *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, 2024, vol. 97, no. 4, pp. 347–353.

© Салихов Р.Б., Кунысбаев И.А., Остальцова А.Д., 2025

УДК 517.9, 519.633

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЕРОВСКИТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК

Баранов В.С., Закиров К., Муллагалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В представленной работе проведен комплексный анализ современного состояния и перспектив развития перовскитной фотовольтаики, конкурента органической [1-2]. Особое внимание уделено фундаментальным аспектам деградационных процессов и инновационным подходам к их подавлению [3].

Согласно теории перовскитовые материалы обладают хорошими электрическими свойствами, их фундаментальное преимущество в уникальной кристаллической структуре ABX_3 которая обеспечивает Экстремально высокие коэффициенты поглощения ($>10^5 \text{ см}^{-1}$), регулируемую ширину запрещенной зоны (1,2-2,3 эВ), длинную диффузионную длину носителей ($>1 \text{ мкм}$) [4].

Был достигнут коэффициент полезного действия 33,7% в 4-терминальных tandemных структурах (NREL, 2024), разработаны вакуум-свободные методы осаждения с контролем стехиометрии на молекулярном уровне, созданы прототипы с $T_{80} > 10,000$ часов при 85°C

и полном солнечном освещении. Эффективность солнечных ячеек на основе перовскитов продолжает расти [5].

Одной из сложностей является ионная миграция и фазовая сегрегация, установлена корреляция с дефектностью границ зерен, предложены методы пассивации наноразмерными углеродными структурами.

Литература

1. Salikhov R. B., Biglova Yu. N., Salikhov T. R., Yumaguzin Yu. M. // *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*. 2015. Т. 9. № 6. С. 792-794.
2. Муллағалиев И. Н., Сафарғалин И. Н., Салихов Т. Р. // В сборнике: Актуальные вопросы современного материаловедения, 2020, с. 239-243.
3. Apon I. A. et al. // *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 2025, pp. 1-26.
4. Овсянников А. А. // *Достижения науки и образования*, 2017, №. 6 (19), с. 18-21.
5. Печерская Р. М. // *Молодой учёный*, 2015, т. 4, с. 286.

© Баранов В.С., Закиров К., Муллағалиев И.Н., 2025

УДК 621.793.14

ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ НАНОПЛЕНОК

Набиуллин М.Р., Муллағалиев И.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Термовакuumное напыление — ключевой метод создания ультратонких пленок (1–100 нм) для микроэлектроники, оптики и энергетики [1]. Метод применим для создания тонких пленок в структуре электронных компонентов — фоторезисторов, фототранзисторов [2]. Одной из проблем остается неравномерность толщины пленки, вызванная градиентами температуры и геометрией подложки. Например, на краях сложных 3D-структур часто образуются зоны с пониженной плотностью покрытия [3-4]. Повысить равномерность покрытия позволяют методы вроде магнетронного распыления, где магнитное поле концентрирует плазму, обеспечивая более стабильное осаждение частиц. Внедрение вращающихся подложек и многолучевых источников испарения также снижает зависимость от геометрии. Кварцевые микровесы для контроля толщины помогают выявлять дефекты во время напыления [5].

В данной работе были обнаружено, если после создания пленки оксида алюминия из раствора подложку не промыть этанолом, то поверх

напыленная пленка электрода из алюминия или золота после подачи напряжения, происходит электрохимия и кусками отслаивается пленка.

Перспективы технологии связаны с её применением в гибкой электронике – это напыление прозрачных проводящих слоев, а в энергетике – для перовскитных солнечных элементов с КПД свыше 25%.

Исследование выполнено в рамках государственного задания (код научной темы FZWU-2023-0002).

Литература

1. Greer, J. R.; Nix, W. D. // Phys. Rev. B, 2006, v. 73, pp. 245420–245436.
2. Salikhov R.B., Andrianova A.N., Petrov I.S., Mullagaliev I.N., Salikhov T.R., Mustafin A.G. // Letters on Materials, 2024, v. 14, № 2 (54), С. 113-118.
3. Anders, A. // J. Appl. Phys, 2005, v. 98, pp. 113301–113315.
4. Müller, K.-H.; Latella, B. A. // Surf. Coat. Technol, 2007, v. 201, pp. 5805–5815.
5. Kim, H.; Rossnagel, S. M. // J. Mater. Res, 2012, v. 27, pp. 1564–1573.

© Набиуллин М.Р., Муллағалиев И.Н., 2025

УДК 539.3

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ МЕДЬ/ГРАФЕН В ПЛАЗМЕ

Пиль Л.М.¹, Крылова К.А.², Баимова Ю.А.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

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

Одной из основных проблем в электронике является рассеивание и отвод тепла. В современных полупроводниковых приборах используются медные теплоотводчики для предотвращения перегрева, однако их практическое применение ограничено в связи с их стоимостью и габаритами. Поэтому значительное внимание привлекают композиты графен/медь, отличающиеся улучшенными механическими и термическими свойствами. Свойства таких композитов существенно зависят от условий синтеза, что объясняется особыми свойствами наноструктур графена.

Композиты медь/графен с пониженной теплопроводностью и повышенной прочностью были получены методом синтеза в плазменной струе [1]. Для анализа возможных типов структурных элементов композита было применено компьютерное моделирование. Наночастицы

меди перемещали по направлению к углероду, их начальные скорости были выбраны в диапазоне от 1 до 9 км/с, а температура – от 2500 до 3000 К.

В результате моделирования было выявлено три различных механизма образования наночастиц меди/графена в зависимости от скорости движения наночастиц меди. При низкой скорости (менее 1 км/с) наночастицы достигают стенки графена, которая в результате обволакивает их. При более высокой скорости от 1 до 5 км/с наблюдается отталкивание наночастиц меди от графена. При скорости свыше 7 км/с происходит разрыв стенки наночастицами. Полученные результаты позволяют описать формирование композитных наночастиц медь/графен в плазменной струе для выполнения практических задач.

Литература

1. Shavelkina M. B., Krylova K. A., Kavyrshin D. I., Baimova J.A. Syntheses of the Cu/graphene composite nanoparticles in plasma jets: experiment and simulation // Applied Surface Science. 2025. V. 689, 162523.

© Пиль Л.М., Крылова К.А., Баимова Ю.А., 2025

УДК 517.9, 519.633

КОМПЛЕКС НИКЕЛЯ (II) КАК МОДИФИКАТОР СЕНСОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА

Ишмакаева Г.И., Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Напроксен (Nar), является нестероидным противовоспалительным и жаропонижающим препаратом, имеет две изомерные формы - R- и S-энантиомеры. Однако, из-за пагубного влияния R-энантиомера на организм, на фармацевтическом рынке выпускают только S-энантиомеры Нар. В связи с этим важной задачей контроль энантиочистоты лекарственных препаратов

В данной работе предоставлена разработка энантиоселективного вольтамперметрического сенсора [1-4], основанного на пастовом электроде из CarboblackC (CBPE), модифицированный хиральным комплексом никеля Ni(II). Для изучения способности ЭВС распознавать энантиомеры Нар использовали дифференциально импульсную вольтамперметрию. Аналитические характеристики данного сенсора соответствуют линейному диапазону от $5,0 \times 10^{-5}$ до 1×10^{-3} М для S-Nar и от $2,0 \times 10^{-4}$ до 1×10^{-3} М для (R)-Nar, а пределы обнаружения составили $7,40 \times 10^{-7}$ и $5,31 \times 10^{-7}$ М для первого пика $6,79 \times 10^{-7}$ и $4,96 \times 10^{-7}$ М для второго пика для R- и S-Nar, соответственно. Сенсор CBPE@(S)-Ni демонстрирует наибольшую чувствительность к S-Nar

(6,44 и 6,90 мкА/мМ для первого и второго пиков соответственно). Данный сенсор был успешно апробирован для анализа биологических жидкостей и лекарственных форм.

Литература

1. Майстренко, В. Н., Евтюгин, Г. А., Зильберг, Р. А. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры // Уфа: Башкирский государственный университет, 2018, 189 p.
2. Zilberg, R. A., Berestova, T. V., Gizatov, R. R. [et al.] Chiral selectors in voltammetric sensors based on mixed phenylalanine/alanine Cu(II) and Zn(II) complexes // *Inorganics*, 2022, v. 10(8), p. 117.
3. Zilberg, R. A., Teres, Y. B., Vakulin, I. V. [et al.] Voltammetric sensor for naproxen enantiomers based on a paste electrode modified with a Chiral nickel(II) complex // *Chirality*, 2025, v. 37(2), p. e70025.
4. Gizatov R. R., Teres Yu. B., Galimov M. N., Bulysheva E. O., Berestova T. V., Zilberg R. A. // *Russian Journal of Coordination Chemistry*, 2025, v. 51(2), pp. 119–128.
5. Zilberg R. A., Teres Y. B., Bulysheva E. O., Ivanov P. Y., Vakulin I. V., Panova M. V., Medvedev M. G., Khrizanforov M. N., Maleev V. I., Larionov V. A. // *Electrochimica Acta*, 2025, v. 529, p. 146309.

© Ишмакаева Г.И., Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А., 2025

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

УДК 538.9

ПУТИ И МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА ПРИ РЕЗИСТИВНОМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ В ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЯХ

Корнилов В.М., Валеев Ю.З.

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

В субмикронных пленках полигетероариленов наблюдаются эффекты резистивного переключения, которые в настоящее время интенсивно исследуются [1]. Данная работа посвящена исследованию путей и механизмов переноса заряда при этом явлении. Эффективным инструментом для такого исследования является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) с проводящим зондом, позволяющий производить одновременное картографирование морфологии поверхности и регистрацию электрических неоднородностей [2].

Для исследования изготавливались пленки на полированных подложках из нержавеющей стали, их толщина задавалась концентрацией полимера в растворителе (циклогексаноне), по методике, описанной в работе [3]. Для наблюдения токопроводящих каналов в полимере в режиме постоянной силы были искусственно созданы деформированные участки пленки не на всю глубину с удалением поверхностного слоя. Удалось зарегистрировать токовые особенности в виде отдельных точек, расположенных по границе элемента изображения. Методы математической обработки изображений позволили определить величину тока и геометрические размеры проводящего канала. Оценка локальной плотности тока, протекающего через полимерный образец, составила $10^6 - 10^7$ А/см². Расположение проводящих каналов хорошо соотносится с данными о надмолекулярной структуре полимерных пленок.

Таким образом, удалось визуализировать электропроводящие участки нанометровых размеров в диэлектрической полимерной матрице, определить линейные размеры проводящих каналов, величину и плотность тока. Полученные данные устанавливают взаимосвязь микроструктуры пленки и ее электронных свойств и важны для интерпретации резистивного переключения в субмикронных полимерных пленках, что позволяет целенаправленно влиять на состав и надмолекулярную структуру полимера при изучении свойств резистивного переключения.

Литература

1. Лачинов А. Н., Воробьева Н. В. УФН. 176, 1249 (2006).

2. Trapatseli M., Carta D., Regoutz A., et al. J. Phys. Chem. C, 2015, 119, p.11958–11964.

3. Корнилов В. М., Лачинов А. Н., Карамов Д. Д. и др. ФТТ. – 2016, т. 58, №5, с.1030-1035.

© Корнилов В.М., Валеев Ю.З., 2025

УДК 544.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА СО-ПАЭК

Байбулова Г.Ш., Жилкайдаров К.С., Жилкайдарова О.Р.
Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, г. Уфа, Россия

Цель данной работы заключается в исследовании взаимосвязи между строением сополимеров полиариленэфиркетонов (со-ПАЭК) и их электронными свойствами в зависимости от концентрации функциональных групп для установления связи между структурой соответствующих полимеров и их транспортными свойствами.

Данная работа имеет прикладное значение благодаря разработке методик и инструментов для всестороннего изучения оптических и транспортных свойств заряда в ряде новых со-ПАЭК, что позволит эффективно применять их в устройствах солнечной энергетики и источниках света.

В работе были проведены квантово-химические расчеты модельных соединений для со-ПАЭК с различным содержанием мономерных звеньев методом DFT B3LYP/6-31+G(d).

Проведенные теоретические исследования привели к созданию алгоритма, связывающего результаты квантово-химического моделирования электронных свойств модельных соединений со-ПАЭК с электрофизическими параметрами тонкопленочных образцов соответствующего полимера. Этот метод позволяет оценить наиболее вероятную структуру локальных функциональных центров в макромолекуле при заданном содержании функциональных групп.

Обнаружено, что увеличение содержания функциональных групп ведет к уменьшению ширины запрещённой зоны. Предложена интерпретация немонотонного изменения электронных свойств со-ПАЭК, основанная на гипотезе о различном строении функциональных центров в макромолекуле в зависимости от содержания функциональных групп в сополимере.

Байбулова Г.Ш., Жилкайдаров К.С., Жилкайдарова О.Р., 2025

**НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОСКОПИИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ РЕЗОНАНСНОГО ЗАХВАТА
ЭЛЕКТРОНОВ**

Юшина Д.Н.¹, Таюпов М.М.¹, Сафронов А.С.²

¹ГБПОУ РБ Уфимское училище искусств, г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

Масс-спектрометрия отрицательных ионов в режиме резонансного захвата электронов – высокоинформативный метод исследования низкоэнергетических электронно-молекулярных реакций, термохимии и кинетики образования отрицательных ионов [1]. Его результаты важны в таких областях как физика низкотемпературной плазмы, биофизика, физика атмосферы, молекулярная электроника, медицина, токсикология и фармакология, науки о материалах и окружающей среде, и находят применения в научных и прикладных задачах, наиболее актуальными среди которых можно считать радиационную биологию, управление химическими реакциями на поверхностях, происхождение жизни.

Чтобы проводить экспериментальные исследования указанным методом, а также обрабатывать полученные результаты, исследователь должен обладать достаточным багажом знаний и умений в части фундаментальной физики и использования различного ПО, предназначенного для анализа данных. Поэтому, для подготовки такого рода специалиста необходимо большое количество времени и квалифицированных педагогических кадров.

В данной работе, будет представлено новое ПО, разработанное в лаборатории атомных столкновений ИФМК УФИЦ РАН, которое значительно упрощает обработку полученных экспериментальных данных. Как будет показано, оно позволяет обрабатывать масс-спектры отрицательных ионов, анализировать какие именно фрагментарные анионы могли образоваться при диссоциации, анализировать изотопный состав фрагментарных анионов, строить кривые эффективного выхода электронов и т.д. Указанное упрощение позволяет справиться с задачей обработки данных лицам, ранее не имеющим должной подготовки.

Литература

1. Мазунов В. А., Щукин П. В., Хатымов Р. В., Муфтахов М. В., Масс-спектрометрия отрицательных ионов в режиме резонансного захвата электронов (учебный обзор) // Масс-спектрометрия. – 2006. – Т. 3. – №. 1. – С. 11-32.

© Юшина Д.Н., Таюпов М.М., Сафронов А.С., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПДФ И ГРАФЕНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТИЙ-ПОЛИМЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Гайфуллина Э.Р., Юсупов А.Р.

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

Разработка автономных транспортных средств, оснащённых литий-полимерными аккумуляторами, сталкивается с проблемой температурной зависимости их эксплуатационных характеристик. В условиях низких температур наблюдается снижение ёмкости и мощности аккумуляторных батарей [1], что требует внедрения систем подогрева.

Данное исследование посвящено разработке тонкопленочных нагревательных устройств на основе высокопрочного полимера полидифениленфталида с добавлением графена (RG-S1) для оптимизации теплопередачи. Нанесение тонкого слоя пленки осуществляется методом центрифугирования.

На графике (рис. 1) показано влияние напряжения на температуру. Измерения с термопарой при разных значениях напряжения и температуры дали максимальное изменение температуры $58,3^{\circ}\text{C}$ при $31,2\text{ В}$, подтверждая перспективность технологии. Результаты исследования открывают новые перспективы для повышения эффективности оборудования, предназначенного для эксплуатации в условиях экстремально низких температур.

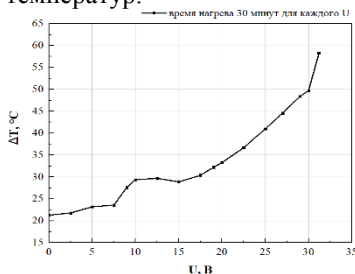


Рис. 1. Зависимость изменения температуры и приложенного напряжения

Литература

1. Usman M. et al. A high strength and flexible multilayered thin film laser induced graphene heater for thermal applications //Thin Solid Films. 2023. Т. 780. С. 139979.

© Гайфуллина Э.Р., Юсупов А.Р., 2025

**ТОКИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛИАРИЛЕНЭФИРКЕТОНОВ**Ильясов В.Х.¹, Карамов Д.Д.², Лачинов А.Н.², Пономарев А.Ф.³,
Ваенский А.П.¹, Шапошникова В.В.^{4,5}, Чеботарева А.Б.⁵¹Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия²Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия³Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий,
г. Бирск, Россия⁴Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской академии наук, г. Москва, Россия⁵Московский государственный университет, г. Москва, Россия

В статье [1] представлены результаты по измерению токов деполяризации сополимеров полиариленэфиркетон (со-ПАЭК), содержащих флуореновые группы в основной цепи макромолекулы. На основе проведенного анализа утверждалось, что молекулярная структура со-ПАЭК существенно влияет на спектр электронных состояний полимерных пленок. Поведение параметров процессов при деполяризации было объяснено на основе представлений о формировании примесных ловушечных состояний по принципу «гость – хозяин» в приближении не взаимодействующих между собой молекулярных компонентов статистического сополимера. Образцы имели следующую структуру: стеклянная подложка/металл/ со-ПАЭК /металл. Содержание флуореновых групп в тонкой плёнке полимера составляла 1, 3, 5, 10, 15 и 20% мол.

В данной работе также исследовались сополимеры полиариленэфиркетон (со-ПАЭК) с содержанием флуореновых групп 5, 15, 20 и 25% мол., с одинаковой молекулярной массой. При проведении измерений токов ТСД использовались образцы, представлявшие собой структуру сталь /со-ПАЭК и (n-Si)/ITO/со-ПАЭК. По результатам, полученных температурных зависимостей токов деполяризации, были рассчитаны значения энергий активаций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-19- 00535), <https://rscf.ru/project/22-19-00535/>

Литература

1. Шапошникова В. В., Ткаченко А. С., Звукова Н. Д., Перегудов А. С., Клеменкова З. С., Пономарев А. Ф., Ильясов В. Х., Лачинов А. Н., Салазкин С. Н. // Известия Академии наук. Серия химическая, 2016, № 2, С. 502-506.

© Ильясов В.Х., Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Пономарев А.Ф.,
Ваенский А.П., Шапошникова В.В., Чеботарева А.Б., 2025

**КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЁНКИ В
КОНТАКТЕ СО СПИРАЛЬНЫМ МАГНЕТИКОМ**

Лекомцев Н.В., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

В контактах типа сверхпроводник-магнетик возникает эффект близости, проявляющийся в подавлении сверхпроводящих свойств слоя сверхпроводника. Это позволяет реализовать на такой структуре спиновый вентиль, применяющийся как альтернатива электронному транзистору в интегральных схемах. Было показано, что применение спиральных магнетиков позволяет упростить структуру до двухслойной, и управлять эффектом близости перемагничиванием одного магнитного слоя [1]. В нашей работе с помощью линеаризованных уравнений Узаделя были рассчитаны параметры эффекта близости в исследуемой структуре конечного размера Nb (сверхпроводник)/MnSi (спиральный магнетик). Дана оценка влияния внешнего магнитного поля на величину подавления сверхпроводящего параметра порядка в структуре. Рассчитаны критические параметры слоя сверхпроводника, проведено сравнение полученных данных с результатами экспериментов на аналогичных структурах и структурах сверхпроводник-парамагнетик (Nb/CoSi). Показано качественное сходство экспериментальных зависимостей критических параметров от угла приложения внешнего магнитного поля с численно рассчитанными данными. Количественные расхождения результатов объясняют необходимость проведения самосогласованного расчёта параметров эффекта близости с учётом влияния внешнего магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке проекта «Зеркальные лаборатории» НИУ ВШЭ и Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы «Квантовые эффекты в низкоразмерных гибридных наноструктурах».

Литература

1. Pugach N. G., Safonchik M. O., Belotelov V. I., Ziman T., and Champel T. Phys. Rev. Applied 18, 054002.

© Лекомцев Н.В., Пугач Н.Г., 2025

КВАЗИЧАСТИЧНЫЙ ТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ СПИН-ЗАВИСИМОГО РАССЕЯНИЯ

Милютин Д.П., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Один из способов детектирования космического реликтового излучения – болометры на холодных электронах. Они уже показали свою пригодность для этой задачи. Однако одним из лимитирующих факторов является паразитное явление андреевского отражения, возникающее на интерфейсе гетероструктуры сверхпроводник-нормальный металл. Последние работы использовали ферромагнитные материалы, вместо нормального металла. Это позволило уменьшить квазичастичный ток, так как сам по себе ферромагнетизм стремится разрушить сверхпроводимость, а как следствие и все эффекты с ней связанные. Обменное взаимодействие поляризует куперовские пары, из-за чего интенсивность андреевского отражения уменьшается.

Многие экспериментальные работы указывают на то, что при рассмотрении эффекта близости в гетероструктуре сверхпроводник-ферромагнетик недостаточно учитывать только обменное взаимодействие. Важную роль играют эффекты спин-зависимого рассеяния. В нашем случае, мы рассмотрели модель в которой у ферромагнетика есть выделенная ось намагниченности из-за чего возникает три вида рассеяния: спин-орбитальное, спин-флип вдоль направления поля и спин-флип перпендикулярное полю.

Квазичастичный андреевский ток выражается с помощью неравновесных функций Келдыша-Грина, получаемых из уравнения Узаделя, написанного в грязном пределе. В результате проанализировано влияние обменного взаимодействия и различных видов спин-зависимого рассеяния на образование андреевского тока в гетероструктуре.

За финансовую поддержку авторы благодарят программу сотрудничества «Зеркальные лаборатории» Национального Исследовательского Университета Высшая Школа Экономики и Башкирского Государственного Педагогического Университета им. М.В. Акмуллы, проект «Квантовые эффекты в низкоразмерных гибридных наноструктурах».

Литература

1. Милютин, Д. П., Пугач, Н. Г., Хорошко В. В., Екомасов Е. Г. // Известия Уфимского научного центра РАН, 2025, №3, С. 10-15.

© Милютин Д.П., Пугач Н.Г., 2025

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС ПРИ ЭФФЕКТЕ БЛИЗОСТИ СО СВЕРХПРОВОДНИКОМ

Пугач Н.Г., Туркин Я.В., Селезнев Д.В.

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Сверхпроводниковая спинтроника является новой, быстро развивающейся областью в наноэлектронике квантовых систем. Перенос спина не всегда осуществляется спин-поляризованным потоком электронов. Также спиновая накачка может возникать в проводнике, соседствующем с магнитным диэлектриком, в котором возбуждаются спиновые волны или ферромагнитный резонанс.

В данной работе теоретически исследовались магнитные эффекты, возникающие в бислой из сверхпроводника, нанесенного на поверхность ферромагнитного диэлектрика. Ранее авторами был детально изучен обратный эффект близости в таких структурах. Рассчитана плотность электронных состояний и ее зависимость от толщины сверхпроводящего слоя. Исследовано возникновение и поведение пика при нулевом смещении, являющегося следствием триплетных сверхпроводящих корреляций.

В качестве сверхпроводящих материалов для создания такой структуры могут использоваться любые низкотемпературные сверхпроводники, например технологичные алюминий или ниобий, а в качестве ферродиэлектриков обычно выступают соединения европия EuS , EuO , или ферриты-гранаты (ЖИГ).

Расчеты проводились в квазиклассическом приближении с помощью численного решения уравнений Узаделя в частотной области. Обсуждается роль прецессирующей во времени намагниченности – ферромагнитного резонанса (ФМР), его влияние на спиновые свойства сверхпроводящих корреляций в сверхпроводнике. Детально исследуется обратное влияние сверхпроводника на ФМР. Показано, что наличие последнего может стимулировать появление других спиновых возбуждений типа спиновых волн.

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

© Пугач Н.Г., Туркин Я.В., Селезнев Д.В., 2025

ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ НАЛИЧИЯ «МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СИГНАЛОВ» В СПЕКТРАХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ**КУМАРИНА**Токарев А.И.¹, Таюпов М.М.¹, Рахмеев Р.Г.²¹ГАПОУ РБ «Уфимский медицинский колледж», г. Уфа, Россия²Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

Долгоживущие (т.е. которые можно зафиксировать на эксперименте СДЗЭ) метастабильные состояния отрицательных ионов (ОИ), обычно, образуются при распаде молекулярных ОИ и ОИ, имеющих в своей структуре «тяжелые» атомы заместителей (F, S, Cl, Br и т.д.). Отрывы же, например, атомов водорода H происходят очень быстро и меньше времени вытягивания ОИ из ячейки столкновений, поэтому, до этого метастабильные ОИ такого рода не фиксировались. Тем не менее, в работе [1], было заявлено, что в масс-спектре ОИ молекул кумарина наблюдалось метастабильное состояние с $m/z=144$, которое может быть связано с отрывом от молекулярного ОИ атома водорода.

Мы полагаем, что наблюдение данного сигнала в масс-спектре, связано с тем, что не способные к диссоциации молекулярные ионы могут получить недостающую энергию в результате их столкновений с молекулами остаточного газа при пролете в первой бесполовой области прибора, а полученные заряженные продукты распада будут регистрироваться как метастабильные ионы. Их интенсивность будет зависеть от ряда факторов, в том числе, внутренней и кинетической энергии распадающихся ионов, давления остаточного газа в бесполовой области, активационной энергии процесса и т.д. (Например, эту дополнительную возможность ионов к фрагментации используют в методике CID (collision induced dissociation), устанавливая на пути ионного пучка в бесполовой области камеру столкновений с инертным газом при повышенном давлении $\sim 10^{-2}$ Па. Получаемые таким образом спектры активирующих столкновений характеризуют строение и реакционную способность недиссоциирующих в масс-спектральной шкале времени ионов с низкой внутренней энергией.

Литература

1. Таюпов М. М., Галеев Р. В. Аномально метастабильное состояние в спектре диссоциативного захвата электронов молекулами кумарина //Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2021». Уфа. 2021. С.135-136.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ РЯДА ХЛОРФЕНОЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА

Ахметшина А.С.¹, Таюпов М.М.¹, Маркова А.В.²

¹ГАПОУ РБ «Уфимский медицинский колледж», г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов, г. Уфа, Россия

В результате техногенной аварии 22 ноября 1989 года на предприятии ПО «Уфахимпром» произошла утечка большого количества фенола в речку Шугуровка, впадающую в более крупную реку Уфу, являющуюся источником хозяйственно-питьевого водоснабжения города Уфы. Загрязнение воды в районе Южного водозабора превышало ПДК более чем в 100 раз. Опасность загрязнения питьевой воды фенолом проявляется в том, что при очистке вод использовался хлор, который, взаимодействуя с фенолом, образовывал хлорпроизводные (смесь хлорфенолов) – более токсичные вещества (некоторые в 100–250 раз превышают токсичность самого фенола).

Молекулярный докинг – это вычислительная процедура, которая анализирует конформацию и ориентацию (вместе называемые положением) токсичного соединения в месте связывания макромолекулярной мишени. Он включает в себя два концептуальных этапа: выборку и оценку. Данный метод позволяет сконструировать оптимальный комплекс – комплекс с минимальной энергией – из макромолекулы-мишени и небольшого биологически активного вещества (БАВ)-лиганда. Обычно в качестве макромолекул-мишеней используются белки (ферменты).

В ходе представленной работы проведен молекулярный докинг в системе «молекула выбранного хлорфенола–модель белка» методами молекулярной механики с применением вычислительного модуля AutoDock Vina на платформе SwissDock. Были установлены потенциальные карманы, выделены аминокислотные/нуклеотидные последовательности, вычислена энергия связывания в системе взаимодействия, определено количество образовавшихся межмолекулярных водородных связей, гидрофобных контактов и др. Для QSAR-скрининга использовались хемоинформационные ресурсы, такие как PASSonline, ADMETlab 2.0 и PROTOX 3.0.

© Ахметшина А.С., Таюпов М.М., Маркова А.В., 2025

ОБЪЕМНАЯ ФОТОЭМИССИЯ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК С КВАНТОВОЙ ЯМОЙ НА БАРЬЕРЕ ШОТТКИ

Ихсанов Р.Ш.^{1,2}, Усков А.В.¹, Сметанин И.В.¹, Проценко И.Е.¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия

²Московский институт электроники и математики Высшей школы экономики, г. Москва, Россия

На сегодняшний день резонансная фотоэмиссия электронов из металлических наночастиц и пленок используется в фотоприемниках и в фотовольтаике [1]. В наноантеннах, роль которых могут играть металлические пленки и частицы нанометрового размера, повышению эффективности фотоэмиссии способствуют несколько факторов, в том числе наличие квантовой ямы вблизи границы “металл-полупроводник”. Такую структуру будем называть барьером Шоттки с квантовой ямой. Эффективность инжекции в этом случае увеличивается за счет резонансного туннелирования через дискретный уровень в квантовой яме.

В нашей работе теоретически исследовано усиление объемной фотоэмиссии из металла в полупроводник (из пленки, наносферы и нанопроволоки) за счёт резонансного туннелирования фотовозбуждённых электронов через (квази)дискретный уровень в квантовой яме, расположенной на барьере Шоттки вблизи границы раздела “металл-полупроводник”. Показано, что резонансное туннелирование через дискретный уровень может привести к смещению пороговой длины волны поверхностного фотоэффекта в красную область и более крутому (линейному) росту фототока вблизи порога (в отличие от квадратичного роста, т.е. закона Фаулера), что дает возможность существенного увеличения эффективности фотоэмиссии. Так же показано, что разница в эффективных массах электрона в металле и полупроводнике существенно влияет на эффективность фотоэмиссии. Таким образом, в работе указан способ повышения эффективности двухбарьерных туннельных структур с резонансным туннелированием для применения в плазмонных фотодетекторах в ближнем и среднем ИК-диапазонах спектра.

Литература

1. Brongersma, M. L., Halas, N. J., Nordlander, P. // Nat. Nanotechnol., 2015, v. 10(1), p. 25.

© Ихсанов Р.Ш., Усков А.В.,
Сметанин И.В., Проценко И.Е., 2025

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИЧАСТИЧНОЙ ДИНАМИКИ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ААРОНОВА-БОМА

Гурский А.С.¹, Арутюнов К.Ю.^{1,2}, Шаповалов Д.Л.²,Позднякова Е.Ф.¹, Иевлева В.А.^{1,3}, Седов Е.А.^{1,3}¹НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия²ИФП им. П. Л. Капицы РАН, г. Москва, Россия³ФИАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва, Россия

При сверхнизких температурах существенный вклад в работу гибридных структур вносят неравновесные квазичастицы (КЧ) [1]. В широко используемом алюминии, КЧ демонстрируют удивительно большие длины релаксации – примерно 5 мкм для зарядового дисбаланса [2], и более 40 мкм для энергетической релаксации (при $T \sim 20$ мК) [3]. Подобные пространственные масштабы означают, что одна квазичастица может пересекать всю гибридную структуру, оказывая на нее существенное влияние.

Для исследования фазовой когерентности КЧ были разработаны твердотельные НИС-интерферометры (нормальный металл-изолятор-сверхпроводник), в которых при напряжении $V_{inj} > \Delta/e$ ($\Delta \approx 220$ мкВ) КЧ инжектировались в сверхпроводник и распространялись по двум плечам с длиной $L \sim 1-2$ мкм. Их относительная фаза $\Delta\phi$ модулировалась перпендикулярным магнитным полем через эффект Ааронова-Бомы [4], что проявлялось в осцилляциях тока $I_T(B)$ с периодом $\Phi_0 = h/2e$ [5].

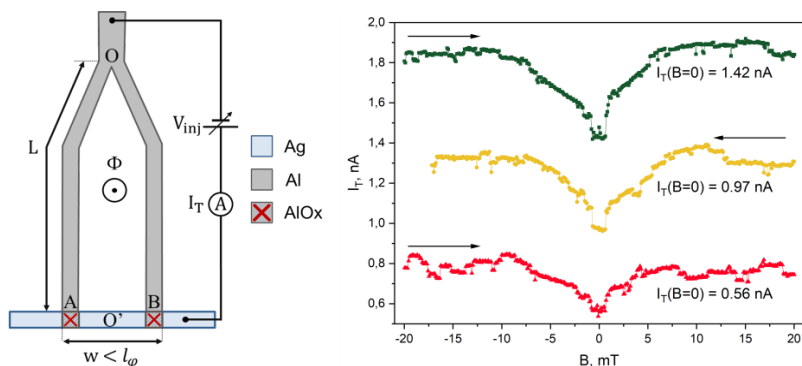


Рис. 1. Левая панель: схематическое представление НИС-интерферометра. Правая панель: токо-магнитные зависимости $I_T(B)$ при разных значениях смещающего напряжения. Стрелками указано направление записи данных

В новых образцах (рис. 1) материал нормального электрода был заменен с меди на серебро. Полученные токо-магнитные зависимости $I_T(B, V_{inj}=\text{const})$ имели две воспроизводимых особенности: (1) центральный пик полностью исчезает при напряжении инжекции меньше сверхпроводящего зазора ($V_{inj} < \Delta/e$), что может являться подтверждением доминирующего вклада неравновесных квазичастиц; и (2) он симметрично инвертируется при изменении полярности инжекционного напряжения, что объясняется сменой интерференции между квазиэлектронами и квазидырками.

В перспективе – увеличение длины плеч интерферометров для определения характерной длины фазовой когерентности λ_ϕ и выявления механизмов её разрушения.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 23-72-00018 «Исследование неравновесных и граничных явлений в сверхпроводящих гибридных наноструктурах».

Литература

1. Serniak, K., Hays, M., De Lange, G., Diamond, S., Shankar, S., Burkhart, L. D., Frunzio, L., Houzet, M., Devoret, M. H. // Phys. Rev. Lett., 2018, v. 121(15), p. 157701.
2. Arutyunov, K. Y., Auraneva, H. P., Vasenko, A. S. // Phys. Rev. B – Condensed Matter and Materials Physics, 2011, v. 83(10), p. 104509.
3. Arutyunov, K. Y., Chernyaev, S. A., Karabassov, T., Lvov, D. S., Stolyarov, V. S., & Vasenko, A. S. // Journal of Physics: Condensed Matter, 2018, v. 30(34), p. 343001.
4. Aharonov, Y., Bohm, D. // Physical review, 1959, v. 115(3), p. 485.
5. Arutyunov, K. Y., Gurskiy, A. S., Pozdnyakova, E. P., Shapovalov, D. L., Deng, G. W., Chekushkin, A. M., Markina, M.A., Tarasov, M. A. // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2024, v. 37(11), pp. 1913-1916.

© Гурский А.С., Арутюнов К.Ю., Шаповалов Д.Л.,
Позднякова Е.Ф., Иевлева В.А., Седов Е.А., 2025

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ НА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ В ХАЛДЕЙНОВСКИХ МАГНЕТИКАХ СЕМЕЙСТВА $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$

Попова Е.А.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Существует несколько основных сценариев поведения квази-одномерных магнитных систем при низких температурах. В случае соединений, содержащих цепочки магнитных ионов со спином $S = 1$ (халдейновские цепочки) с антиферромагнитным внутрицепочечным обменным взаимодействием, реализуется халдейновское щелевое состояние [1]. Установлено, что в Y_2BaNiO_5 щель в спектре магнитных возбуждений порядка 10 МэВ. В изоструктурных соединениях семейства $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$ цепочки ионов Ni^{2+} спинов $S=1$ вытянуты вдоль оси a кристалла и разделены в плоскости bc ионами Ba^{2+} и Y^{3+} (или Nd^{3+}). Полная или частичная замена иона Y^{3+} на редкоземельный магнитный ион Nd^{3+} приводит к антиферромагнитному упорядочению, причем упорядочение происходит в редкоземельной подсистеме, а никелевая подсистема остается внутренне разупорядоченной.

Особенности халдейновской системы в $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$ проявляясь в низкотемпературной области на температурной зависимости теплоемкости. После вычитания решеточного вклада и вклада неодимовой подсистемы из экспериментальной зависимости теплоемкости для ряда соединений семейства $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$, была обнаружена аномалия в виде широкого максимума в области низких температур. Положение и величина аномалии практически не зависит от концентрации неодима в соединении, поэтому она может быть связана только с никелевой подсистемой.

Наличие неконтролируемых немагнитных примесей в $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$, так же как в номинально чистом и Zn- или Mg-допированном Y_2BaNiO_5 , может привести к разрывам цепочек никеля и образованию системы сегментов цепочек разной длины. При разрыве цепочки на концах сегмента появляются некомпенированные спины $S=1/2$, которые могут взаимодействовать друг с другом. Кроме того, небольшая нестехиометрия по кислороду в $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$ может привести, так же, как в Ca-допированном Y_2BaNiO_5 , к образованию дырки на $O\ 2p$ орбитали вдоль цепочки никеля. В результате дырка со спином $S = 1/2$ приводит к ферромагнитному взаимодействию двух ближайших ионов никеля, и к образованию внутри цепочки феррона со спином $S=3/2$. Ферроны, находящиеся друг от друга на расстоянии

корреляционной длины никелевой цепочки, могут взаимодействовать друг с другом.

Сегменты цепочек и ферроны приводят к дополнительной аномалии на температурной зависимости теплоемкости в области низких температур. Взаимодействие спинов $S=1/2$ ведет к расщеплению вырожденного основного состояния сегмента цепочки на синглетное и триплетное состояние, разделенные щелью. Из-за взаимодействия спинов $S=3/2$ основное состояние пары ферронов расщепляется на 16 подуровней. Перераспределение электронов по расщепленным подуровням основного состояния сегмента цепочки и пары взаимодействующих ферронов приводит к появлению аномалии Шоттки на зависимости $C(T)$. Мы оценили вклад в теплоемкость от сегментов цепочек и ферронов. Полученные расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Работа поддержана Научным фондом НИУ ВШЭ, проект «Зеркальные лаборатории».

Литература

1. Haldane F. D. M. Nonlinear field theory of large-spin Heisenberg antiferromagnets: semiclassically quantized solitons of the one-dimensional easy-axis Néel state // Phys.Rev.Lett. 1983. V. 50. P.1153-1156.
2. Darriet J., Regnault L.P. The compound Y_2BaNiO_5 : A new example of a Haldane gap in a $S = 1$ magnetic chain// Solid State Commun. 1993. V. 86. P. 409–412.
3. Yokoo T., Zheludev Z., Nakamura M., and Akimitsu J. Ni-chain gap excitations in $(Nd_xY_{1-x})_2BaNiO_5$: One-dimensional to three-dimensional crossover// Phys. Rev. B. 1997. V. 55. P. 11516–11520.

© Попова Е.А., 2025

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ
ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД/ГРАФЕН ДЛЯ
ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Мукминова Р.Р., Юсупов А.Р.

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

В работе представлены результаты исследования тонкопленочных композитов на основе полидифениленфталида (ПДФ), модифицированных двумя типами графеновых наполнителей (RG-S1 и RG-T1) в широком диапазоне концентраций (5–25 мас.%). Целью исследования была оценка влияния типа и концентрации углеродного наполнителя на оптические свойства широкозонного полимерного материала.

Для получения однородных композитных пленок на кварцевых подложках была реализована следующая технология. Она включала: 1) химическую и ультразвуковую очистку подложек; 2) приготовление 5% раствора ПДФ в циклогексаноне; 3) точное дозирование и введение графена в полимерный раствор с последующей ультразвуковой диспергацией (8 минут); 4) нанесение пленок методом центрифугирования с последующей термической сушкой при 120°C.

Исследование спектров поглощения на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 и последующий анализ в координатах Тауца показали, что введение графена не приводит к статистически значимому изменению ширины оптической запрещенной зоны (E_g) композитов по сравнению с чистым ПДФ (~4.12 эВ). Для наполнителя RG-S1 значение E_g оставалось практически постоянным вплоть до 25% концентрации (~4.09 эВ). Для наполнителя RG-T1 наблюдалось незначительное снижение E_g до ~4.06 эВ при максимальной концентрации, что, однако, находится в пределах погрешности метода и не указывает на существенное изменение электронной структуры полимера.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что оба типа графена (RG-S1 и RG-T1) не выступают в качестве химического допанта, модифицирующего электронную подсистему полимера, а являются преимущественно инертными проводящими наполнителями. Отсутствие значимого сдвига края поглощения и ширины запрещенной зоны подтверждает, что механизм повышения электропроводности в таких композитах обусловлен не модификацией зонной структуры, а перколяционным механизмом – формированием проводящей сети из графеновых частиц в полимерной матрице. Сохранение высокой

оптической прозрачности ПДФ и ширины запрещенной зоны открывает перспективы применения полученных композитов в качестве гибких прозрачных проводящих покрытий для оптоэлектронных устройств.

Литература

1. Таус J., Grigorovici R., Vancu A. Phys. Status Solidi, 15, 627 (1966).
2. Графеновый порошок RG-S1. URL: <https://www.rusgraphene.ru/product-page/graphene-powder>
3. Графеновый порошок RG-T1. URL: <https://www.rusgraphene.ru/graphene-powder-rg-t1>
4. Лачинов А.Н., Воробьева Н.В. УФН, 176:12 (2006), 1249–1266.

© Мукминова Р.Р., Юсупов А.Р., 2025

УДК 621.383

ХИМИЯ РАСТВОРОВ ПРЕКУРСОРОВ СВИНЦОВЫХ ГАЛОГЕНИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ И УПРАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Мусатова А.М., Казанцева М.А., Васенко А.С.
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Свинцовые галогенидные перовскиты представляют собой перспективные материалы для создания высокоэффективных солнечных элементов благодаря низкотемпературным методам синтеза и высокой фотогенерации носителей. Однако их малая энергия образования обуславливает чувствительность к внешним воздействиям и требует точного контроля условий формирования тонких плёнок. Катион Pb^{2+} образует различные йодоплабматные комплексы, состав и устойчивость которых зависят от координирующей способности растворителя. В среде диметилсульфоксида преимущественно формируются низкойодированные комплексы, что замедляет кристаллизацию и обеспечивает рост плёнок с низкой дефектностью. В диметилформаиде и слабокоординирующих растворителях преобладают более насыщенные комплексы, ускоряющие кристаллизацию, но увеличивающие вероятность дефектов. Понимание процессов комплексообразования и промежуточных стадий роста позволяет управлять морфологией, дефектностью и стабильностью перовскитных плёнок. Полученные результаты указывают на необходимость оптимизации состава раствора и условий обработки для повышения эффективности и стабильности работы перовскитных солнечных элементов.

Работа выполнена при поддержке проекта «Зеркальные лаборатории» НИУ ВШЭ и Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы «Квантовые эффекты в низкоразмерных гибридных наноструктурах».

Литература

1. Saidaminov M. I., Manser J. S., Christians J. A., Bakr O. M., Kamat P. V. Making and Breaking of Lead Halide Perovskites. *Accounts of Chemical Research*, 2016, 49 (3), pp. 562–573.
2. Jung M., Ji S.-G., Kim G., Seok S. I. Perovskite Precursor Solution Chemistry: From Fundamentals to Photovoltaic Applications. *Chem. Soc. Rev.*, 2019, 48, pp. 2011–2038.
3. Radicchi E., Mosconi E., Elisei F., Nunzi F., De Angelis F. Understanding the Solution Chemistry of Lead Halide Perovskite Precursors. *ACS Applied Energy Materials*, 2019, 2 (5), pp. 3400–3409.

© Мусатова А.М., Казанцева М.А, Васенко А.С., 2025

УДК 517.9, 519.633

ВЫЧИСЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ СПИНОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ ТИПА FI-S-FI

Оськин А.Е.^{1,2}, Попов А.В.^{1,2}, Пугач Н.Г.¹, Селезнёв Д.В.¹

¹МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

²ИФВД РАН, г. Москва, Россия

Одним из перспективных направлений в квантовых технологиях на сегодняшний момент является управление спиновыми токами в гибридных структурах. Это позволяет создавать энергоэффективные спинтронные устройства, такие как спиновые вентили. Их работа основана на обратном эффекте близости [1], который позволяет прогнозировать физические параметры для таких структур.

В данной работе разрабатывается процедура вычисления свободной энергии сверхпроводника, что позволяет находить интересующие нас физические параметры модели. Модель задачи основана на уравнении Узалея и граничных условиях. Функционал свободной энергии можно выразить следующим образом:

$$\mathcal{F} = \int \text{Tr} \left[\frac{i\hbar}{4} D(\partial_x \hat{G})^2 + (\varepsilon \tau_3 - \hat{V}) \hat{G} \right] d\varepsilon$$

где D – коэффициент диффузии, \hat{G} – квазиклассическая функция Грина, ε – энергия квазичастицы, τ_3 – третья матрица Паули, \hat{V} – потенциальная энергия

Данная величина позволит нам определить энергию переключения вентили. Также в рамках данной работы производится расчёт параметров взаимодействия типа Дзялошинского-Мории и изучается поведение свободной энергии в зависимости от угла разориентации магнитных моментов слоёв ферромагнитного изолятора

Работа выполнена в рамках проекта Научно-учебной группы Квазиклассической динамики при поддержке Научного фонда ВШЭ.

Литература

1. Селезнёв Д. В., Яговцев В. О., Пугач Н.Г., Туркин Я. В., Екомасов Е. Г., Львов Б. Г. // Физика металлов и металловедение. 2023. Т. 124. № 2. С. 196–203.

© Оськин А.Е., Попов А.В., Пугач Н.Г., Селезнёв Д.В., 2025

УДК 538.945, 538.955

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ НА СПЕКТР СТОЯЧИХ СПИНОВЫХ ВОЛН В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК

Артамонов И.А., Демьянов С.Ю., Туркин Я.В., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Гибридные структуры «сверхпроводник/ферромагнитный диэлектрик» (СП/ФД) представляют интерес для спинтроники и квантовой электроники, поскольку сверхпроводящий эффект близости позволяет управлять спектром магнитных возбуждений. В работе теоретически исследуется высокочастотная магнитная восприимчивость двухслойной СП/ФД-системы при фиксированной толщине слоёв, но с варьированием материальных и интерфейсных параметров: объёмного обменного взаимодействия магнетика и обменного взаимодействия на интерфейсе со сверхпроводником.

Динамика намагниченности описывается уравнением Ландау–Лифшица–Гильберта, модифицированным с учетом обменного взаимодействия с индуцированной спиновой плотностью в сверхпроводнике. Сверхпроводящие корреляции учитываются при помощи линеаризованного уравнения Узалея [1] со специальными граничными условиями на интерфейсе. Учитывая периодический характер прецессии намагниченности, уравнение Узалея можно записать

в представлении Фурье [2], что позволяет исследовать стационарную задачу в частотном пространстве.

Численные расчёты в MATLAB с дискретизацией по толщине и поиском собственных мод дают трехмерные графики отклика и спектры перпендикулярных стоячих спиновых волн. Увеличение обменного поля и «раздвигает» обменные моды относительно главной ФМР-моды, делая их разделение более выраженным; рост поверхностного обмена усиливает интерфейсное закрепление спинов и асимметрию мод, что может обеспечить удобный способ перенастройки дисперсии спиновых волн. Полученные зависимости полезны для проектирования сверхпроводящих магнанных резонаторов, фильтров и метаматериалов с программируемой модовой структурой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда (проект № 23-72-00018).

Литература

1. Turkin Y. V. Spin dynamics in superconductor/ferromagnetic insulator hybrid structures with precessing magnetization / Y. V. Turkin, N. Pugach // Beilstein J. Nanotechnol. – 2023. – № 14. – p. 233-239.
2. Brinkman, A., et al. Microscopic nonequilibrium theory of double-barrier Josephson junctions // Phys. Rev. B, 2003, v. 68, Iss. 22, p. 224513.

© Артамонов И.А., Демьянов С.Ю.,
Туркин Я.В., Пугач Н.Г., 2025

УДК 538.945, 538.955

ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВОЙ РЕШЕТКИ НА ДИСПЕРСИЮ СПИНОВЫХ ВОЛН В ГИБРИДНОЙ СТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК

Алексеев П.Л., Туркин Я.В., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

В данном докладе теоретически рассматривается влияние вихревой решетки на дисперсию спиновых волн в тонкой пленке ферромагнитного диэлектрика, контактирующей со сверхпроводником s-типа. Влияние на дисперсию спиновых волн происходит за счет частичного воздействия эффекта Мейснера, и вихрей Арбикосова в сверхпроводнике, а также наведенной намагниченности на интерфейсе.

С прохождением магнитного поля через сверхпроводник происходит его затухание, а на близком расстоянии к сверхпроводнику наблюдается

неоднородность поля. В случае прецессии намагниченности внутри гибридной структуры на границе ферромагнетик/сверхпроводник создается наведенная намагниченность, которая может играть роль нестационарного возбуждения на границе раздела. В результате оба фактора оказывают взаимосвязанное влияние на спектр спиновых волн, определяя характер их дисперсии в гибридной структуре ферромагнетик/сверхпроводник.

Теоретическая модель описываемого эффекта построена в формализме системы линеаризованных нестационарных уравнений Узалея [1] и Ландау-Лифшица-Гильберта, описывающих связанный линейный отклик сверхпроводника и ферромагнитного диэлектрика. Возбуждение спиновых волн на границе раздела магнитного изолятора и сверхпроводника описывается с помощью нестационарных граничных условий, учитывающих частичное закрепление намагниченности и изменение спектра магнонов в результате эффекта близости со сверхпроводником. Система линеаризованных уравнений Узалея и Ландау-Лифшица-Гильберта решена аналитически и численно. Полученные результаты позволяют определить зависимость возбуждения мод обменных спиновых волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда (проект № 23-72-00018).

Литература

1. Brinkman, A., et al. Microscopic nonequilibrium theory of double-barrier Josephson junctions // Phys. Rev. B, 2003, v. 68, Iss. 22, p. 224513.
2. Turkin Y. V. Spin dynamics in superconductor/ferromagnetic insulator hybrid structures with precessing magnetization / Y. V. Turkin, N. Pugach // Beilstein J. Nanotechnol. – 2023. – № 14. – p. 233-239.

© Алексеев П.Л., Туркин Я.В., Пугач Н.Г., 2025

УДК 538.945, 538.955

**ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА СТОЯЧИХ СПИНОВЫХ ВОЛН ПОД
ВЛИЯНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ В
ГИБРИДНОЙ СТРУКТУРЕ
СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК**

Туркин Я.В., Пугач Н.Г.

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Гибридные наноструктуры на базе ферромагнитных диэлектриков и сверхпроводников перспективны для сверхпроводящей спинтроники, гибридной магноники и перестраиваемых метаматериалов. В работе анализируется двухслойная система грязный сверхпроводник/ферромагнитный диэлектрик и исследуется, как эффект близости изменяет спектр перпендикулярных стоячих спиновых волн в магнитном слое, приводя к дополнительным резонансным особенностям в высокочастотной магнитной восприимчивости. Расчёты магнитной восприимчивости выполнены с использованием уравнения Ландау–Лифшица–Гильберта с граничными условиями, модифицированными для учёта неравновесной спиновой плотности, формируемой на интерфейсе за счёт поверхностного обменного взаимодействия. Спиновый отклик сверхпроводника определён в рамках линейного отклика, используя линеаризованное уравнение Узалея–Келдыша для режима грязного сверхпроводника [1,2]. Влияние прецессии намагниченности на динамику сверхпроводящего конденсата учтено через динамические граничные условия при малом угле спинового смешивания. Предложенные результаты могут применяться при анализе ФМР-экспериментов для двухслойных гибридных наноструктур ферромагнетик/сверхпроводник.

Работа выполнена при поддержке научно-учебной группы № 24-00-038 «Научно-учебная группа Квазиклассической динамики» НИУ ВШЭ.

Литература

1. Brinkman, A., Golubov, A.A., Rogalla, H., Wilhelm, F. K., Kupriyanov, M. Yu. // Phys. Rev. B., 2003, v. 68(22). p. 224513.
2. Silaev, M. A. // Phys. Rev. B., 2021, v. 102(18), p. 180502.

© Туркин Я.В., Пугач Н.Г., 2025

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

УДК 538.911

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ АНИЗОТРОПНЫХ КАПЕЛЬ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Хабибуллина А.А., Кудрейко А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Жидкие кристаллы представляют собой перспективные материалы для создания «умных» устройств и биосенсоров [1]. В работе исследовались ориентационные структуры в жидкокристаллических каплях, осажденных на фоточувствительную поверхность. Воздействие линейно-поляризованного света на пленку фотоориентанта приводит к анизотропному распределению в ориентации длинных осей молекул азокрасителя (рис. 1 (а)). Теоретический анализ конфигурации директора выполнен в программе Nemaktis (см. рис. 1 (б)). Моделирование основано на обобщенном методе распространения светового пучка в двулучепреломляющей среде [2].

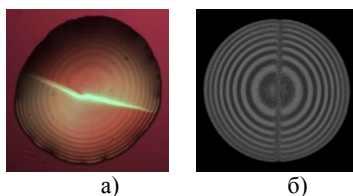


Рис. 1. (а) Микроскопическое изображение капли ЖК 5СВ на облученной линейно-поляризованным светом; (б) Компьютерно смоделированное изображение аналогичной капли

Созданная модель может оценивать, насколько чувствителен оптический отклик к тому или иному материальному параметру.

Литература

1. Kudreyko A., Chigrinov V. Optical Biosensing of Polarized Light // Crystals – 2023. – Т. 13. – №. 12. – С. 1680.
2. Poy G., Žumer S. Physics-based multistep beam propagation in inhomogeneous birefringent media // Optics Express. – 2020. – Т. 28. – №16. – С. 24327-24342.

© Хабибуллина А.А., Кудрейко А.А., 2025

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ И ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В БИНАРНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ МЕДИ Cu_2X ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$)

Давлетшина А.Д., Латыпова А.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Интерес к исследованию явлений электронного и ионного переноса в халькогенидах меди и серебра вызван тем, что они, обладая полупроводниковыми свойствами, являются перспективными термоэлектрическими материалами [1, 2].

В данной работе представлены результаты расчета энергии связи в халькогенидах меди Cu_2X ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$) в кубической фазе $Fm\bar{3}m$. Расчеты выполнены с использованием программного пакета BIOVIA Materials Studio DMol³ [3].

Согласно полученным результатам, в ряду S-Se-Te наибольшей энергией связи обладают теллуриды меди Cu_2Te (табл. 1). Эти данные хорошо согласуются с литературными данными по степени ионности химической связи, оцененными по соотношению электроотрицательностей [4].

Таблица 1. Энергия связи и величина ионной проводимости в Cu_2X ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$)

Соединение	$E_{\text{св}}$, эВ/пару ионов	σ , Ом ⁻¹ см ⁻¹
Cu_2S	16,11	1,60 [5]
Cu_2Se	17,23	1,51 [5]
Cu_2Te	19,03	0,30 [5]

Таким образом, одним из факторов, влияющих на величину ионной проводимости, является энергия связи. Меньшая величина энергии связи способствует уменьшению энергии активации, что увеличивает подвижность катионов и соответственно приводит к росту ионной проводимости.

Литература

1. Zhag, Y.-X., Ge, Zh.-H. // Materials Lab., 2024, 3(1), P. 230017. doi: <https://doi.org/10.54227/mlab.20230017>
2. Chen, X.-Q., Fan, Sh.-J., Han, Ch., Wu, T., Wang, L.-J., Jiang, W., Dai, W., Yang, J.-P. // Rare Met., 2021, 40 (8), pp.2017-2025. <https://doi.org/10.1007/s12598-020-01698-6>
3. <https://biovia-materials-studio-2017.updatestar.com/>
4. Горбачев, В.В. // М.: Металлургия, 1980, 132 с.
5. Иванов-Шиц, А.К., Мурин И.В. // СПб.: Изд-во С.Петербург. ун-та, 2010, 2 т., 1000 с.

© Давлетшина А.Д., Латыпова А.Р., 2025

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ
УГЛЕРОДНЫХ ФАЗ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА И ГРАФЕНА**Кулакова Е.А.^{1,2}, Грешняков В.А.^{1,2}¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,
г. Калининград, Россия

Структуры на основе алмаза и графена могут иметь более широкий ряд свойств за счет существования полиморфных модификаций, из которых они состоят [1-3]. Из таких соединений к настоящему времени получены диафены [4]. Однако число возможных структур диафеновых соединений еще не установлено, поэтому данное исследование посвящено расчету структуры новых типов диафенов.

Структура нового диафена была получена в результате сшивки 3С алмаза и графена (рис. 1) в рамках молекулярно-механических расчетов. Элементарная ячейка данной фазы моноклинная со следующими параметрами: $a = 19.9 \text{ \AA}$, $b = 13.2 \text{ \AA}$, $c = 4.08 \text{ \AA}$; $\beta = 124.8^\circ$. Плотность диафена-СМ(10,5) равна 3.11 г/см^3 , доля sp^2 гибридизированных атомов составляет 30 %. Расстояние между двумя слоями в графеновой области данной наноструктурированной фазы близко к межслоевому расстоянию в графите ($\sim 3.33 \text{ \AA}$), что указывает на высокую степень её устойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 25-72-31032.

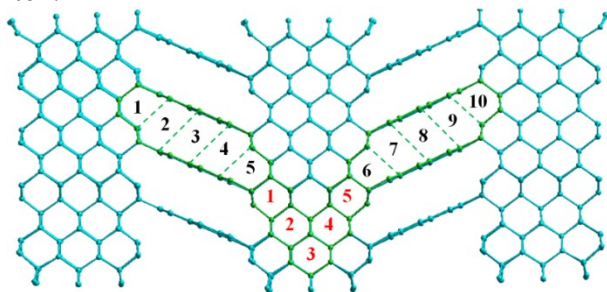


Рис. 1. Фрагмент структуры углеродного диафена-СМ(10,5)

Литература

1. Беленков, Е. А., Грешняков, В. А. // ФТТ, 2013, т. 55, с. 1640-1650.
2. Беленков, Е. А., Грешняков, В. А. // ФТТ, 2016, т. 58, с. 2069-2078.
3. Грешняков В. А. // ЖСХ, 2023, т. 64, № 2, с. 106790.

4. Luo, K., Liu, B., Sun, L., Zhao, Z., Tian, Y. // Chinese Physics Letters, 2021, v. 38, No.2, pp.1-6.

© Кулакова Е.А., Грешняков В.А., 2025

УДК 539.374.6

ФОРМИРОВАНИЕ НАНООСТРИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТИТАНА

Гладких И.А.^{1,2}, Тимиряев Р.Р.¹, Хисамов Р.Х.¹, Мулюков Р.Р.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

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

Металлы и сплавы с наностоиями на поверхности имеют перспективу применения, например, в качестве полевых катодов, поглотителей акустических и оптических волн, противообледенительных и антибактериальных материалов [1,2]. Получить наностоия на поверхности можно, например, ионным облучением [3]. Для практического применения важным является однородное распределение наностоий с определенной периодичностью их расположения по поверхности. Однако получение такой однородной наностоийной поверхности на металле не так просто.

В данной работе рассматривается влияние ультрамелкозернистой структуры в титане на формирование однородной наностоийной поверхности при ионном облучении. В эксперименте использовали ультрамелкозернистые образцы титана, полученные с помощью интенсивной пластической деформации при различных давлениях. Облучение образцов проводили ионами аргона. Морфологию поверхности исследовали сканирующей электронной микроскопией.

Показано, что однородность наностоий по поверхности зависит от размера зерен, условий деформации ультрамелкозернистых образцов титана. Формирование наностоий на ультрамелкозернистом титане при ионном облучении обсуждается в рамках моделей физического распыления.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПСМ РАН.

Литература

1. Auciello O. // JVST. 1981. V. 19. P. 841.
2. Linklater D.P., Ivanova E.P. // NanoToday. 2022. V.43. 101404.
3. Mulyukov R. R., Khisamov R. K., Baimova J. A., Borisov A. M., Baimiev A. K., Musabirov I. I., Ovchinnikov M. A., Safarov I. M., Timiryayev R. R. // Materials Letters. 2024. V. 377. 137455.

© Гладких И.А., Тимиряев Р.Р., Хисамов Р.Х., Мулюков Р.Р., 2025 г.

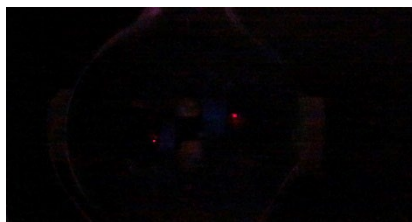
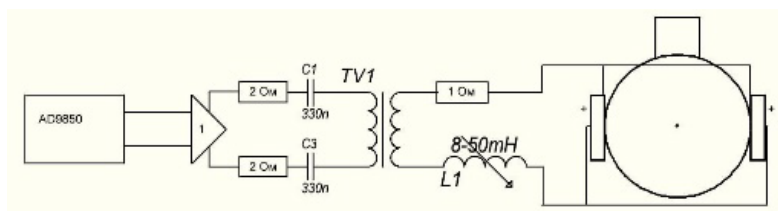
ОБ ЭФФЕКТЕ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р.

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Россия

Сонолюминесценция (СЛ) – явление возникновения вспышки света при схлопывании кавитационных пузырьков, рождённых в жидкости мощной ультразвуковой волной. Одна из существующих в литературе теоретических моделей основана на уравнении Рэлея-Плессета [1]. В рамках данной модели свечение объясняется тем, что при резком сжатии пузырька температура в нём сильно повышается, что приводит к частичной ионизации газа, т.е. гипотеза утверждает, что светится газ внутри пузырька.

Целью нашей работы было: создание установки для стабильного получения СЛ, качественное исследование свойств эффекта и условий его получения, оценка температуры пузырька по спектру излучения. Ниже приведены схема собранной нами установки и фотографии полученных светящихся пузырьков.



Мы наблюдали некоторые качественные закономерности (зависимость частоты, на которой наблюдалось свечение, от уровня воды в колбе и от температуры). СЛ наблюдалась при температуре воды от 7°C до 18°C, и было замечено, что оптимальной является температура 12°C. Резонансная частота зависела от уровня воды в колбе, причем при повышении уровня частота уменьшалась, а при уменьшении увеличивалась. С возрастанием температуры жидкости, резонансная

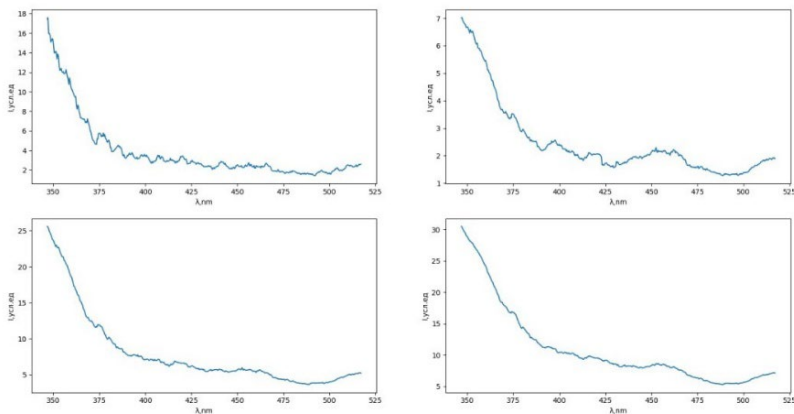
частота также увеличивалась. Для появления СЛ амплитуда напряжения на микрофоне должна была превышать определенный порог: 540 мВ для колбы с кольцами и 2В для колбы с дисками. Амплитуда напряжения на динамиках в момент наблюдения СЛ сильно варьировалась (от 280В до, оценочно, 600В). Также замечено существование порога напряжения, после которого кавитация становилась неустойчивой и исчезала, пороговое напряжение сильно зависело от ряда факторов: уровня воды в колбе, ее наклона, внешних вибраций. Наблюдения показали, что существует оптимальный уровень воды в колбе, при котором величина отклика, определяемая как отношение максимальной амплитуды микрофона к амплитуде динамиков, максимальна. СЛ наблюдалась всегда только вблизи этого уровня.



На осциллограммах, снятых во время наблюдения СЛ, мы видим появление дополнительных колебаний, амплитуда и форма их непостоянны, но количество периодов на один период основного синуса всегда, при наблюдении СЛ, находилось в диапазоне 15-19 шт. Это позволяет утверждать, что такие дополнительные колебания являются признаком кавитации. Есть гипотеза, что это ударные волны, вызванные колебаниями пузырька, однако явление до конца не понятно и требует дальнейшего изучения.

При попытках изучить спектр СЛ главной трудностью стало выровнять светящийся пузырек, окно спектрометра и линзу. Частично проблема была решена при помощи лазера. Однако спектр удалось снять лишь в довольно узком диапазоне длин волн (см. графики ниже). Он оказался непрерывным.

В рамках тепловой модели можно предположить, что спектр описывается моделью излучения абсолютно черного тела, максимум лежит левее 347 нм, можно оценить снизу температуру пузырька из закона Вина: $T > b/\lambda_{\text{left}} \approx 8350\text{K}$.



Литература

1. Barber, B. P., Hiller, R. A., L'ofstedt, R., Putterman, S. J., Weninger, K. R. Defining the unknowns of sonoluminescence // Physics Reports, 1997, v. 281(2), pp. 65-143.

© Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р., 2025

УДК 544.74

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И СТРУКТУРА ОКСИДА ГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХАММЕРСА

Гайфуллина Э.Р.^{1,2}, Кузьмина Е.В.², Юсупов А.Р.¹

¹Башкирский государственный педагогический университет,
г. Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

В течение длительного времени научные исследователи активно разрабатывают новые подходы к синтезу графена. Метод Хаммерса остается одним из первых и наиболее изученных методов получения объемного графена посредством химического окисления природного или искусственного графита. Эффективность процесса зависит от соотношения углерода и кислорода в конечном продукте [1].

Цель данной – синтез оксида графена (ОГ) методом Хаммерса с использованием KMnO_4 , NaNO_3 и H_2SO_4 и анализ структуры образца. Процедура включала смешивание 3 г графита с NaNO_3 и H_2SO_4 , добавление KMnO_4 , нагрев, добавление воды и H_2O_2 , очистку смесью HCl и фильтрацию, сушку. Выход синтезированного ОГ составил 4,809 г.

Для исследования структуры оксида графена и исходного графита применялись методы сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), ИК-Фурье, КР, низкотемпературной сорбции азота и кондуктометрии.

СЭМ-снимки показали слоистые, морщинистые структуры ОГ с толщиной слоев 10-32 нм и шероховатой поверхностью. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия выявила незначительные примеси серы, хлора, калия и марганца. Соотношение углерода и кислорода – 2,24, что указывает на высокий уровень окисления, снижение электропроводности и увеличение химической активности.

КР-спектры ОГ показали увеличение соотношения D/G (0,79) по сравнению с графитом (0,22), что свидетельствует о нарушении упорядоченности структуры из-за разрушения π -связей и образования кислородсодержащих групп.

ОГ имеет увеличенную удельную площадь поверхности (63 м²/г) и высокую сорбционную активность, что делает его перспективным для использования в композитах, системах доставки лекарств, аккумуляторах и сенсорах.

Литература

1. Ciszewski M., Mianowski A. Survey of graphite oxidation methods using oxidizing mixtures in inorganic acids //Chemik. – 2013. – Т. 67. – №. 4. – С. 267-274.

© Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., Юсупов А.Р., 2025

УДК 544.72

ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

Гайфуллина Э.Р.^{1,2}, Кузьмина Е. В.², Юсупов А. Р.¹

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Аллотропные модификации углерода, такие как графит, алмаз, фуллерены, углеродные нанотрубки (УНТ), графен и аморфный углерод, находят широкое применение в различных областях, включая электронику, аккумуляторные технологии, биомедицину и композитные материалы. Для их эффективного использования необходимо глубокое понимание атомной структуры и строгий контроль качества.

Рамановская спектроскопия позволяет бесконтактно анализировать углеродные материалы [1]. В рамках данного исследования

использовался Раман-спектрометр EnSpectr R532, оснащённый лазером с длиной волны 532 нм, для регистрации спектров в диапазоне 150-6000 см⁻¹.

Анализ спектральных данных, полученных в ходе эксперимента, позволил провести комплексную оценку внутренних дефектов и степени кристалличности углеродных материалов. Идентификация специфических частотных колебаний в спектрах указывает на наличие дислокаций, точечных дефектов или изменения фазового состава материала. Обработка данных позволила определить ключевые количественные характеристики, включая средний размер кристаллитов и распределение дефектов внутри структуры материала. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность прогнозирования механических и электрофизических свойств разрабатываемых конструкций.

Комбинационная рамановская спектроскопия предоставляет детальную информацию о дефектах кристаллической решётки и свойствах атомов углерода. Данный метод способствует разработке высококачественных компонентов для современных технологий, требующих инновационных решений.

Литература

1. Korucu H. et al. The detailed Characterization of graphene oxide // Chemical Papers. – 2023. – Т. 77. – №. 10. – С. 5787-5806.

© Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., Юсупов А.Р., 2025

УДК 544.72

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

Гайфуллина Э.Р.^{1,2}, Кузьмина Е.В.²

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Материалы на основе углерода, включая графит, графен и углеродные наноструктуры, играют ключевую роль в современных технологических достижениях благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Применение этих материалов охватывает широкий спектр отраслей, включая электронику, энергетику и производство композитных материалов. Для дальнейшего улучшения их характеристик и разработки инновационных решений необходимо детальное изучение атомной структуры данных материалов [1].

Рентгенофазовый анализ (РФА) является высокоэффективным методом для изучения кристаллической структуры углеродных соединений. Он позволяет определить фазовый состав, размеры кристаллитов, а также выявить наличие дефектов кристаллической решетки. Настоящее исследование направлено на детальное изучение структуры углеродных материалов с применением методов РФА. Полученные данные предоставляют информацию о микроструктурных параметрах, таких как размер зерен и степень графитизации, что является критически важным для разработки и оптимизации углеродных материалов.

Для достижения поставленной цели был разработан комплексный подход, включающий этапы подготовки образцов углеродных материалов и последующего анализа данных с использованием специализированных компьютерных программ для кристаллофизического анализа. В результате исследования были получены данные о фазовом составе и особенностях микроструктуры изучаемых углеродных материалов.

Полученные результаты подтверждают надежность рентгенофазового анализа в качестве инструмента для исследования структуры углеродных материалов и открывают новые перспективы для их эффективного применения в научно-технической области.

Литература

1. Khan H. et al. Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD //The Canadian journal of chemical engineering. – 2020. – Т. 98. – №. 6. – С. 1255-1266.

© Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., 2025

УДК 544.74

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Гайфуллина Э.Р.^{1,2}, Кузьмина Е.В.², Юсупов А.Р.¹

¹Башкирский государственный педагогический университет
им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Современный этап научно-технического прогресса характеризуется повышенным интересом к исследованию углеродных наноматериалов (УНМ), которые занимают одно из ведущих мест в области материаловедения благодаря своим уникальным характеристикам, таким как высокая прочность, теплопроводность и электропроводность. Эти свойства делают углеродные наноматериалы приоритетными

кандидатами для реализации инновационных решений в разнообразных отраслях, включая электронную промышленность, медицину и энергетику.

Данная работа посвящена исследованию процесса синтеза углеродных наноматериалов на подложке из алюминиевой фольги. Формирование углеродных нанотрубок происходило посредством метода химического осаждения из газовой фазы при постоянной температуре 600°C. Для оптимизации процесса применялись металлические катализаторы, в частности, никель. Идентификация синтезированных материалов осуществлялась с использованием методов электронной сканирующей микроскопии (СЭМ) и спектроскопии комбинационного рассеяния (КР).

Проведённый КР анализ выявил наличие трёх характерных полос с максимумами при 1352, 1600 и 2728 см^{-1} . Отношение интенсивностей D/G-полос составило значение 0.98. На основании методики, изложенной в работе [1], были произведены вычисления параметров структуры синтезированных углеродных материалов.

Средний размер кристаллитов в синтезированном материале составляет 12 нм, что согласуется с данными, полученными для коммерческих УНМ. Однако средний размер зерен в два раза меньше и составляет 10 нм.

Литература

1. Колесов Е. А. Характеризация графена методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. – 2015.

© Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., Юсупов А.Р., 2025

УДК 537.322.1

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ПРИМЕРЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Ененко А.А., Бучельников В.Д., Матюнина М.В.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В связи с интенсивным развитием нейросетей в активную фазу входит применение данной технологии для поиска и предсказания перспективных термоэлектрических материалов, основываясь лишь на ограниченном объеме входящих данных. Тем не менее для первичного обучения нейросетей необходимы объективные данные, получаемые расчётными методами в том числе с применением теории функционала плотности.

В настоящей работе представлен программный пакет, предназначенный для быстрой оперативной оценки термоэлектрических свойств различных материалов (в том числе решеточной составляющей теплопроводности и коэффициента термоэлектрической добротности ZT). Основа пакета написана на языке Python, формирующей поток вычислений с помощью известных сторонних программ. Так, для вычислений в рамках теории функционала плотности используется широко известный пакет «VASP» [1], расчет решеточной теплопроводности проводится в рамках квазидебавевского приближения, расчет транспортных свойств проводится при помощи программы «BoltzTrap2» [2]. Применение специализированных библиотек «Fireworks» и «Automate» позволяет добиться высокого уровня автоматизации вычислений, избавляющих оператора от необходимости совершения дополнительных манипуляций с промежуточными данными.

В зависимости от поставленных задач с помощью пакета можно получать как качественные оценочные данные с небольшим временем расчета, так и более детальные зависимости транспортных свойств от температуры и концентрации носителей для дальнейшего аналитического исследования.

Литература

1. Kresse, Georg et al., Physical review B, 54, 16, 11169, 1996, APS
2. G. K. H. Madsen et al., Computer Physics Communications, vol. 231, pp. 140–145, Oct. 2018.

© Ененко А.А., Бучельников В.Д., Матюнина М.В., 2025

УДК 544.034

ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С.

НАНОКОМПОЗИТОВ $K_{0.03}Cu_{1.90}S$, $K_{0.07}Cu_{1.86}S$, $K_{0.09}Cu_{1.83}S$

Ихсанова Я.Б.¹, Кубенова М.М.², Ишембетов Р.Х.¹, Балапанов М.Х.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан

Легированные калием сульфиды меди являются перспективными функциональными материалами [1-3]. В данной работе исследованы ионная проводимость σ_i и ионная термо-э.д.с. нанокompозитных сплавов $K_{0.03}Cu_{1.90}S$, $K_{0.07}Cu_{1.86}S$, $K_{0.09}Cu_{1.83}S$ в температурном интервале 20 - 430 °С. На рис. 1 представлены результаты измерений.

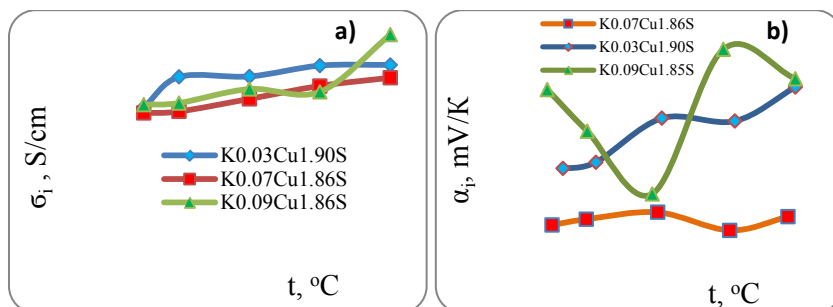


Рис. 1. Ионная проводимость (а) и ионный коэффициент Зеебека (б) образцов в зависимости от температуры

Ионная проводимость образцов, как видно на рис.1а, в целом снижается при замещении меди калием. Энергии активации ионной проводимости $K_{0.03}Cu_{1.90}S$ и $K_{0.07}Cu_{1.86}S$ составляют 0.21 и 0.19 эВ; в $K_{0.09}Cu_{1.83}S$ до 380 °С энергия активации равна 0.18 эВ. Наблюдаются очень высокие значения ионного коэффициента Зеебека (рис.1б).

Литература

1. Sakhabayeva, S. M.; Balapanov, M. Kh.; Kuterbekov, K. A. et al. // Recent Contributions to Physics, 2021, 4 (79), pp. 72-81.
2. Kuterbekov, K. A.; Balapanov, M. Kh.; Kubenova, M. M. // Letters on Materials, 2022, т. 12, № 3 (47), с. 191-196.
3. Баишева, А. Х.; Палымбетов, Р. Ш.; Сахабаева, С. М.; Балапанов М. Х. / В книге: Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: Тезисы XII Международной школы-конференции. Отв. редактор Л.А. Габдрахманова, Уфа, 2021. с. 166-167.

© Ихсанова Я.Б., Кубенова М.М.,
Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х., 2025

УДК 544.034

ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНЫХ СУЛЬФИДОВ $K_{0.03}Cu_{1.90}S$, $K_{0.07}Cu_{1.86}S$, $K_{0.09}Cu_{1.83}S$

Салихова Л.Р.¹, Кубенова М.М.², Ишембетов Р.Х.¹, Балапанов М.Х.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Евразийский национальный университет, г. Астана, Казахстан

Легированные калием сульфиды меди являются перспективными термоэлектрическими материалами [1-3]. В данной работе исследованы коэффициент Зеебека α_e и проводимость σ_e нанокompозитных сплавов

$K_{0.03}Cu_{1.90}S$, $K_{0.07}Cu_{1.86}S$, $K_{0.09}Cu_{1.83}S$ в температурном интервале 20 - 430 °С. На рис. 1 представлены результаты измерений.

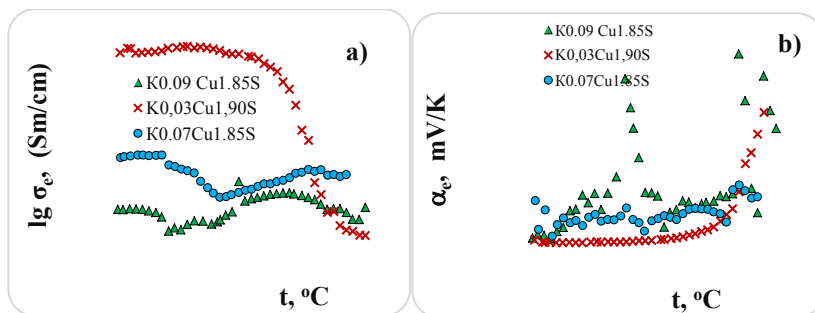


Рис. 1. Десятичный логарифм проводимости (а) и коэффициент Зеебека (б) образцов в зависимости от температуры

По результатам измерений были рассчитаны значения термоэлектрической мощности $P = \alpha_e^2 \sigma_e$ образцов. Максимальное значение $\alpha_e^2 \sigma_e = 2.4 \mu WK^{-2} cm^{-1}$ получено для состава $K_{0.09}Cu_{1.85}S$ при 361 °С, также отмечен пик $\alpha_e^2 \sigma_e = 2.0 \mu WK^{-2} cm^{-1}$ при 175 °С.

Литература

1. Kubenova, M. M.; Balapanov, M. Kh.; Kuterbekov, K. A. et al. // Eurasian J. of Physics and Func. Mater. 2024. V. 8 (1). pp. 45-51.
2. Kubenova, M. M.; Balapanov, M. Kh.; Ishembetov R. Kh. et al // Euras. J. Phys. and Funct. Mater., 2023. V. 7 (3). pp. 197-206.
3. Тулякаев, М. И.; Ишембетов, Р. Х.; Балапанов М. Х. / В книге: Теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов в конденсированных средах. Мат. XI Межрегиональной школы-конференции молодых ученых. Уфа, 2025. С. 40-41.

© Салихова Л.Р., Кубенова М.М.,
Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х., 2025

УДК 538.22,536.41,536.63

ТЕРМОЛИЗ ПИРОХЛОРОВ $TbXnH_2-3XSB_2O_6 \cdot nH_2O$ ($X = 0,33, 0,67$)

Ульянов М.Н., Агеев К.А., Захарьевич Д.А.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Сегодня полиантимоновая кислота (РАА) $(Sb_2O_5 \cdot nH_2O, \text{ где } 2 < n < 6)$ и соединения на ее основе являются перспективными ионообменными протонопроводящими материалами. Чаще всего РАА имеет структуру типа пирохлора [1], но существуют также сурьмяные кислоты со

структурой типа ильменита или кубической структурой типа KSbO_3 [2]. Высокая проводимость сурьмяных кислот со структурой типа пирохлора связана с их особенностями, которые заключаются в наличии каналов, проникающих в каркас соединения. Каналы заполнены ионами оксония и молекулами воды. Удаление последнего приводит к образованию безводных форм, содержащих только OH -группы или относительно изолированные протоны. Наблюдается значительное увеличение проводимости (более чем на 3 порядка) [3] при увеличении количества молекул воды на молярную единицу Sb_2O_5 . Ионообменные и магнитные свойства, термолит РАА были подробно изучены в работах [4-7]. В данном исследовании мы представляем результаты исследований магнитных свойств, состава и структуры фаз, образующихся при термолит $\text{Tb}_x\text{H}_{2-3x}\text{Sb}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ гидроантимонатов тербия, и определения температурных диапазонов их стабильности. Термические исследования $\text{Tb}_x\text{H}_{2-3x}\text{Sb}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ проводили с использованием синхронного теплового анализатора Netzsch STA 449F5 Jupiter с регистрацией изменения массы образца и скорости ее изменения при нагревании со скоростью 10 град/мин в диапазоне температур 30-700°C. Показано, что монотонное уменьшение массы вещества происходит с повышением температуры от 30 до 700°C для соединения $\text{Tb}_{0,67}\text{Sb}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Потеря массы, связанная с удалением газообразных продуктов, составила 18,28%. При нагревании до 700°C наблюдается 3 стадии термического превращения: до 260°C (стадия 1), 260-430°C (стадия 2), 430-700°C (стадия 3). На основе анализа газообразных продуктов, полученных методом масс-спектропии, были предложены уравнения реакций термических превращений, и определен состав химических фаз на каждой стадии термолит, исходя из предположения, что количество атомов сурьмы при термических превращениях не изменяется, а термические превращения с повышением температуры до 700°C при $\text{Tb}_{0,67}\text{Sb}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ происходят в структуре типа пирохлора [7].

Литература

1. Белинская Ф. А. [и др.], рус. Химия. Откр. 49 (1980), 933-952.
2. Розьер Дж. [и др.], Ann. Rev. Mater Res. 33 (2003), 503-555.
3. Ярославцев А. Б. [и др.], рус. Химия. Откр. 72(5) (2003), 393-421.
4. Ярошенко Ф. [и др.], Дж. Электрохимия. Наука. Англ. 13(6) (2023), 911-921.
5. Ярошенко Ф. А. [и др.], Чел. Физика. Математика. Дж. 8(4) (2023), 605-616.
6. Ульянов М. Н. [и др.], Дж. Магн. Магн. Мат. 604 (2024), 172294.
7. Коваленко Л. Ю. [и др.], Инорг. Матер. 55(6) (2019), 586-592.

© Ульянов М.Н., Агеев К.А., Захарьевич Д.А., 2025

**СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГИДРАТИРОВАННЫХ
АНТИМОНАТОВ ТЕРБИЯ**Ульянов М.Н.¹, Волегов А.²¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия²Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета, г. Екатеринбург, Россия

В последние годы наблюдается значительный рост интереса к сжижению водорода и других промышленных газов с использованием технологии магнитного охлаждения [1]. Прежде всего, интерес к зеленому водороду вызван тем фактом, что, производимый из возобновляемых источников энергии, он является одним из наиболее экологически чистых видов топлива, в идеале не выделяющим углерода и не загрязняющим атмосферу [2]. Несмотря на обилие различных материалов, поиск оптимального соединения, перспективного для технологии магнитного охлаждения, в том числе при криогенных температурах, продолжается. Поэтому целью исследования является разработка метода синтеза новых функциональных материалов на основе полиантимоновой кислоты (ПАА).

Это исследование является продолжением серии исследований свойств РАА [3-4]. В данной статье представлены результаты исследований синтеза и всестороннего анализа влияния тербия на физико-химические свойства и структуру, а также магнитные свойства РАА. Тербий был выбран не случайно. Соединения на основе тербия являются одними из самых мощных магнитотвердых материалов и обладают гигантским МСЕ [5]. Определяется температура Кюри–Вейсса ($\theta_{CW} = -5$ К). Отрицательное значение θ_{CW} указывает на наличие слабых антиферромагнитных сверхобменных взаимодействий в системе Tb-РАА. Показано, что изменение магнитной энтропии ΔS_m при $T = 3$ К составляет $\sim 2,2$ Джкг⁻¹К⁻¹, 4,7 Джкг⁻¹К⁻¹ и 6,2 Джкг⁻¹К⁻¹ для $\mu_0 H = 1$ Тл, 3 Тл и 7 Тл соответственно. Соответствующие значения РС составляют около 8,4 Джкг⁻¹ и 89 Джкг⁻¹ для $\mu_0 H = 1$ Т и 7 Т соответственно.

Литература

1. Дж. Лай и др., Акт матер. 220, 117286 (2021).
2. Сазали Н., Инт. Дж. Гидрог. Энергия 45, 18753-18771 (2020).
3. Ярошенко Ф. и др., Дж. Электрохим. Наука. Англ. 13(6), 911-921 (2023).
4. Ульянов М. Н. и др., Дж. Магн. Магн. Матер. 604, 172294 (2024).
5. Таскаев С. и др., Достижения AIP 8, 048103 (2017).

ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ И ПРОФИЛЬ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК PbS С ЛИГАНДАМИ Cl И FA

Ермилов Н.В.¹, Курбангулов А.Р.¹, Биккулова Н.Н.¹, Акманова Г.Р.²

¹Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия

²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Были исследованы плотность состояний и профиль оптического поглощения квантовых точек PbS с лигандами Cl и FA. Плотность состояний и коэффициент оптического поглощения были рассчитаны с использованием метода теории функционала плотности и линейной комбинации атомных орбиталей (DFT-LCAO), встроенного в программное обеспечение Quantum ATK. На рис. 1 показаны рассчитанные значения плотности состояния для FA-лигандированных и квантовых точек.

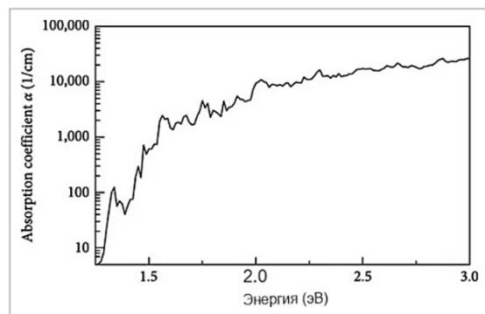


Рис.1. Плотность состояний квантовых точек PbS с лигандами FA

Разница в плотностях состояний может оказывать влияние на оптические свойства квантовых точек, что подтверждается данными об оптическом поглощении. Гибридизация с 2p-орбиталью может быть причиной отсутствия промежуточной зоны для квантовых точек с лигандом FA. Квантовые точки PbS с лигандом FA показали более высокие коэффициенты оптического поглощения из-за устранения промежуточных уровней или полосы, что в свою очередь может указывать на возможное различие в транспортных свойствах PbS с лигандами Cl и FA. Данная работа в перспективе может помочь выявить новый тип повышения подвижности, возникающий из-за перекрытия орбит, что может предоставить важную информацию для дальнейшего совершенствования термоэлектрических устройств.

© Ермилов Н.В., Курбангулов А.Р.,
Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., 2025

МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК PbS С ЛИГАНДАМИ Cl И FAЕрмилов Н.В.¹, Сафаргалиев Д.И.¹, Биккулова Н.Н.¹, Акманова Г.Р.²¹Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Было проведено сравнение электронных и оптических свойств массивов квантовых точек PbS без лиганда и с лигандами Cl (хлор) и FA (формамидиний). Зонная структура, плотность состояний и коэффициент оптического поглощения рассчитывались с помощью пакета DFT, встроенного в программное обеспечение ATK. На рис. 1 представлены результаты моделирования зонной структуры квантовых точек PbS с

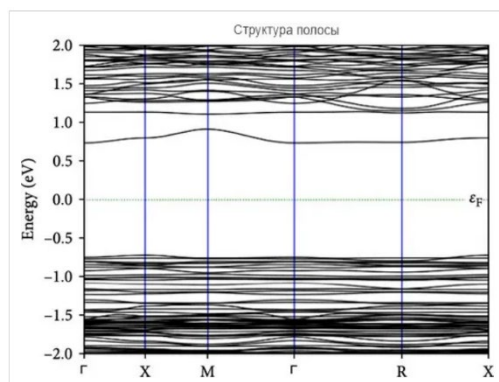


Рис. 1. Рассчитанная зонная структура PbS с лигандом Cl

лигандом Cl. Ширина запрещенной зоны составляет 1,48 эВ, а промежуточная зона находится в диапазоне от 0,5 до 1,0 эВ, больше похожа по электронной структуре на квантовые точки PbS без лиганда. В отличие от квантовых точек PbS с лигандом Cl, квантовые точки PbS с лигандом FA имеют энергетическую щель 1,28 эВ, что примерно на 0,37 эВ меньше, чем энергетическая щель 1,65 эВ для массива квантовых точек PbS без лиганда. Проанализированы электронные свойства квантовых точек PbS с лигандами Cl и FA. Для структуры полос массива квантовых точек с лигандами FA было обнаружено отсутствие признаков формирования промежуточной полосы. Вместо этого сформировался континуум полос с нижней границей полосы при энергии около $\sim 0,6$ эВ.

© Ермилов Н.В., Сафаргалиев Д.И.,
Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ АЗОКРАСИТЕЛЯ SD1

Пересторонина А.В.^{1,2}, Кудрейко А.А.¹, Хазимуллин М.В.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Азокрасители представляют собой обширный класс органических соединений, содержащих азогруппу ($-N=N-$). При облучении линейно-поляризованным УФ-светом тонкие плёнки азокрасителей приобретают анизотропию физических свойств, в частности оптических: дихроизм и двулучепреломление, что обусловлено ориентационным упорядочением длинных осей молекул красителей [1]. Данное свойство позволяет таким материалам хорошо ориентировать жидкие кристаллы, а варьирование условий облучения УФ-светом дает возможность контролировать энергию взаимодействия жидкого кристалла и азокрасителя.

В данной работе экспериментально исследовалась кинетика наведения дихроизма в тонких пленках азокрасителя SD1 (4,4'-bis (4-hydroxy-3-carboxyphenylazo) benzidine-2,2'-sodium disulfonate) под действием линейно-поляризованного УФ-света. Показано, что степень ориентационного упорядочения молекул красителя в пленках достаточно высокое: значение параметра порядка достигает $S = 0.74$ (рис. 1.). В дальнейшем полученные данные будут использованы для изучения механизмов взаимодействия жидких кристаллов с пленками азокрасителей.

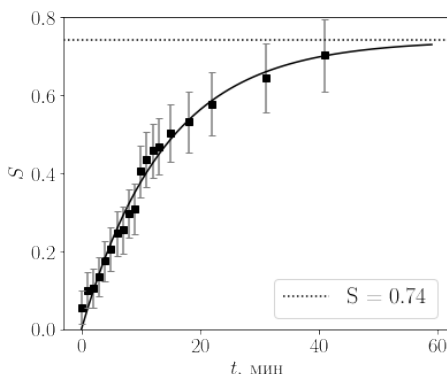


Рис. 1. Изменение параметра порядка плёнки SD1 при воздействии УФ-светом

Литература

1. Chigrinov V., Pikin S., Verevochnikov A., Kozenkov V., Khazimullin M., Ho J., Huang D., Kwok H. Physical review. E Statistical nonlinear and soft matter physics 2004, 69, 061713.

© Пересторонина А.В., Хазимуллин М.В.,
Кудрейко А.А., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ АЗОКРАСИТЕЛЯ SD1

Пересторонина А.В.^{1,2}, Цеплин Е.Е.²¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия²Институт физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Тонкие плёнки фоточувствительных материалов, в частности азокрасителей, широко применяются в качестве ориентирующих слоёв в жидкокристаллических устройствах. Ориентирующие свойства одного из таких материалов, азокрасителя SD1, изучены достаточно хорошо. Согласно существующей модели [1], под действием линейно-поляризованного УФ-света молекулы красителя ориентируются перпендикулярно направлению поляризации. Однако физический механизм фотоиндуцированной переориентации молекул в плёнках SD1 остаётся малоисследованным.

В данной работе проведены измерения спектров поглощения растворов и тонких плёнок SD1 (рис. 1), а также выполнены квантово-химические расчёты молекулярной конформации и электронных спектров методом функционала плотности (TDDFT B3LYP/6-311+G(d,p)). Сравнение экспериментальных данных с результатами расчётов показало, что преимущественная конформация молекулы SD1 не является плоской. К тому же, вектор дипольного момента ориентирован почти перпендикулярно длинной оси молекулы и имеет величину ~15 Д (рис. 1, вставка). Полученные данные противоречат общепринятым представлениям и свидетельствуют о необходимости дальнейших комплексных исследований механизма переориентации молекул азокрасителя SD1 под воздействие УФ-света.

Литература

1. Chigrinov V., Pikin S., Verevochnikov A., Kozenkov V., Khazimullin M., Ho J., Huang D., Kwok H. Physical review. E Statistical nonlinear and soft matter physics 2004, 69, 061713.

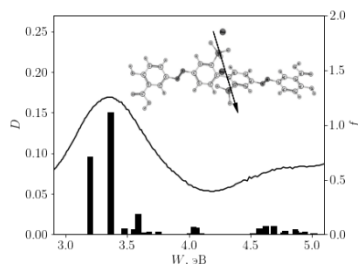


Рис. Спектр поглощения (D) тонкой плёнки SD1 и расчетный электронный спектр синглетных состояний (f). Во вставке – оптимизированная конформация молекулы SD1 и направление ее дипольного момента

ИССЛЕДОВАНИЕ СКАЧКОВ БАРКГАУЗЕНА В СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОКАХ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Амирханов А.М., Хасанов Н.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Эффект Баркгаузена (ЭБ) – скачкообразное изменение намагниченности ферромагнетиков – широко применяется в неразрушающем контроле для диагностики механических напряжений и микроструктурных дефектов [1]. В работе разработан лабораторный датчик на основе ферритовых колец для исследования ЭБ в стальных проволоках и образцах сложной формы. Датчик состоит из двух ортогонально расположенных ферритовых сердечников (марка М2000): намагничивающего (40×25×11 мм, 100 витков) и измерительного (20×12×6 мм, $\sim 10^4$ витков). Переменное магнитное поле (1–50 Гц) создавалось соленоидом, сигнал регистрировался через звуковую карту ПК с полосовой фильтрацией 1–100 кГц. Исследованы образцы с различными механическими напряжениями: стальной нож, проволока, швейцарский нож с зоной пластической деформации. Установлено, что амплитуда сигнала ЭБ коррелирует с уровнем деформации: для деформированных участков зафиксирован рост среднеквадратичного значения (RMS) на 30–50% по сравнению с недеформированными областями. Показано, что датчик чувствителен к локальным изменениям микроструктуры – зоны с остаточными напряжениями генерируют интенсивные высокочастотные составляющие (>50 кГц). На основе экспериментальных данных предложена методика неразрушающей оценки напряжённого состояния стальных объектов.

Литература

1. Barkhausen H. // Phys. Z., 1919, v. 20, pp. 401–403.
2. Jiles D. C. *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*. CRC Press, 2015.

© Амирханов А.М., Хасанов Н.А., 2025

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

УДК 550.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ МЕТОДАМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Билалова А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности разведки и добычи углеводородов. Нефтегазовая отрасль играет ключевую роль в экономике, обеспечивая энергоресурсами множество отраслей промышленности. В современных условиях, когда простые и легкоизвлекаемые месторождения практически исчерпаны, актуальность использования точных методов исследования и оценки пластов-коллекторов становится особенно высокой.

Целью данной работы является изучение методов исследования пластов-коллекторов, определяющие их нефтенасыщенность.

Задачи работы:

1. Рассмотреть физическую природу удельного электрического сопротивления горных пород и факторы, влияющие на его значение, для понимания основ геофизических методов исследования.
2. Изучить методы кажущегося сопротивления, включая градиент-зонд и потенциал-зонд, их принципы работы, конструкцию и применение для оценки характеристик пластов-коллекторов.
3. Рассмотреть возможности бокового каротажа для определения насыщенности пластов и его интеграцию с другими методами геофизических исследований.
4. Изучить индукционный каротаж, его физические основы, методику проведения и преимущества перед другими методами, а также его применение для оценки нефтенасыщенности глубоких пластов.

Вывод: Достоверная оценка нефтенасыщенности пластов-коллекторов достигается за счет комплексного применения методов ГИС, основанных на измерении удельного электрического сопротивления пород. Методы кажущегося сопротивления, бокового и индукционного каротажа, обладая взаимодополняющими возможностями, позволяют с высокой точностью идентифицировать нефтеносные интервалы, оценивать фильтрационно-емкостные свойства и определять границы продуктивных пластов. Интеграция данных этих методов значительно повышает надежность интерпретации и обеспечивает эффективное решение ключевых задач поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов.

Литература

1. Васильев Н. Н. Методы и приборы геофизических исследований скважин. Учебное пособие. Москва: МГРИ-РГГРУ, 2020. 212 с.
2. Дармаев А. В. Новые технологии и подходы интерпретации данных геофизических исследований в горизонтальных скважинах. Вестник РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2016. № 2, с. 60–69.

© Билалова А.А., 2025

УДК 550.3

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ

Мокрушин Д.А., Закиров М.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В работе рассматривается проблема выявления и математического описания функциональной зависимости между параметрами каротажных диаграмм и физико-литологическими характеристиками горных пород, залегающих в разрезе скважины. Основное внимание уделяется анализу комплексных каротажных данных, включающих электрокаротажные, гамма-каротажные, нейтронные, плотностные и другие геофизические методы, с целью выявления количественных закономерностей и установления моделирующих функций, отражающих корреляцию между измеренными геофизическими величинами и ключевыми геолого-геофизическими параметрами, такими как пористость, водонасыщенность, минералогический состав, плотность и скорость распространения сейсмических волн. Решение поставленной проблемы достигается посредством применения современных методов математической статистики, регрессионного анализа, а также инструментов машинного обучения и многомерного анализа данных, что позволяет существенно повысить точность интерпретации каротажной информации и снизить неопределенности в определении литологических и флюидных свойств пластов. Полученные модели способствуют совершенствованию алгоритмов автоматизированного анализа каротажных кривых и обеспечивают надежную основу для интеграции каротажных данных в технологии трехмерного геолого-геофизического моделирования, что в свою очередь увеличивает эффективность процессов разведки и разработки нефтегазовых и минеральных месторождений, а также снижает риск ошибочных интерпретаций и экономические затраты на проведение геологоразведочных работ.

Литература

1. Geophysical research of wells and interpretation of GIS data: textbook. manual / V. N. Koskov, B. V. Koskov. Perm: Publishing House of Perm State Technical University. University, 2007, – 317s.

© Мокрушин Д.А., Закиров М.Ф., 2025

УДК 550.8.053

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ И ВОДЫ ПРИ КОНУСООБРАЗОВАНИИ

Кадияту М., Закиров М.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Одной из причин осложнения работы добывающей скважины является изменение состава притекающей жидкости. Как указывают промысловые исследования [1] причинами преждевременного обводнения скважин могут являться наличие заколонного перетока, негерметичность колонны и конусообразование (рис.1).

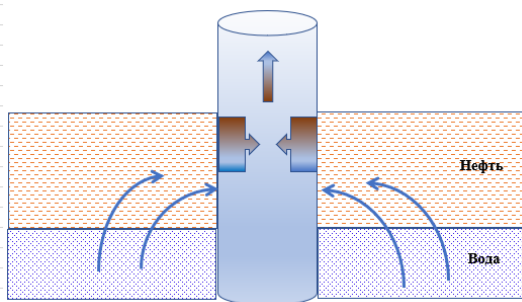


Рис. 1. Геометрия модели конусообразования

Учитывая совместное действие множества факторов на сегодняшний момент конусообразование является малоизученной темой. Поэтому представляет интерес создание математической модели фильтрационного течения при подтягивании воды к подошве перфорированного интервала.

В данной работе была построена модель распределения давления и насыщенности в вертикальной скважине с конусообразованием [2]. В двумерной радиально-вертикальной постановке построены распределения параметров в пласте для прогноза обводнения продукции нефтяной скважины. Созданная математическая модель решалась численно с соответствующими начальными и граничными условиями. Результатами моделирования являются распределения давления, скорости фильтрации нефти и воды. Полученные зависимости можно использовать для прогноза работы скважины.

Литература

1. Валиуллин Р. А. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений: учебное пособие / Р. А. Валиуллин [и др.]. Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. 213 с.

2. Басниев К. С. и др. Подземная гидромеханика: учебник для вузов. М.: Недра, 1993. 416 с.

© Кадияту М., Закиров М.Ф., 2025

УДК 550.8.056

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Алимова М.Р., Вахитова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Актуальность создания достоверных петрофизических моделей обусловила необходимость повышения эффективности разработки месторождений углеводородов для точного прогнозирования фильтрационно-ёмкостных и механических свойств коллекторов.

Рассматриваемые в настоящей работе лабораторные исследования на образцах керна позволяют определить много полезных петрофизических параметров: коэффициент пористости, коэффициент проницаемости, плотность, радиоактивность. Результаты лабораторных измерений необходимы для построения важных корреляционных зависимостей типа «кern-кern»:

1. $K_{пр} = f(K_p)$ для прогноза проницаемости через пористость;
2. $\rho = f(K_p)$ для прогноза плотности.

Цель данной работы заключается в получение входных параметров для создания петрофизической модели. Измерения объёмной плотности и открытой пористости выполняются весовым методом при помощи аналитических электронных весов и сушильного шкафа. Радиоактивность образцов горных пород измеряется с помощью гамма-радиометра РГК-АТ1320С, который вычисляет активность присутствующих в образце радионуклидов, таких как калий (K), торий (Th), уран (U). Прибор для определения проницаемости образцов керна по газу "Дарсиметр" предназначен для определения коэффициента абсолютной газопроницаемости на образцах керна.

Результаты лабораторных исследований образцов керна являются основой для петрофизического моделирования и, в дальнейшем, для проведения исследований, направленных на определение упруго-механических свойств горных пород в лабораторных условиях. Это необходимо для дизайна гидроразрыва пласта, поддержки процесса

строительства скважин и создания геомеханических моделей месторождения.

Литература

1. Fertl W., Chilingarian G., Yen T. Use of Natural Gamma Ray Spectral Logging in Evaluation of Clay Minerals // Published 1 October 1982. *Geology Energy Sources* / DOI: 10.1080/00908318208946036 Corpus ID: 140538876.
2. Дудаев С. А. Геолого-геофизическое обеспечение технологий выделения, оценки и освоения нетрадиционных глинистых коллекторов Предкавказья // Докт. дисс., 2012. Уфа.
3. Вахитова Г. Р., Галимов Р. А., Гумерова А. И., Шайбекова Г. Ф. Прогноз трещиноватости карбонатных отложений по результатам интерпретации спектрометрического гамма-каротажа // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. №6 (366). 2022 – стр.11-17. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-6(366)-11-16.

© Алимова М.Р., Вахитова Г.Р., 2025

УДК 550.3

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГАЗОКОНДЕНСАТА

Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

При добыче и транспортировке газоконденсатных смесей важнейшую роль играет корректное моделирование температурных полей, поскольку именно температура определяет условия фазового равновесия и начало конденсации тяжёлых углеводородов. Одним из ключевых, но часто недооцениваемых факторов, влияющих на распределение температуры в потоке, является теплота конденсации-энергия, выделяющаяся при переходе паровой фазы углеводородов в жидкую.

В отличие от идеализированных моделей, где фазовый переход рассматривается без учёта тепловых эффектов, реальные процессы в скважинах и трубопроводах сопровождаются локальным повышением температуры в зонах интенсивной конденсации. Это, в свою очередь, может:

- Замедлить или локально остановить дальнейшую конденсацию, смещая точку росы;
- Привести к неравномерному распределению конденсата по длине трубопровода, что влияет на гидравлические потери и риск образования пробок;
- Искажать прогнозы технологических режимов, если теплота конденсации не учитывается в термодинамических моделях.

Исследуется влияние теплоты конденсации на температурное поле газоконденсата. В расчетах используется математическая модель, приведенная в работе [3].

Численные модели позволяют количественно оценить вклад теплоты конденсации в формирование температурного поля. На рис. 1 представлены результаты, показывающие, что чем выше удельная теплота конденсации, тем значительнее локальный температурный всплеск и дольше сохраняется зона повышенной температуры.

Исследование влияния теплоты конденсации на температурное поле позволит повысить точность прогнозирования начала и объёмов выпадения конденсата, оптимизировать процесс добычи для минимизации потерь ценных углеводородов, разработать более эффективные методы предотвращения гидратообразования и отложений парафина, а также усовершенствовать программные комплексы для гидродинамического и термодинамического моделирования скважин.

Таким образом, учёт теплоты конденсации в расчётах температурного поля газоконденсата является необходимым условием для моделирования реальных процессов и повышения эффективности разработки газоконденсатных месторождений.

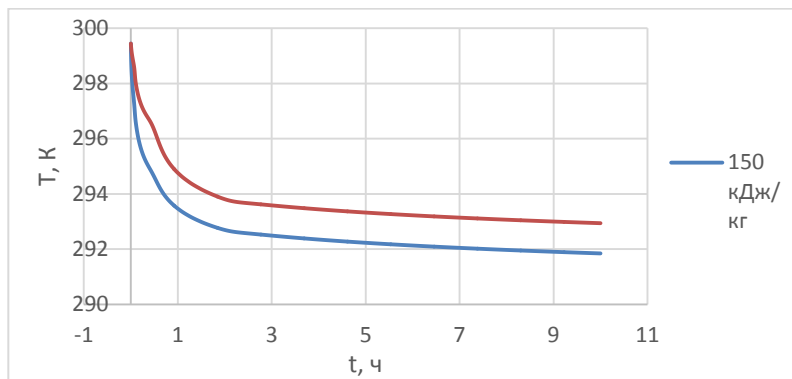


Рис. 1. График изменения температуры во времени при различных вариациях теплоты конденсации

Литература

1. Зайченко В. М., Майков И. Л., Торчинский В. М., Шпильрайн Э. Э. Моделирование процессов фильтрации углеводородов в газоконденсатном пласте// ТВТ, 2009, том 47, выпуск 5, 701–706.
2. Гасумов Р. А., Сафoshкин К. Н. 2017. Изучение процесса выпадения конденсата при эксплуатации скважин в условиях аномально

высоких пластовых температур (на примере Юбилейного газоконденсатного месторождения) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. № 3 (123). С. 47–51. <https://doi.org/10.31660/0445-0108-2017-3-47-51>

3. Шарафутдинов Р. Ф., Канафин И. В., Буджогра С. Исследование температурного поля в газоконденсатных пластах с учетом термодинамических эффектов//Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2023. Т. 9. № 4 (36). С. 18-30.

© Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф., 2025

УДК 517.9, 519.633

АНАЛИЗ И ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ

Груменцов П.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В современных условиях разработки нефтегазовых месторождений наблюдается значительное усложнение геолого-промысловых характеристик строительства скважин на фоне снижения их добычного потенциала. Это приводит к тому, что наряду с традиционными количественными показателями бурения, такими как скорость проходки и метраж, определяющее значение приобретают качественные параметры выполненных работ. Рыночная конъюнктура диктует жесткие требования к современным технологиям строительства скважин, делая акцент на необходимости повышения эффективности эксплуатационного бурения, улучшения качества строительства, обеспечения проектной продуктивности и снижения себестоимости буровых операций. В этом контексте особую важность приобретает процесс цементирования обсадных колонн как один из наиболее ответственных этапов строительства скважин. Его успешное выполнение обеспечивает надежное разобщение пластов, изоляцию продуктивных горизонтов от остальной части геологического разреза и создает условия для долговременной герметичности ствола. Качество цементажных работ оказывает непосредственное влияние на последующую производительность скважины и в конечном итоге определяет экономическую эффективность добычи углеводородов, что подчеркивает критическую важность строгого соблюдения технологических нормативов на этом этапе [1]. В работе произведен анализ параметров технического состояния обсадных колонн и были разработаны

рекомендации по преодолению технических сложностей при регистрации акустических данных.

Литература

1. Антонов Е. Н., Савенок О. В. Оценка качества цементирования и технического состояния скважин на примере Самотлорского месторождения по данным акустического метода контроля // Булатовские чтения, 2020, в. 5, р. 43.

© Груменцов П.С., 2025

УДК 550.3

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ШЛИФАМ

Абызбаева А.З., Вахитова Г.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Изучение структуры и текстуры шлифов необходимо для определения условий формирования осадочных пород и типизации коллекторов. Результаты исследования шлифов имеют важное значение для создания петрофизической модели продуктивных коллекторов и дальнейшей интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС).

Цель работы в связи с этим заключается в лабораторном изучении структурно-текстурных неоднородностей образцов горных пород.

Шлиф (с нем. Schliff - огранка) – это отполированный срез породы толщиной 0,02–0,03 мм, предназначенный для изучения минералов под микроскопом в проходящем свете, а также минерального состава и структуры горных пород. [1].

В моей работе исследования шлифов проводятся с использованием современного оптического прибора Saike Digital серии SK2009, основным принципом работы которого является оптико-электронное сканирование поверхности. В результате получают электронные изображения поверхности шлифа, по которым решаются следующие задачи:

1. Разбор форм, габаритов и позиций минеральных зерен [2].
2. Оценка ориентации минералов (массивные, сланцеватые, полосчатые текстуры) [2].
3. Выявление основных и вспомогательных минералов с расчетом их долей.
4. Классификация пор по типу (первичные/вторичные), конфигурации и размерам.
5. Поиск маркеров выветривания, силицификации, карбонатизации и прочих процессов.

6. Применение алгоритмов сегментации изображений для автоматизированного подсчета количества пор и трещин.

Увеличивая кратность получения электронного изображения шлифа планируется выяснить, влияет ли масштаб просмотра на точность оценки пористости, фильтрационных свойств и выявления микродефектов.

Результаты моей работы могут интегрироваться с геофизическими замерами в скважинах, способствуя лучшему пониманию эволюции пород.

Литература

1. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. 2-е изд, перераб. и доп.. М., СПб.: Большая Рос. энцикл., Норинт, 2000.

2. Yardley B. and Warren C. An Introduction to Metamorphic Petrology, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

3. Структуры и текстуры магматических и метаморфических горных пород учебное пособие / А. И. Чернышов, П. А. Тишин, И. В. Вологодина; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Кафедра петрографии. Томск: Издательский дом Томского государственного университета, 2018.

© Абызбаева А.З., Вахитова Г.Р., 2025

УДК 53

СИМУЛЯТОР РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

¹Ашкар Г.Х., ²Бенгальский Д.М., ¹Яруллин Р.К.,

²Харасов Д.Р., ²Спиридонов Е.П.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²ООО «Т8», г. Москва, Россия

Распределённая акустическая регистрация (Distributed Acoustic Sensing, DAS) превращает оптоволоконный кабель в непрерывный линейный массив, позволяющий регистрировать сейсмические и техногенные колебания с высоким пространственно-**временным** разрешением. В практике геофизики DAS используется для мониторинга гидроразрыва, исследования строительства скважин и определения зон притока, однако для тестирования алгоритмов обработки данных и подготовки специалистов востребованы реалистичные симуляторы, учитывающие свойства реальной среды.

В настоящей работе описан программный инструмент, предназначенный для моделирования сигналов DAS в реальном времени.

В основе лежит физическая модель фазочувствительной рефлектометрии (φ-OTDR): деформации вдоль волокна интегрируются по длине приёмника, затем учитываются затухание и дисперсия, а излучение лазера характеризуется шириной спектра и длиной импульса. Для описания геологической среды пользователь задаёт интервалы литологий (глина, песчаник, известняк и др.) с соответствующими коэффициентами затухания и скоростями, а также глубины перфораций.

Сигналы генерируются как сумма вкладов нескольких источников на различных глубинах. Каждый источник задаётся диапазоном частот и базовой амплитудой; возможны динамические правила изменения амплитуды (ступенька, линейный рост/спад, синусоидальный модулятор). Кроме того, реализовано моделирование событий «HydroFrac», «Inflow» и «Equipment», которые используют полосовые фильтры и огибающие функции для описания гидроразрыва, притока жидкости и оборудования. Получаемые временные ряды проходят через полосовые фильтры и кольцевые буферы, что позволяет в реальном времени отображать как исходный сигнал, так и его разложения по трем полосам.

При моделировании возможно регулировать параметры датчика (шаг по глубине, длина датчика, частота дискретизации), выбирать частотные полосы для анализа, задавать литологические интервалы и события.

Разработанный симулятор позволяет связать фундаментальные математические модели распространения волн с практическими задачами геофизики. Он может использоваться для обучения персонала, проверки алгоритмов обработки сигналов DAS и планирования экспериментов на месторождениях.

Работа поддержана собственными ресурсами авторов.

Литература

1. Li Y., Mellors R., Zhan G. Listening to Earth's subsurface with distributed acoustic sensing. *Eos*. 2025.
2. Pyke D. What is Distributed Acoustic Sensing – how does it work? *Sensonic*, 2025.
3. Waagaard O., Rønnekleiv E., Morten J.P. Listening across the oceans: distributed acoustic sensing. *Research Outreach*. 2022.

© Ашкар Г.Х., Бенгальский Д.М., Яруллин Р.К.,
Харасов Д.Р., Спиридонов Е.П., 2025

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН В ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТАХ

Старовойтов Д.А.^{1,2}, Федоров К.М.², Кадочникова Л.М.²

¹Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

²ГК «Газпромнефть НТЦ», г. Санкт-Петербург, Россия

Анализ неопределенности показателей разработки при проектировании месторождений нефти и газа является важной составляющей проектов разработки. Основную роль в этом анализе играют входные данные, используемые для расчетов (3Д ГДМ, аналитические методики расчетов и др.). Важно отметить, что неопределённость абсолютной проницаемости вносит наибольший вклад в расхождение между фактическими и прогнозными показателями разработки скважин и может привести к некорректному выбору ГТМ и неверной оценке сроков окупаемости проекта.

Данная работа посвящена разработке и автоматизации методики уточнения прогнозов P10-P50-P90 по проницаемости. С этой целью был проведен анализ существующих исследований по теме и применены квантильные подходы на данных, полученных после обработки керновых исследований. Предложена методология ансамблирования регрессионных моделей (линейной, полиномиальной, Catboost) с функцией потерь Pinball на языке программирования Python, включающей кросс-валидацию и пост-обработку результатов для обеспечения монотонности, гладкости и высокой обобщающей способности прогнозных кривых.

Полученные в результате анализа зависимости пористость-проницаемость использовались для расчета профилей добычи УВ для вариантов P10, P50 и P90, проведено сравнение результатов с фактическими данными и между собой. Показано, что предложенный ансамбль моделей обеспечивает более точное воспроизведение истинного покрытия квантилей и более узкий доверительный интервал по добыче по сравнению с традиционными методами, а также он работает на осредненных данных по скважинам, которые используются при увеличении масштаба задачи.

© Старовойтов Д.А., Федоров К. М., Кадочникова Л.М., 2025

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ И МФК
ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Блинов З.Н., Котов Л.Н., Устюгов В.А.

Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар, Россия

Нанокompозитные пленки вызывают интерес исследователей благодаря обширному применению их в различных сферах. Изменение физических и химических свойств, а также условий синтеза пленок приводит к разнообразию свойств композитных плёнок. Для выяснения причин такого разнообразия возникает необходимость анализировать структуры поверхности металл-диэлектрических композитных пленок. Синтез исследуемых пленок производился методом ионной бомбардировки мишеней из металлического сплава и диэлектрика, например, $\text{CoFeB}+\text{SiO}_2$. В данной работе для изучения рельефа и магнито-фазового контраста поверхности композитных плёнок использовался атомно-силовой микроскоп NT-(NT-MDT, Россия). На изображениях рельефа магнитно-фазового контраста (МФК) можно наблюдать гранулярную, гранулярно-перколяционную и перколяционную структуры [1]. Чаще всего полученные этим методом параметры гранул и перколяционных областей изучаются вручную. В настоящей работе анализ изображений рельефа и МФК поверхности осуществлялся с помощью программного обеспечения, разработанного в интегрированной среде разработки для научных исследований Spyder на языке программирования Python. Изображения рельефа и МФК поверхности плёнок загружаются в приложение. В процессе компиляции производится фильтрация изображений, устранение шумов, сегментирование кластеров и вывод графиков функции распределения размеров гранул и магнитных доменов по частоте их встречаемости в зависимости от их размеров. С помощью графиков оценивается структура образцов. Полученные результаты далее используются для построения теоретических моделей композитных сред и исследования связи их структурных особенностей с магнитными характеристиками и электромагнитными свойствами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-72-20063, <https://rscf.ru/project/25-72-20063/>

Литература

1. Kotov, L. N., Ustyugov, V. A., Vlasov, V. S., Utkin, A. A. // Bulletin RAS: Physics, 2023, v. 87(3), pp. 441-445

© Блинов З.Н., Котов Л.Н., Устюгов В.А., 2025

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

УДК 550.8.05

ИЗУЧЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КЕРНОВЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Ахмадеев Р.Р., Ковалева Л.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Основные неразработанные запасы нефти часто находятся в карбонатных породах. Эти породы-коллекторы имеют сложную структуру пустот и определяются как процессами образования, так и постседиментационными преобразованиями. Хотя для оценки пористости существует множество методов на основе керна и геофизических исследований скважин (ГИС), часто данные ГИС и лабораторные анализы керна не совпадают. Это ставит под вопрос точность существующих моделей. Проблема особенно актуальна, когда керна недостаточно или нет совсем. [1, 2]

В данном исследовании рассматривается месторождение, где из-за нехватки керна первоначальная петрофизическая модель была неточной. Для ее уточнения использовались новые данные, полученные от сервисной компании. Модель была полностью пересмотрена на основе новых исследований керна с учетом сложного строения пустот и минерального состава каждого пропластка.

Анализ показал, что пласт состоит из карбонатных пород с трещинно-пористой структурой. В основном это известняки с небольшой долей доломитов и ангидрита. Новые данные позволили скорректировать петрофизические зависимости и параметры, что критически важно для точной оценки фильтрационно-емкостных свойств коллектора.

Результаты работы подчеркивают важность комплексного подхода к изучению карбонатных коллекторов. Использование дополнительных данных и детальный анализ пустотного пространства повышают точность моделей и оптимизируют разработку месторождений. В будущем следует разработать унифицированные методы интерпретации ГИС для таких объектов и интегрировать новые технологии анализа керна и геофизических данных.

Литература

1. Багринцева, К. И. Роль трещин в развитии сложных коллекторов и фильтрации флюидов в природных резервуарах / К. И. Багринцева, Г. В. Чилингар // Геология нефти и газа. – 2007. – № 5. – С.28-37.
2. Лебединец И.П. Изучение и разработка нефтяных месторождений с трещиноватыми коллекторами / И.П. Лебединец. – М.: Наука, 1997. – 2 с.

© Ахмадеев Р.Р., Ковалева Л.А., 2025

УДК 532.5, 536.2, 536.5

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МЕДНОМ МИНИ-ТЕПЛОБМЕННИКЕ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Батыршин К.Э.¹, Батыршин Э.С.², Солнышкина.О.А.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²ООО “РН-БашНИПИнефть”, г. Уфа, Россия

Тенденции современных микроэлектронных систем приводят к увеличению скорости работы и миниатюризации, что ведет к увеличению рассеиваемой ими тепловой мощности на единицу площади. Существует проблема перегрева. Этот факт вынуждает искать новые эффективные способы отвода тепла от микроэлектронных компонентов. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование микрофлюидных теплообменников [1]. Эффективность работы таких теплообменников может быть оптимизирована в результате подбора наиболее подходящей геометрии микро- и миниканалов. Важную роль в данных теплообменниках несет разделение входящего потока теплоносителя и создание вторичных потоков. Целью нашей работы является экспериментальное изучение эффективности разделения входящего потока в теплообменник, путем применения разных распределителей потока.

Для экспериментов изготавливался теплообменник из меди. Одна из поверхностей теплообменника была изготовлена из стекла для визуализации потока. Система столбиков на поверхности меди создавалась путем фрезерования [2]. В работе использовался теплообменник с разными распределителями потока. Отличие структур заключается в способе распределения теплоносителя. Нагрев теплообменника осуществлялся нагревательным элементом с постоянной температурой 75 °С. К теплообменнику подключались трубки для подвода и отвода теплоносителя. Распределение температурного поля внутри теплообменника определялась с помощью метода флуоресценции (рис. 1, 2). Термопары устанавливались для измерения температуры теплоносителя на входе и выходе из теплообменника. Показания с термопар считывались с помощью устройства ввода-вывода NI USB-6356. Данные выводились на компьютер и анализировались. Подача теплоносителя производилась при постоянном расходе. Объемный расход жидкости задавался шприцевым насосом.

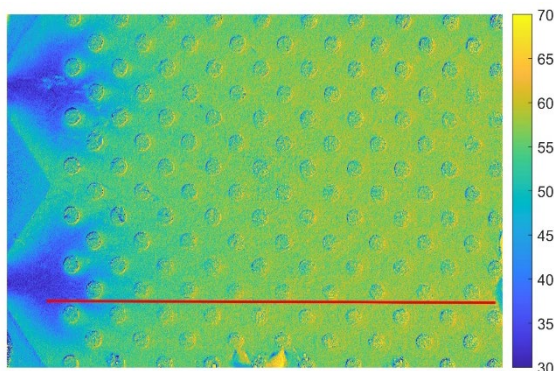


Рис. 1. Карта температурного поля внутри теплообменника

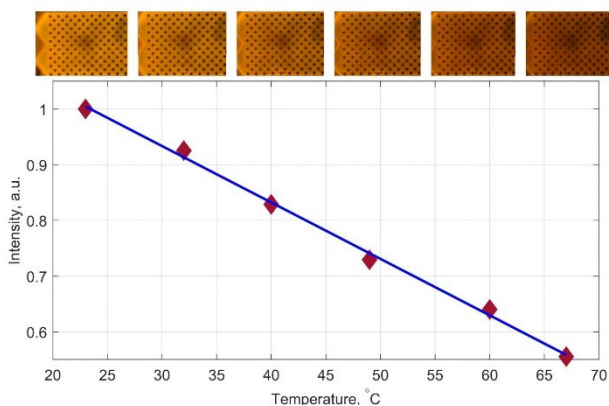


Рис. 2. График калибровочной кривой для метода флуоресценции

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ № 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>).

Литература

1. Gulia V., Sur A. A comprehensive review on microchannel heat exchangers, heat sink, and polymer heat exchangers: current state of the art // *Frontiers in Heat and Mass Transfer*. – 2022. – V. 18
2. Asish J., Shiblemon K.V., Binoy Baby, Review on fabrication and experimental study of microchannel heat sinks for cooling of electronic components // *Department of Mechanical Engineering, St. Joseph's College of Engineering and Technology*. – 2022.

Батыршин К.Э., Батыршин Э.С., Солнышкина.О. А., 2025

УДК 532.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕССЫ ФИЛЬТРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Валиуллина В.И.,

Галеев Р.Р., Мусин А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В последние годы наблюдается растущий интерес к применению электромагнитных полей (ЭМП) в нефтяной промышленности как способа улучшения свойств высоковязких углеводородов, таких как нефть и битум [1]. Настоящее исследование направлено на экспериментальное изучение воздействия ЭМП на процессы фильтрации нефти.

Экспериментальная установка была специально разработана для исследования фильтрации нефти с вязкостью равной 7,2 мПа·с при нормальных условиях. Установка включает в себя ячейки с электродами, генератор ЭМП, компрессор, контроллер и термостат. Исследования проводились при температуре 20–60°C и перепадах давления от 5 до 15 кПа. Частота ЭМП составляла 5 МГц, электроды располагались поперек и вдоль направления фильтрации.

Результаты эксперимента показали, что электромагнитное поле (ЭМП) увеличивает вязкость нефти из-за поляризации молекул и образования крупных кластеров, что повышает внутреннее трение. При расположении электродов поперек потока наблюдается снижение расхода нефти, в то время как при расположении вдоль потока расход остается практически неизменным. Эти изменения связаны с модификацией структурно-механических свойств нефти и требуют дальнейшего изучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-11-20042).

Литература

1. Лоскутова Ю. В., Юдина Н. В. Влияние постоянного магнитного поля на реологические свойства высокопарафинистых нефтей // Коллоидный журнал. – 2003. – Т. 65. – №. 4. – С. 510-515.

© Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р.,
Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А., 2025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПО ДИНАМИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАГРЕВА

Усманов Б.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В рамках данной работы был разработан метод решения обратной задачи для определения диэлектрических свойств, основанный на параметрической оптимизации математической модели электромагнитного нагрева по соответствующим экспериментальным данным.

В качестве объектов исследования были выбраны вода и этанол, поскольку для них существуют достоверные табличные данные диэлектрических свойств на частоте 13.56 МГц, которая использовалась для нагрева.

Жидкости наливались в специально спроектированную ёмкость с секциями, разделёнными воздушной прослойкой, что позволило пренебречь теплообменом внутри секций и между ними. Ёмкость помещалась между обкладками цилиндрического конденсатора, затем проводился электромагнитный нагрев. Замер температуры осуществлялся тепловизором. Полученные экспериментальные данные температурной динамики были использованы для определения диэлектрических свойств при помощи разработанного метода.

В таблице 1 приведены сравнения полученных значений диэлектрических свойств с табличными.

Таблица 1.
Экспериментальные и табличные значения диэлектрических свойств

	$\epsilon_{\text{экс}}$	$\epsilon_{\text{таб}}$	Отклонение, %	$tg\delta_{\text{экс}}$	$tg\delta_{\text{таб}}$	Отклонение, %
Вода	89.257	80.13	11.39	0.302	0.272	11.03
Этанол	19.81	24.5	19.14	0.119	0.09	32.22

Как видно из таблицы 1, имеют место существенные отклонения от табличных значений. Отчасти это объясняется тем, что для применения метода нужны весьма точные температурные данные, поскольку даже сравнительно малые отклонения измеренной температуры от истинной могут привести к значительному отклонению рассчитанных значений.

**МЕТОД КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В Т-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ**

Бикташев Р.Р., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Численное моделирование течений жидкости является ключевым инструментом в современной гидродинамике, позволяющим изучать сложные физические процессы без проведения дорогостоящих экспериментов [1]. В данной работе метод конечных разностей применяется для моделирования течения в Т-образном канале, часто встречающемся в инженерных приложениях, таких как системы трубопроводов, микрофлюидика и гидравлические устройства, где наличие разветвления приводит к сложным гидродинамическим эффектам, включая разделение потока, образование зон рециркуляции и изменение распределения давления.

В работе реализован алгоритм на основе разнесенной сетки (staggered grid), минимизирующий численные ошибки и обеспечивающий корректную связь между скоростью и давлением [2]. Уравнения Навье-Стокса дискретизируются с использованием явной схемы по времени, а для решения уравнения Пуассона для давления применяется итерационный метод SOR (Successive Over-Relaxation). Для учета сложной геометрии Т-образного канала используется массив флагов, маркирующий заполненные жидкостью ячейки и препятствия (стенки канала). Разработана программа на C++, реализующая временной цикл алгоритма, включая вычисление промежуточных скоростей, коррекцию давления и обновление граничных условий.

Проведены расчеты течений для различных геометрий канала (прямой, Г-образный, Т-образный), визуализированы поля скорости, давления и завихренности, что позволило проанализировать особенности течения в зонах разветвления и продемонстрировать образование вихревых структур и неравномерное распределение давления в Т-образном канале, что согласуется с известными литературными данными, а разработанный алгоритм и программа могут быть использованы для моделирования течений в каналах произвольной геометрии с учетом различных граничных условий.

Литература

1. Chen, C., Moin, P., Lele, S.K. Numerical Simulation of Flow in a T-Junction. 2008. P. 341-366.
2. Griebel M., Dornseifer T., Neunhoffer T. Numerical Simulation in Fluid Dynamics: A Practical Introduction. SIAM, 1998. 206 p.

© Бикташев Р.Р., Киреев В.Н., 2025

**РАСЧЕТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ НА ОСНОВЕ
ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ
ПЕНГА-РОБИНСОНА**

Курбанова С.С.¹, Давлетбаев А.Я.¹, Ишмуратов Т.И.²

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²ООО «БашНИПИ-Нефть», г. Уфа, Россия

Точные данные о PVT-свойствах пластовых флюидов критически важны для эффективной разработки и эксплуатации месторождений. Современный мониторинг месторождений осуществляется с помощью специализированных программных комплексов, интегрирующих последние достижения в области моделирования. Эта информация играет ключевую роль в оценке запасов нефти и газа, а также для принятия технически и экономически обоснованных решений на этапе проектирования. В настоящее время существует потребность в адаптации существующих и создании новых методов анализа углеводородных смесей. Поскольку ошибки в термодинамических расчетах способны привести к серьезным последствиям, разработка надежного программного обеспечения является актуальной задачей. Анализ подходов к определению свойств пластовых флюидов свидетельствует о необходимости совершенствования математических моделей и их активного внедрения в практику для повышения качества управленческих решений в нефтегазовой отрасли.

Цель настоящей работы состоит в создании алгоритма для вычисления термодинамических свойств (плотность, молярная масса, удельная теплоёмкость при постоянном давлении, удельная теплоёмкость при постоянном объёме, коэффициент адиабаты, вязкость) на базе уравнения состояния Пенга-Робинсона [1]. В качестве ключевых задач выделяются: модернизация существующего алгоритма расчета свойств однофазной смеси, его программная реализация и разработка блок-схемы специализированного калькулятора [2].

Создание данного алгоритма закладывает фундамент для дальнейших исследований в термодинамике и нацелено на освоение и внедрение современных математических моделей в промышленные процессы нефтегазовой отрасли.

Литература

1. Michelsen, M.L., 1994. Calculation of multiphase equilibrium. Comput. Chem. Eng. 18, 545–550.
2. Pedersen K. S., Christensen P. L., Shaikh J. A. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids. – Boca Raton, 2014. – 465 p.

© Курбанова С.С., Давлетбаев А.Я., Ишмуратов Т.И., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ КЕРНА ДОМАНИКОВОЙ СВИТЫ

Васильев М.К., Усманов Б.А., Мусин А.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Измерение теплоёмкости горных пород и материалов играет ключевую роль в геофизике, материаловедении и инженерных приложениях. Известные методы калориметрии зачастую требуют сложных приборов и значительных временных затрат. В представленной работе разработана и апробирована методика определения удельной теплоёмкости на основе закона Ньютона–Рихмана, описывающего экспоненциальное охлаждение нагретого тела. В качестве образца был взят керн Доманиковой свиты.

Была составлена математическая модель, связывающая временную константу экспоненциального снижения температуры с теплоёмкостью образца на основе закона Ньютона–Рихмана [1]

$$T(t) = T_{\text{окр}} + (T_0 - T_{\text{окр}}) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

где τ – временная константа (показатель экспоненты), выражаемая как

$$\tau = \frac{m \times c}{h \times A} \rightarrow c = \frac{m \times \tau}{h \times A}$$

Эксперимент заключался в нагреве цилиндрического образца и последующем измерении его температурной динамики с помощью тепловизора. Рассчитанная удельная теплоёмкость составила:

$$c = (480 \pm 20) \text{ [Дж/(кг·К)]}, \varepsilon = 4,2\%, \alpha = 0,95$$

Разработанная методика демонстрирует перспективность применения закона Ньютона–Рихмана для практического определения теплоёмкости твёрдых тел и может быть усовершенствована для использования в инженерных и геофизических задачах.

Литература

1. Sir Isaac Newton. (1701VII). Scala graduumcaloris Phil. Trans. R. Soc. 22, 824–829.

© Васильев М.К., Усманов Б.А., Мусин А.А., 2025

УДК 532.5, 519.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФЛЮИДНЫХ КАНАЛОВ

Галиева К.А., Солнышкина О.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Тенденция к уменьшению размеров и усложнению дизайна электронных устройств приводит к необходимости создания компактных девайсов, способных достаточно быстро рассеивать высокие тепловые потоки. Такие устройства называются микроканальными теплообменниками. На практике активно применяется множество пассивных методов повышения эффективности процессов тепло- и массопереноса в таких устройствах, среди которых наиболее результативными являются методы модификации поверхности микроканалов, геометрии их внутренней структуры [1], модификации хладагента, а также изменение коэффициента шероховатости стенок микроканалов, который оказывает огромное влияние на смачиваемость поверхности и, как следствие, на процесс отвода тепла, а также на скорости флюида и объемный расход рабочей жидкости.

Данная работа посвящена исследованию влияния микроструктурирования поверхности кремния с использованием плазмо-химической обработки на гидродинамические характеристики микрофлюидных каналов. В ходе исследования были изготовлены микрофлюидные чипы из стекла и кремния, внутренняя поверхность которых обладала различной шероховатостью. С помощью атомно-силового микроскопа получены данные по шероховатости кремния для различных режимов плазмо-химической обработки. Была проведена серия экспериментов и получена зависимость объемного расхода флюида от заданного перепада давления для каналов с созданной микроструктурой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00697, <https://rscf.ru/project/24-19-00697/>.

Литература

1. Galieva K. A., Garifullin I. Sh., Batyrshin E. S., Solnyshkina O. A. // EPJ Web of Conferences, 2025, v. 321, p. 01006.

© Галиева К.А., Солнышкина О.А., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАТУХАНИЯ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА

Муллагалимов Р.Х., Усманов Б.А., Мусин А.А.

Уфимский университет науки и технологии, г. Уфа, Россия

Актуальность работы связана с тем, что сопротивление воздуха оказывает заметное влияние на движение тел и учитывается в аэродинамике, метеорологии, авиации и инженерных расчётах. Разработка доступных экспериментальных методик его определения важна как для науки, так и для образовательной практики. Использование маятниковых систем совместно с Arduino и оптическими датчиками позволяет сделать исследование наглядным и простым в реализации.

В данной работе изучалось затухание свободных колебаний физического маятника под действием сопротивления воздуха. Была создана экспериментальная установка: шарик с известным диаметром подвешивался на тонкой нити, через положение равновесия проходил лазерный луч, фиксируемый светодатчиком, а плата Arduino регистрировала время перекрытия луча. На основе полученных данных определялась скорость маятника в положении равновесия и её изменение с течением времени.

Зависимость скорости в положении равновесия от времени описывается следующим уравнением [1]:

$$\ln|v(t_{low})| = -\gamma t_{low} + \ln(v_m) \quad (1)$$

где $\gamma = c/(2m)$ - коэффициент затухания колебаний маятника, c - коэффициент сопротивления воздуха, m - масса тела колебания, t_{low} - время прохождения через положение равновесия, v_m - максимальная скорость маятника.

Экспериментальные данные зависимости натурального логарифма скорости маятника в положении равновесия от времени были аппроксимированы выражением (1), что позволило определить значение коэффициента затухания γ , а затем и коэффициента сопротивления воздуха c . Его значение составило:

$$c = (33,5 \pm 0,745) \times 10^{-5} \text{ кг/с}, \varepsilon = 2,2\%, \alpha = 0,95$$

Литература

1. Lee K. R., Ju Y. G. Measurement of resistance coefficients of pendulum motion with balls of various sizes //arXiv preprint arXiv:2002.03796. – 2020.

© Муллагалимов Р.Х., Усманов Б.А., Мусин А.А., 2025

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЯЗКОСТЬ НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Хасанова Я.Р., Тулубаева Р.Р., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Нелинейный характер изменения свойств водонефтяных эмульсий под воздействием электромагнитного поля (ЭМП), особенно в условиях ограниченного пространства микроканалов, остаётся малоизученным [1]. Целью настоящей работы является экспериментальное определение вязкости нефти в прямоугольном канале под воздействием ЭМП.

Объектом исследования являлась нефть ($\mu=8,93$ мПа·с при нормальных условиях). Для изучения влияния ЭМП на реологические характеристики нефтяных дисперсных систем была разработана экспериментальная установка, включающая прямоугольный микроканал (26×1 мм) с электродами, интегрированными в боковые стенки. Поддержание перепада давления ($10 \div 30$ кПа, шаг 5 кПа) осуществлялось компрессорным насосом, а измерение расхода – высокоточными весами AND GR-300 с регистрацией данных на ПК (RS Weight). Контроль температуры в ячейке производился тепловизором Infraray P2 PRO.

Были получены зависимости расхода жидкости от давления при течении жидкости без внешнего воздействия и в присутствии ЭМП. Результаты экспериментов выявили значительное увеличение расхода нефти под воздействием ЭМП, связываемое со снижением вязкости вследствие её нагрева высокочастотным полем. Проведена оценка вязкости с использованием уравнения Гагена-Пуазейля и сопоставление с данными ротационной вискозиметрии. Установлена применимость разработанной методики для оперативной оценки вязкости нефти в микроканалах под воздействием ЭМП.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-27-00181.

Литература

1. Кухарева Е.В., Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние магнитного поля на структурно-реологические характеристики смолистых нефтей и их эмульсий //Химия в интересах устойчивого развития. 2023. Т.31. №. 1. С. 110-117.

© Хасанова Я.Р., Тулубаева Р.Р.,
Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А., 2025

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СЛОЖНЫЕ
ВОДОНЕФТЯНЫЕ ЭМУЛЬСИИ**

Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Зиннатуллин Р.Р.

Уфимский университет науки и технологий

Накопление нефтешламов представляет серьезную экологическую и экономическую проблему. Электрофизические методы обработки являются одним из перспективных альтернатив энергоемким традиционным способам утилизации. [1] Настоящее исследование направлено на экспериментальное изучение воздействия ЭМП на скорость и качество дестабилизации, и последующего расслоения обратной эмульсии «вода в масле» с наличием твердых включений.

Экспериментальная ячейка выполнена в форме параллелепипеда, две стенки которого выполнены из токопроводящего стекла с вытравленными электродами, с межэлектродным пространством 300 мкм. Модельная система: трансформаторное масло (дисперсная среда) + дистиллированная вода (дисперсная фаза) + поверхностно-активное вещество Span 80. В часть образцов вводили глину. Воздействие ЭМП частотой 8 МГц и мощностью 5 Вт. Процесс осаждения фиксируется оптически с интервалом 1 кадр в 10 секунд, по получившимся снимкам определяется скорость и объем осажженной фазы.

ВЧ ЭМП вызывает диэлектрофоретическое перемещение капель воды к областям с наибольшей напряженностью поля и их коалесценцию, что ускоряет расслоение эмульсии. Наличие глины снижает эффективность диэлектрофореза, но ускоряет седиментацию образующихся агрегатов «капля-частица». Агрегаты с глиной образуют на дне плотную упаковку, которая не расслаивается из-за стабилизации капель частицами. Твердая фаза изменяет динамику разделения, ускоряя осаждение, но препятствуя полному расслоению. Метод перспективен для управления устойчивостью дисперсных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-27-00181.

Литература

1. Jahromi A.F., Elektorowicz M. Electrokinetically assisted oil-water phase separation in oily sludge // Journal of hazardous materials. – 2018. – Vol. 358. – P. 434-440.

© Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Зиннатуллин Р.Р., 2025

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ТЕЧЕНИЯ
ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ
МОЩНОСТЬ ЭЛУКТОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С
ПОДГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

Мукимова Р.Ш.¹, Лапицкий Д.Р.², Мусин А.А.¹

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²ООО «Уфимский НТЦ», г. Уфа, Россия

Благодаря высокой производительности, установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) получили наибольшее распространение в качестве основного средства механизированной добычи нефти [1]. Погружной электродвигатель (ПЭД) является неотъемлемой частью насосной системы УЭЦН, который преобразовывает электрическую энергию в механическую энергию вращения насосов.

Специфика взаимодействия погружного электродвигателя с другими компонентами установки, а также влияние различных типов течения на характеристики насоса, делает УЭЦН сложным для моделирования объектом.

В данной работе исследуется влияние типа течения газожидкостной смеси на потребляемую ЭЦН-ПЭД мощность с целью подбора оптимального режима эксплуатации.

Для моделирования трехфазного течения газожидкостной смеси в системе ЭЦН-ПЭД применяется метод Беггса-Брилл [2], который часто используется для расчёта фазовых соотношений и давления в многофазных системах, позволяет построить цифровую модель.

Полученные результаты сопоставляются с данными, полученными при помощи упрощенной гидродинамической модели Black Oil.

Литература

1. Кудрявцев И. А. Совершенствование технологии добычи нефти в условиях интенсивного выноса мехпримесей: дис. – Тюмень: [ОАО «Сиб. НИИ нефт. пром-сти, ЗАО» Тюмен. нефт. науч. центр"], 2004.
2. Beggs D. H., Brill J. P. A study of two-phase flow in inclined pipes // Journal of Petroleum technology. – 1973. – Т. 25. – №. 05. – С. 607-617.

© Мукимова Р.Ш., Лапицкий Д.Р., Мусин А.А., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРП И СВОЙСТВ ПРОПАНТА НА ДЕБИТ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Райманов А.А., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является ключевым методом интенсификации добычи углеводородов из низкопроницаемых коллекторов. Эффективность ГРП в значительной степени зависит от правильного выбора параметров трещины и характеристик пропанта, используемого для расклинивания образовавшихся трещин. В данной работе проведено комплексное численное исследование влияния геометрических параметров трещины ГРП (ширины и полудлины) и физических свойств пропанта (плотности) на дебит газовой скважины.

Для проведения исследования была разработана гидродинамическая модель в программном комплексе TNavigator, включающая вертикальную скважину с ГРП. Методика включала создание сеточной структуры пласта, задание петрофизических свойств коллектора, конфигурацию скважинного оборудования и параметров.

Результаты численного моделирования показали нелинейную зависимость дебита от ширины трещины. При ширине 0.001 м наблюдался максимальный начальный дебит с последующим резким спадом, тогда как ширина 0.002 м обеспечивала оптимальный баланс между начальной продуктивностью и долгосрочной стабильностью. Увеличение ширины до 0.004 м не привело к значительному росту дебита, но вызвало нестабильность в поздний период эксплуатации.

Исследование влияния плотности пропанта выявило обратную зависимость между плотностью и долгосрочной продуктивностью скважины. Низкоплотный пропант (1.65 г/см^3) демонстрировал исключительную стабильность дебита, в то время как высокоплотный (2.7 г/см^3) приводил к резкому снижению продуктивности уже к 8-му месяцу эксплуатации. Результатом стало то что, целесообразно использовать среднюю ширину трещины (0.002 м) в сочетании с низкоплотным пропантом (1.65 г/см^3) для достижения оптимального баланса между начальной продуктивностью, долгосрочной стабильностью и экономической эффективностью.

Литература

1. Каневская Р.Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. М.: ИКИ, 2003.

© Райманов А.А., Киреев В.Н., 2025

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАЗА И ГАЗОКОНДЕНСАТА ИЗ СКВАЖИНЫ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ

Илларионов А.А., Ковалева Л.А.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Для повышения достоверности и унификации подходов к оценке технологических коэффициентов извлечения газа (КИГ) и конденсата (КИК) из месторождений на стадии разведки была разработана «Временная методика оценки технологических коэффициентов извлечения газа и конденсата при открытии месторождений (залей на разрабатываемых месторождениях) и на этапе разведки» [1]. Согласно данной методики были приняты следующие формулы для определения коэффициентов извлечения газа и конденсата:

$$\text{КИГ} = 1 - \frac{\frac{P_{\text{пл.к.}}}{Z_{\text{пл.к.}}} - 0,101}{\frac{P_{\text{пл.н.}}}{Z_{\text{пл.н.}}} - 0,101} \quad (1)$$

$$\text{КИК} = \frac{\text{КИК}^* \cdot \text{КИГ}}{0,8} \quad (2)$$

Здесь $P_{\text{пл.к.}}$ – конечное пластовое давление, $P_{\text{пл.н.}}$ – начальное пластовое давление, $Z_{\text{пл.к.}}$ – коэффициент сверхсжимаемости для конечного пластового давления, $Z_{\text{пл.н.}}$ – коэффициент сверхсжимаемости газа при начальных термобарических условиях, КИК^* – коэффициент извлечения конденсата определяемый по номограмме.

Как правило, расчеты по приведенным формулам проводятся с использованием большой базы данных и весьма трудоемки.

Вследствие этого, в рамках данной работы был составлен программный модуль с использованием кроссплатформенной свободной IDE для разработки Qt Creator, который позволяет ускорить и упростить применение методики оценки коэффициентов. Кроме того, в модуль была добавлена возможность оценки зависимости показателя КИГ от входящих параметров.

Разработанный программный модуль может упростить существующий способ оценки КИГ и КИН и эффективно применяться для оценки данных параметров.

Литература

1. Временная методика оценки технологических коэффициентов извлечения газа и конденсата при открытии месторождений (залей на разрабатываемых месторождениях) и на этапе разведки. – Тюмень, 2018

© Илларионов А.А., Ковалева Л.А., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРП НА ДЕБИТ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

Сафин З.З., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) в горизонтальных скважинах является ключевым методом увеличения продуктивности низкопроницаемых коллекторов [1]. Эффективность операции напрямую зависит от оптимального выбора технологических параметров, таких как геометрия трещин (ширина, полудлина), свойства проппанта и режимы закачки. В данной работе представлены результаты численного моделирования влияния параметров ГРП на дебит нефти в горизонтальной скважине с использованием программного комплекса «tNavigator».

Для проведения исследования в ПК «tNavigator» была разработана детализированная трехмерная гидродинамическая модель, включающая горизонтальную скважину с тремя трещинами ГРП. Проведено параметрическое исследование с варьированием ключевых технологических параметров.

Результаты моделирования показали существенную нелинейную зависимость дебита от геометрических параметров трещин. Показано, что увеличение ширины трещин с 0,001 м до 0,002 м приводит к росту дебита на 25-30%, тогда как дальнейшее увеличение до 0,004 м дает дополнительный прирост лишь на 8-10%. Увеличение полудлины трещин с 100 м до 200 м обеспечивает прирост продуктивности на 35-40%, в то время как дальнейшее увеличение до 300 м добавляет только 12-15%. Увеличение полудлины трещин до 200 м позволяет значительно расширить зону дренирования пласта, в то время как оптимизация ширины трещин обеспечивает высокую проводимость и устойчивый приток углеводородов. Максимальный дебит в рассмотренной системе достигается при следующих параметрах трещин: ширина 0,002-0,003 м, полудлина 200-250 м, расстояние между трещинами 60 м. На основе проведенного исследования разработаны практические рекомендации по выбору технологических параметров ГРП для горизонтальных скважин, учитывающие геолого-физические особенности пласта.

Литература

1. Каневская Р. Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. М.: ИКИ, 2003. 128 с.

© Сафин З.З., Киреев В.Н., 2025

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАЗРУШЕНИИ ПЛОТИНЫ

Метельский Н.О., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Задачи прорыва дамб имеют ключевое значение для безопасности гидротехнических сооружений, так как их разрушение ведёт к катастрофическим последствиям. Численное моделирование позволяет прогнозировать динамику потоков и оценивать масштабы разрушений. В работе рассматривается течение вязкой несжимаемой жидкости со свободной поверхностью на примере задачи разрушения плотины (рис. 1).

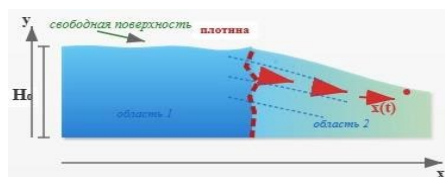


Рис. 1. Схема задачи о разрушении плотины

Математическая модель основана на уравнениях Навье–Стокса и неразрывности:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{g}$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

где \vec{u} – скорость, p – давление, ρ – плотность, ν – кинематическая вязкость, \vec{g} – ускорение свободного падения. В начальный момент времени жидкость покоится за плотиной высотой H_0 . На границах расчетной области задаются граничные условия прилипания на стенках и соответствующие граничные условия на свободной поверхности.

Для численного решения использованы методы, описанные в [1, 2]. Расчёты выполнены на сетках 40×20 , 100×50 , 200×100 ячеек при $\Delta t = 0,1$ с и $\nu = 0,1$ м/с². Показано, что полученное с помощью численного моделирования положение фронта жидкости хорошо согласуется с известным аналитическим выражением $x(t) \approx 2\sqrt{H_0 t}$.

Литература

1. Griebel M., Dornseifer T., Neunhoffer T. Numerical Simulation in Fluid Dynamics: A Practical Introduction. SIAM, 1998.
2. Ferziger J. H., Perić M. Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer, 2002.

© Метельский Н.О., Киреев В.Н., 2025

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ТЕЧЕНИИ КУЭТТА-ТЕЙЛОРА

Гизатуллина Э.И., Киреев В.Н.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Течение вязкой жидкости между двумя вращающимися соосными цилиндрами (течение Куэтта-Тейлора) при малых угловых скоростях вращения цилиндров является ламинарным [1]. Примерами практического применения течения Куэтта-Тейлора являются системы смазки в подшипниках и генерация тепла в устройствах, преобразующих энергию ветра. В данной работе изучается течение Куэтта-Тейлора между двумя цилиндрами радиусами R и aR ($a < 1$), вращающимися с малыми угловыми скоростями ω_0 и ω_1 .

Математическая модель течения основана на уравнении неразрывности и уравнениях Навье–Стокса в цилиндрических координатах, решение которых с учётом некоторых допущений и граничных условий имеет вид:

$$\frac{\vartheta_\theta(r)}{\omega_0 R} = \frac{a^2}{1-a^2} \left(\frac{R}{r} - \frac{r}{R} \right) \quad (1)$$

Получены гиперболические профили скорости, демонстрирующие рост скорости потока и числа Рейнольдса ($Re < 1700$) с увеличением угловой скорости внутреннего цилиндра при сохранении ламинарного режима (Рис. 1).

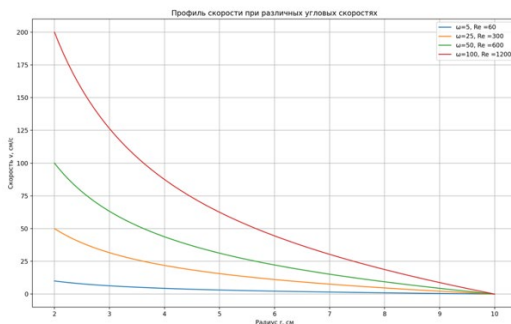


Рис. Распределение скорости при различных угловых скоростях вращения внутреннего цилиндра

Литература

1. Муранга Э., Новиков А. Е. Пространственная динамика вихрей в течениях Тейлора-Куэтта // Российский журнал математики и физики. 2018. Т. 25, № 4. С. 485-502.

© Гизатуллина Э.И., Киреев В.Н., 2025

ПОЛЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ

Филиппов А.И., Зеленова М.А., Долгий Д.А.

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий,
г. Стерлитамак, Россия

Гравитационное течение несмешивающихся несжимаемых жидкостей с разной плотностью и свободной поверхностью контакта представляет собой сложную физическую задачу, объединяющую гидродинамику многофазных систем, капиллярные эффекты и вопросы устойчивости границ раздела. Такое течение в вертикальном цилиндрическом канале исследовано в работе [1].

В статье найдено аналитическое решение задачи о поле скорости при кольцевом гравитационном течении $W = \frac{\nu\mu_w}{(\rho_w - \rho_0)gR^2}$,

$$\text{где } \nu = \begin{cases} \nu_w, & 0 < r < \tilde{r}, \\ \nu_0, & \tilde{r} < r < R. \end{cases}$$

Здесь ν_w , ν_0 – поля скорости течения воды и нефти соответственно, \tilde{r} – координата свободной поверхности контакта жидкостей (воды и нефти), R – радиус трубы. Для определения градиента давления в потоках использован закон сохранения массы. Уравнение для радиуса свободной цилиндрической поверхности контакта построено на основе равенства тангенциальных напряжений в потоках жидкостей. Установлено, что относительный радиус свободной цилиндрической поверхности контакта, а также относительный расход зависят только от отношения вязкостей циркулирующих жидкостей.

Зависимости относительной скорости гравитационного течения W от относительной координаты при различном отношении вязкостей представлены на рис. 1.

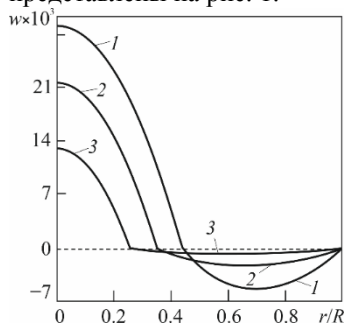


Рис. 1. Радиальные профили скорости жидкостей при различных вязкостях $\mu = \mu_o/\mu_w$:
1 – $\mu = 3$; 2 – $\mu = 7$; 3 – $\mu = 20$

Из рисунка следует, что с увеличением относительной вязкости увеличиваются размеры кольцевой зоны и уменьшаются абсолютные значения скоростей течения. Максимальные значения скорости достигаются в центральной зоне, где согласно предположениям, принятым в расчётах, сосредоточена жидкость с большей плотностью и меньшей вязкостью.

Найденное решение задачи о кольцевом гравитационном течении несмешивающихся несжимаемых жидкостей позволяет исследовать поля скорости, геометрические характеристики свободной поверхности контакта жидкостей, величину диссипативного градиента в потоках и обеспечивает новые возможности для практических приложений.

Литература

1. Филиппов А. И., Зеленова М. А., Кабиров И. Ф. Гравитационное течение несмешивающихся жидкостей со свободной границей // Известия вузов. Физика. 2025. В печати.

© Филиппов А.И., Зеленова М.А., Долгий Д.А., 2025

УДК 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ

Газимова К.М., Зиннатуллин Р.Р.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В настоящее время перед нами стоит ряд проблем, связанных с наличием механических примесей в дисперсных системах. Эти примеси могут существенно влиять на стабильность таких систем.

В процессе производства механические примеси могут вызывать засорение оборудования, что увеличивает затраты на его обслуживание и снижает производительность.

Актуальность проблемы заключается в необходимости разработки методов контроля и удаления механических примесей на всех этапах.

Одним из методов очистки от механических примесей является электрический метод, который представляет собой процесс, при котором используется электрическое поле для воздействия на дисперсные системы, такие как эмульсии, суспензии или коллоиды. Этот метод основан на том, что электрическое поле может вызывать различные эффекты, такие как коагуляция, флокуляция или разрушение агрегатов, что позволяет эффективно управлять структурой и свойствами дисперсных систем.

При рассмотрении влияния электрического поля разной частоты на диэлектрические показатели многофазной системы наблюдаются различные максимумы, которые обуславливаются поверхностной поляризацией. Поверхностная поляризация возникает тогда, когда граничащие диэлектрики или диэлектрики–полупроводники имеют различную проводимость, поэтому для прохождения тока постоянной плотности необходимы различные градиенты напряжения [1].

Помимо этого, если концентрация одного вещества в основной среде увеличивается, то области искажения поля вокруг каждой частицы начинают перекрываться и действовать друг на друга [1].

В некоторых материалах при определенных частотах могут возникать резонансные явления, которые приводят к резкому увеличению диэлектрических потерь. Это может быть связано с внутренними колебаниями молекул или структурными изменениями в материале.

Литература

1. Соцков В.А. Поверхностная поляризация в статистических смесях // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2010, № 10, с. 82–85

© Газимова К.М., 2025

СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»

УДК 372.853

УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А.

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

Согласно ФГОС, по окончании изучения того или иного модуля, обучающийся должен обладать навыками и умениями соответствующие следующим результатам: предметным, метапредметным и личностным. В метапредметные результаты входят познавательные, коммуникативные и регулятивные универсальные учебные действия (далее УУД) [1]. Об уровне сформированности познавательных УУД можно судить по следующим признакам: обучающийся может самостоятельно выдвигать гипотезы, обрабатывать и выделять верную информацию, видеть общие закономерности, выявлять причинно-следственные связи и т.д. [1]. Насколько высок уровень УУД можно определить по тому, как используются инструменты познания учащимися на занятии. Анализируя работу Н. А. Заграничной, Л. А. Паршутиной, А. Ю. Пентина, А. В. Теромова, можно выделить следующие уровни сформированности познавательных УУД: базовый уровень – обучающийся наблюдает и отмечает изменения тех или иных явлений в процессе исследования (изучения); участвует в обсуждении полученных результатов в коллективе, задает вопросы; анализирует информацию [2]. Средний уровень – обучающийся делает предположения, формулирует выводы; оценивает достоверность полученной информации; синтезирует и систематизирует ее. Продвинутый уровень – обучающийся самостоятельно проводит исследование, опыты; предвосхищает результаты проведенных экспериментов; обобщает и представляет информацию удобным для него способом.

Литература

1. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 31.05.2021 № 287 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» [Электронный ресурс] : [Зарегистрирован 05.07.2021 № 64101] : офиц. текст : электронный – URL : <https://fgosreestr.edsoo.ru/federal-standard/30>.
2. Заграничная Н. А., Паршутина Л. А., Пентин А. Ю., Теромов А. В.. Достижение метапредметных результатов в рамках

изучения предметов естественно-научного блока (основное общее образование): методические рекомендации / Н. А. Заграничная, Л. А. Паршутина, А. Ю. Пентин, А. В. Теремов. – М.: ФГБНУ «Институтстратегии развития образования», 2023. – 136 с.

© Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А., 2025

УДК 792.38

РАЗБОР ПОСТРОЕНИЯ ПРЫЖКА С ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ХОРЕОГРАФИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ

Антонова Д.С.

БГПОУ РБ БХК им. Р. Нуреева, г. Уфа, Россия

Балет – это искусство выразительной пластики, основанное на классическом танце и пронизанное эмоциями. Мало кто осознает, сколько труда требуется танцору, чтобы овладеть своим телом, освоить тонкости балетного мастерства и достичь легкости в исполнении. Артисту балета нужно знать и учитывать множество факторов, чтобы успешно выступать и развиваться в этой сложной и красивой дисциплине. Одним из таких аспектов, является знание геометрических законов и правильное их применение [1].

Актуальность исследования в том, что знания геометрических принципов помогают педагогам и артистам балета разработать более эффективные упражнения и методики обучения. Геометрия объясняет такие понятия, как фигуры, углы, градусы. Позволяет танцорам создавать более выразительные и эстетические формы, а также понимать и контролировать положение тела в пространстве, все это улучшит мастерство танцора и сформирует правильный мышечный корсет [2].

Профессиональное обучение в 20 веке заключалась в получении учащимися определенных знаний, формирование практических умений и навыков, а в современном мире главной целью является формирование личности конкурентоспособного артиста балета и педагога. Исследование показало, что учащиеся в хореографическом колледже абсолютно не понимают, как геометрия связана с их профессиональной деятельностью.

Целью работы является изучение отечественных и зарубежных авторов, что позволит сделать определенные выводы. Исследование связей между геометрией и классическим танцем способствует междисциплинарному подходу, объединяя искусство и науку, что может привести к новым открытиям в обеих областях.

Таким образом, в ходе своего выступления я докажу, как геометрические принципы улучшают технику исполнения танцора, но и

расскажу, как важно провести реформирование в системе образования балетного обучения.

Для примера, я рассмотрю движение *grand jete* в дуэтном танце.

Литература

1. Котельникова Е. Г. Биомеханика хореографических упражнений: учебное пособие // ЛГИК им. Н.К. Крупской. – 1980.
2. Imura A., Iino Y., Kojima T. Biomechanics of the continuity and speed change during one revolution of the Fouette turn // Human movement science. – 2008. – Т. 27. – №. 6. – С. 903-913.

© Антонова Д.С., 2025

УДК 378

ВЕРОЯТНОСТЬ И РИСКИ СТАРТАПОВ НА ЗАНЯТИИ ПО МАТЕМАТИКЕ

Бухарова Ю.С.

Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Статья посвящена методическим вопросам преподавания теории вероятностей и статистики на примере анализа рисков в стартапах Екатеринбурга, показаны способы применения математических инструментов для оценки бизнес-проектов.

Современному образованию присуща задача подготовки студентов не только к усвоению теоретических знаний, но и к применению их в реальных профессиональных ситуациях. Одним из эффективных подходов является обучение на конкретных примерах, демонстрирующих связь математики с повседневной жизнью. Именно поэтому преподавание теории вероятностей и статистики целесообразно подкреплять наглядными случаями из сферы предпринимательства.

Стартап-экосистема Екатеринбурга обладает уникальной спецификой: наряду с развитием инновационных направлений и поддержкой молодых инициатив наблюдается высокая конкуренция, дефицит кадров и ограниченность ресурсов. Все это накладывает отпечаток на риски начинающего предпринимателя, превращая проблему оценки риска в одну из центральных задач бизнеса.

Приведем пример анализа рисков стартапа, ориентируясь на образовательные потребности студентов.

Процесс анализа рисков делится на несколько этапов, которые демонстрируют классическое применение аппарата теории вероятностей

и статистики. Рассмотрим подробно каждый шаг на примере условного стартапа в Екатеринбурге.

Этап 1. Определение возможных исходов.

Первым шагом анализа рисков является выявление возможных сценариев развития событий. Для нашего условного стартапа мы выделили три базовых сценария:

- оптимистичный: успешный запуск продукта, быстрое расширение рынка, получение значительной прибыли;
- реалистичный: постепенный рост бизнеса, стабилизация оборотов и небольшой прирост прибыли;
- пессимистичный: отсутствие спроса, сокращение затрат и убыток.

Каждому сценарию назначается своя вероятность возникновения, отражающая его реалистичность: оптимистичный сценарий ($p_1 = 0,2$); реалистичный сценарий ($p_2 = 0,5$); пессимистичный сценарий ($p_3 = 0,3$).

Этап 2. Отсчёт ожидаемой стоимости проекта.

Следующим этапом является расчёт средней ожидаемой стоимости проекта, иначе говоря, математического ожидания. Используется следующая формула:

$E[X] = p_1X_1 + p_2X_2 + p_3X_3$, где X_i – финальный результат сценария i , p_i — вероятность сценария i .

Допустим, финансовые показатели по каждому сценарию выглядят следующим образом: оптимистичный сценарий ($X_1 = +5000000$); реалистичный сценарий ($X_2 = +2000000$); пессимистичный сценарий ($X_3 = -1000000$).

Используя введенные вероятности, получаем:

$E[X] = 0,2 \cdot 5000000 + 0,5 \cdot 2000000 + 0,3 \cdot (-1000000) = 1000000 + 1000000 - 300000 = 1700000$.

Получается, что средняя ожидаемая прибыль равна 1,7 миллиона рублей. Этот показатель полезен, но недостаточен сам по себе, поскольку не учитывает риск.

Этап 3. Анализ уровня риска через стандартное отклонение.

Чтобы определить уровень риска, вычисляют стандартное отклонение, которое показывает разброс значений относительно среднего. Используем следующую формулу:

$$\sigma = \sqrt{(p_1(X_1 - E[X])^2 + p_2(X_2 - E[X])^2 + p_3(X_3 - E[X])^2}$$

Сначала найдем квадратичные отклонения:

$$(X_1 - E[X])^2 = (5000000 - 1700000)^2 = 10890000000;$$

$$(X_2 - E[X])^2 = (2000000 - 1700000)^2 = 90000000;$$

$$(X_3 - E[X])^2 = (-1000000 - 1700000)^2 = 7290000000.$$

Вычисляем стандартное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{0,2 \cdot 10890000000 + 0,5 \cdot 90000000 + 0,3 \cdot 7290000000} \approx \sqrt{2178000000 + 45000000 + 2187000000} \approx \sqrt{4410000000} \approx 66400000.$$

Высокий уровень стандартного отклонения (около 66 миллионов рублей) подчеркивает значительный риск проекта.

Закрепление материала.

Для лучшего освоения материала преподаватель может задать студентам дополнительные вопросы:

1. Почему при расчете ожидаемой стоимости проекта используется формула средневзвешенного дохода?
2. Какие сценарии были выделены в анализе рисков? Какой смысл имеет каждый из них?
3. Как изменится результат, если вероятность оптимального сценария увеличится до 0,3, а остальные останутся прежними?

Для создания проектной работы можно предложить следующую работу:

1. Рассмотрите ситуацию своего собственного стартапа или любого другого реального проекта. Проведите аналогичный анализ рисков и поделитесь результатами.
2. Подумайте над созданием инструмента для автоматического расчёта рисков, какой функционал вы хотели бы видеть в таком инструменте?

Для выполнения проектных работ и более глубокого погружения в тему студентам рекомендуется ознакомиться с литературой, посвященной как математическому аппарату [1, 3], так и вопросам управления рисками [2] и создания стартапов [4].

Введение данного примера на занятии помогает увидеть, как теоретические основы курса математики помогают анализировать реальные ситуации, принимать обоснованные решения и оценивать экономические перспективы. Методика основана на глубоком понимании рисков и их управлении посредством четких математических инструментов, что готовит выпускников к современным профессиональным вызовам.

Литература

1. Боярский, М. Д. Специальные главы теории вероятностей / М. Д. Боярский, М. Д. Локшин, А. А. Кныш. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2014. 59 с. EDN YVLMIJ.

2. Воронцовский, А. В. Управление рисками: учебник и практикум для вузов / А. В. Воронцовский. 2-е изд. Москва: Юрайт, 2025. 485 с.

3. Куликова, О. В. Анализ экономического приложения задач линейного программирования с помощью ИКТ: Рекомендовано Советом по учебно-методическим вопросам и качеству образования Уральского государственного экономического университета в качестве учебного пособия / О. В. Куликова, А. А. Кныш, Д. С. Миронов. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2018. 85 с. EDN YKYKMP.

4. Спиридонова, Е. А. Создание стартапов: учебник для вузов / Е. А. Спиридонова. 2-е изд. Москва: Юрайт, 2025. 187 с.

© Бухарова Ю.С., 2025

УДК 531, 372.853

О МЕХАНИКЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Абдуллин А.У.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

В своем докладе мы продолжаем обзор трудных мест курса общей физики [1-3]. Тема, обозначенная в заголовке, находится на обочине дисциплины «Механика» в курсе общей физики. На полноценное рассмотрение задач на эту тему не хватает часов. Между тем, она исключительно важна для профиля «Цифровая петрофизика» направления «Физика» и направления «Прикладные математика и физика». Для них эти задачи дают первое представление о динамике нефтяного и газового пластов. То есть, прямо относятся к освоению компетенции ОПК-1 «Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности».

Уравнение Эйлера пугает будущих нефтяников градиентом и понятием объемной плотности массовых тел. Но когда в задачах в одномерном случае градиент превращается в знакомую производную, оторопь пропадает. Уравнение Бернулли кое-где проходится в школе, но, тем не менее, у всех неизменно возникают проблемы с определением линий тока. Требуется минимальная практика. Ну и, конечно, приходится ограничиваться рассмотрением только ламинарного течения (число Рейнольдса $Re < 2000$). Вихри и оператор ротора векторного поля оставляем для курса векторной алгебры по математике и спецкурсов. С трением проще: формулы Пуазейля и Стокса воспринимаются нормально, тем более, что в следующем (втором) семестре в курсе молекулярной физики на них есть хорошие лабораторные работы.

Литература

1. Абдуллин А.У. Зрение как дифракция на зрачке. // Тезисы докладов XV Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании», Уфа, 2024. С.214.

2. Абдуллин А.У. О геометрической оптике. // Сборник материалов VII Всероссийской научно-методической конференции «Проблемы современного физического образования». Уфа, 2023. С.25-26.

3. Абдуллин А.У. О некоторых трудностях преподавания оптики в курсе общей физики классического вуза. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе». Стерлитамак, 2024. С.413-416.

© Абдуллин А.У., 2025

УДК 378

О ЗНАЧИМОСТИ АКСИОМАТИКЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Пахомов С.Д.

Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

При работе в различных математических дисциплинах мы чаще всего работаем с числами. Важно, чтобы студенты понимали природу этих чисел. Многие вещи, воспринимаемые нашим сознанием интуитивно правильно, часто имеют нетривиальную причинность. Важно рассмотреть данную причинность, тем самым дать возможность студентам видеть наиболее полную математическую картину, чтобы математика могла быть понята как единая система, где что-либо существует по конкретной причине.

Введём понятие как аксиомы. Аксиома – это утверждение о свойстве основных отношений, принимаемое без доказательства и служащее основанием для построения той или иной научной теории. Логически очевидно, что определению поддаются не все понятия, как и не все свойства данных понятий поддаются доказательству, ибо каждое определение понятия исключительно сводится к другим понятиям, а любое свойство исключительно выводится из других свойств. Поэтому нам необходимы основные понятия и их свойства, в частности аксиомы. [1].

Аксиоматически действительные числа вводятся так: множество \mathbb{R} называется множеством действительных чисел, а его элементы действительными числами, если выполняются следующие аксиомы:

- Определенно отображение (операция сложения) $+: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

- A1 – существует нейтральный элемент $0 \in \mathbb{R}$, такой что $\forall x \in \mathbb{R}, x + 0 = 0 + x = x$
- A2 – для любого $x \in \mathbb{R}$ найдётся элемент $(-x) \in \mathbb{R}$ (противоположный к x), такой что $x + (-x) = (-x) + x = 0$
- A3 – ассоциативность сложения: $\forall x, y, z \in \mathbb{R}, x + (y + z) = (x + y) + z$
- A4 – коммутативность сложения: $\forall x, y \in \mathbb{R}, x + y = y + x$
- Определенно отображение (операция умножения) $*$: $\mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$
- A5 – существует нейтральный элемент $1 \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$, такой что $\forall x \in \mathbb{R} \setminus \{0\}, x * 1 = 1 * x = x$
- A6 – для любого $x \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ найдётся элемент $x^{-1} \in \mathbb{R}$ (обратный к x), такой что $x * x^{-1} = x^{-1} * x = 1$
- A7 – ассоциативность умножения: $\forall x, y, z \in \mathbb{R}, x * (y * z) = (x * y) * z$
- A8 – коммутативность умножения: $\forall x, y \in \mathbb{R}, x * y = y * x$
- A9 – дистрибутивность: $\forall x, y, z \in \mathbb{R}, (x + y) * z = x * z + y * z$
- Определён линейный порядок
- B1 – рефлексивность: $\forall x \in \mathbb{R}, x \leq x$
- B2 – антисимметричность: $\forall x, y \in \mathbb{R}, (x \leq y \wedge y \leq x \Rightarrow x = y)$
- B3 – транзитивность: $\forall x, y, z \in \mathbb{R}, (x \leq y \wedge y \leq z \Rightarrow x \leq z)$
- B4 – сравнимость: $\forall x, y \in \mathbb{R}, x \leq y \vee y \leq x$
- B5 – $\forall x, y, z \in \mathbb{R}, (x \leq y \Rightarrow x + z \leq y + z)$
- B6 – $\forall x, y \in \mathbb{R}, (0 \leq x \wedge 0 \leq y \Rightarrow 0 \leq x * y)$

Введена аксиома полноты: пусть X и Y – непустые подмножества \mathbb{R} , тогда $\forall x \in X \forall y \in Y, x \leq y \Rightarrow \exists z \in \mathbb{R} : \forall x \in X \forall y \in Y, x \leq z \leq y$

Соответственно \mathbb{R} есть набор этих аксиом [2].

Уже здесь мы наблюдаем, казалось бы, интуитивно понятные свойства знакомые нам со школы, однако именно строгость их определения позволяет говорить о математике как о системе. Но так же отсюда выводятся не менее важные свойства, например единственность нуля, единственность единицы, факты что $(-1) * (-x) = x$, $(-x) * (-x) = x * x$ или даже что $0 < 1$. Осознание этой системы позволяет студенту перейти от интуитивного понимания математики к истинно научному, когда существование чего-либо возможно только через его доказательство.

Литература

1. Энциклопедия элементарной математики / Академия педагогических наук РСФСР; под редакцией П. С. Александрова [и др.]. Москва; Ленинград : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1951, 1 т. 120 с.
2. Энциклопедия элементарной математики / Академия педагогических наук РСФСР; под редакцией П. С. Александрова [и др.].

УДК 378

ПРИМЕР ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «МАТРИЦЫ»

Глаголева В.О.

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Для лучшего понимания и усвоения темы «Матрицы» можно привести пример практико-ориентированной задачи.

Рассмотрим пример на составление контактов первого и второго порядков в эпидемиологии. Предположим, четверо заболевших заразной болезнью образуют первую группу. Затем формируется вторая группа, включающая людей, которых опросили относительно возможного контакта с больными из первой группы. Далее проводится опрос третьей группы, состоящей из пяти человек, для выявления контактов с представителями второй группы.

Для составления контактов первого и второго используем матрицы.

Запишем, например, первую матрицу $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$. Количество

строк данной матрицы соответствует количеству человек первой группы, количество столбцов соответствует количеству человек из второй группы. Элементами данной матрицы являются единицы, если был контакт между людьми из групп, нули, если контакта не было. Например, единица из матрицы, стоящая во второй строке и третьем столбце показывает, что контакт был между вторым человеком первой группы и третьим человеком из второй группы.

Аналогично приведем пример матрицы, отображающей второй порядок контактов $B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$. Элемент 0, стоящий в первой строке и в третьем столбце означает, что контакта между первым человеком второй группы и третьим человеком третьей группы не было. Последний столбец показывает, что пятый человек третьей группы не контактировал ни с кем из второй группы. Приведенные матрицы описывают схему контактов первого порядка между группами.

Применение матриц для регистрации контактов делает запись более компактной и простой.

На данном примере покажем применение умножения матриц, которое проиллюстрирует непрямые контакты, т.е. контакты людей первой и третьей групп.

$$A \cdot B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Элементы данной матрицы показывают число контактов второго порядка. Например, элемент 2, стоящий в первой строке и втором столбце матрицы произведения показывает, что имеется два контакта второго порядка. Из матрицы видно, что четвертый человек третьей группы имеет 4 не прямых контакта с первой группой. Полученная матрица не прямых контактов может помочь в оптимальном введении карантинных мероприятий.

Примеры практико-ориентированных задач по линейной алгебре можно использовать из источников [1, 2, 3, 4].

Литература

1. Баврин, И. И. Высшая математика для педагогических направлений: учебник для вузов / И. И. Баврин. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2025. 568 с.
2. Кныш, А. А. Линейные модели в экономике / А. А. Кныш, С. В. Марвин, В. Б. Соловьянов. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2017. 70 с. EDN LAWKFV.
3. Кремер, Н. Ш. Линейная алгебра: учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер, М. Н. Фридман, И. М. Тришин. 3-е изд., испр. и доп. Москва : Юрайт, 2025.- 422 с.
4. Татарников, О.В. Линейная алгебра: учебник для вузов / О. В. Татарников, А. С. Чуйко, В. Г. Шершнев. Москва: Юрайт, 2025.- 273 с.

© Глаголева В.О., 2025

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»**

УДК 575.174:599.9

**АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА
rs1065852 ГЕНА CYP2D6**

В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ РОССИИ

Агуреева К.А.¹, Джаубермезов М.А.^{1,2}, Екомасова Н.В.^{1,2},
Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Цитохром P450 2D6 (*CYP2D6*) – ген, кодирующий фермент, преимущественно экспрессируемый в печени и областях центральной нервной системы (сером веществе). Ген расположен в 22 хромосоме рядом с двумя псевдогенами (*CYP2D7P* и *CYP2D8P*). Данный цитохром относится к семейству ферментов P450 человека, отвечающих за метаболизм различных медицинских препаратов, используемых в психиатрии, онкологии и кардиологии [1].

В исследовании приняли участие 119 предположительно здоровых лиц 2 финно-угорских популяций с территорий Российской Федерации (карелы и вепсы). Отбор проб проводился в соответствии с этическими стандартами. ДНК была извлечена из периферической крови с использованием фенольно-хлороформного метода. Для генотипирования полиморфных локусов использовалась технология ПЦР в реальном времени TaqMan.

По результатам молекулярно-генетического анализа установлено, что аллель T rs1065852 гена *CYP2D6* в популяции вепсов встречался с частотой 10,6% (95% ДИ 5,4-18,14), в близкородственной вепсам популяции карелов данный аллель наблюдался с частотой 15,25% (95% ДИ 9,3-23,03).

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2025-407/2 от 27 марта 2025 года.

Литература

1. Zhou S. F. // Clin. Pharmacokinet., 2009, v. 48(12), pp. 761–804.

© Агуреева К.А., Джаубермезов М.А.,
Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К., 2025

АНАЛИЗ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS1805010 ГЕНА IL4RA В ФОРМИРОВАНИИ РАКА ЯИЧНИКОВ

Александрова С.С., Аминова Э.Т., Каримова Д.И., Прокофьева Д.С.
Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, Россия

Рак яичников занимает восьмое место среди всех онкологических заболеваний у женщин в России. Данная патология составляет 3% от общего количества заболевших раком женщин по всему миру [2]. IL4Ra, вырабатываемый опухолевыми клетками, способствует устойчивости к иммунотерапии при раке яичников благодаря контролю над макрофагами [1].

Цель исследования: анализ ассоциации полиморфного локуса rs1805010 в гене *IL4Ra* с риском развития РЯ у женщин из Республики Башкортостан.

Материалом для исследования послужили образцы ДНК больных раком яичников (n=367) и условно здоровых женщин (n=289). Генотипирование проводилось при помощи ПДРФ-анализа.

Результаты. Обнаружено, что частота аллеля А полиморфного локуса rs1805010 гена *IL4Ra* среди женщин больных раком яичников составляет 40%, а частота аллеля G- 60%. Генотип AA встречался с частотой 16%, AG – 48%, GG – 36%. В контрольной группе частота аллеля А составила 41%, а аллеля G – 59%. Генотип AA встречался с частотой 14%, AG – 53% и GG – 33%. При анализе распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма rs1805010 гена *IL4Ra* в общей выборке, при разделении по этнической принадлежности и таким клиническим параметрам как менопаузальный статус, степень дифференцировки опухолевых клеток не выявлено различий между исследуемыми группами ($p>0,05$). Однако нами было обнаружено, что аллель А данного полиморфного варианта достоверно чаще встречался в группе больных без метастазов по сравнению с пациентами с метастазами, $OR= CI (1,63 (1,03-2,57))$; $p=0,04$.

Выводы. Полученные нами данные свидетельствуют об определенном вкладе полиморфного локуса rs1805010 гена *IL4Ra* в формировании метастазов опухолей яичников.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ МНУВО РФ (соглашение № 075-03-2025-407/2).

Литература

1. Mollaoglu, G., Tepper, A., Falcomata, C., Potak, H.T., Pia, L., Amabile, A., Mateus-Tique, J., Rabinovich, N., // Ovarian cancer-derived IL-4 promotes immunotherapy resistance, 2024, v. 187(26), pp. 7492-7510.

2. Webb, P.M., Jordan, S.J. // Global epidemiology of epithelial ovarian cancer, 2024, v. 21(5), pp. 389-400.

© Александрова С.С., Аминова Э.Т.,
Каримова Д.И., Прокофьева Д.С., 2025

УДК 575.162:575.167:57.024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К АГРЕССИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ГЕНУ *KCNK10*

Казанцева А.В.¹, Мифтахова Д.Р.², Мустафин Р.Н.³, Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

²Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

³Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия

Агрессивное поведение (АП) как многофакторный конструкт области генетики поведения является результатом взаимодействия как наследственных (генетических), так и средовых факторов. Широкое применение методики полногеномного анализа ассоциаций (GWAS) позволяет из ~650 тысяч генетических вариантов идентифицировать те из них, которые ассоциированы с формированием изучаемого фенотипа. Поскольку ранее в нашей лаборатории с помощью GWAS подхода в тренировочной выборке было выявлено несколько генетических локусов, ассоциированных с уровнем агрессии, включая rs17124581, находящийся в непосредственной близости к гену *KCNK10* ($p = 1,56 \cdot 10^{-6}$), целью настоящей работы являлось проведение репликативного анализа ассоциаций данного генетического варианта с индивидуальными вариациями в показателях агрессивности в тестируемой выборке ($N = 1104$, ср. возраст $19,7 \pm 4,7$ лет, 79% женщины). Были проанализированы различные математические модели, основанные на аддитивном, доминантном, рецессивном характере наследования генетического локуса (PLINK v.1.09) с использованием линейной регрессии, в которой предикторами служили данные генетического характера каждого из респондентов, а также особенности детско-родительских отношений и воспитания в качестве средовых компонентов. В качестве зависимой переменной использовался уровень агрессивности, оцененный с помощью опросника Басса-Перри (BPAQ). Математические модели, включающие только информацию по локусу rs17124581 в качестве предиктора, не достигли уровня статистической значимости. Однако, был выявлен эффект ген-средовых взаимодействий, свидетельствующий о дифференциальном характере генетической ассоциации локуса rs17124581 с уровнем АП, которая была обнаружена только у лиц,

воспитанных в городской местности ($p=0,038$), в то время как данная ассоциация нивелировалась при включении в анализ респондентов, выросших в сельской местности. Полученные данные свидетельствуют о вовлеченности семейства калиевых каналов в формирование АП.

© Казанцева А.В., Мифтахова Д.Р.,
Мустафин Р.Н., Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 57.575, 57.087

ВКЛАД ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *MMP9* И *MMP12* В РАЗВИТИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА

Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Роль полиморфных вариантов генов матриксных металлопротеиназ *MMP9* и *MMP12* в развитии хронического гастрита (ХГ) является предметом активного изучения, так как эти ферменты играют ключевую роль в ремоделировании внеклеточного матрикса при воспалении [1]. В нашем исследовании проведен анализ ассоциации полиморфных локусов rs17576 (836A>G) гена *MMP9* и rs652438 (1070A>G) гена *MMP12* с риском развития ХГ в выборке отобранных пациентов и контроля из Республики Башкортостан. В качестве материала исследования использованы образцы ДНК 160 пациентов с ХГ и 110 индивидов контрольной группы в возрасте 18-50 лет, проживающих в Республике Башкортостан. Генотипирование выполнено с помощью метода ПЦР в режиме реального времени. Распределение генотипов в изученных группах соответствовало равновесию Харди-Вайнберга. Статистическая обработка включала расчет отношения шансов (OR) с доверительным интервалом и критерий χ^2 с поправкой Йетса для сравнения частот аллелей и генотипов. В результате анализа выявлены статистически значимые ассоциации изучаемых полиморфизмов с риском развития хронического гастрита. Проведённый анализ выявил ассоциацию аллеля rs17576*G по полиморфному варианту rs17576 гена *MMP9* с риском развития хронического гастрита у мужчин. Полученные данные позволяют глубже изучить механизмы и молекулярные основы патогенеза ХГ, а также идентифицировать важные молекулярно-генетические маркеры риска развития данной патологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024»

Литература

1. Frank B., Müller H., Weck M. N. et al. DNA repair gene polymorphisms and risk of chronic atrophic gastritis: a case-control study // BMC Cancer. 2011; 11: 440.

© Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю., 2025

УДК 57.575, 57.087

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ NOS3, VEGFA В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА

Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю., Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Хронический гастрит (ХГ) – одно из самых распространенных заболеваний пищеварительной системы в мире. ХГ характеризуется воспалительными и дистрофическими изменениями слизистой оболочки желудка и является фактором развития злокачественных новообразований желудка. Целью исследования является анализ ассоциации полиморфных вариантов генов *NOS3* (rs2070744 (786T>C) и rs1799983 (894G>T)), *VEGFA* (rs2010963 (634G>C), rs2146323 (936C>T), rs699947 (1154A>G)) с развитием хронического гастрита среди населения Республики Башкортостан. В качестве материала исследования использованы образцы ДНК 211 пациентов с ХГ и образцы ДНК 121 индивидов контрольной группы в возрасте 18-50 лет, проживающих в Республике Башкортостан. Генотипирование выполнено с помощью метода ПЦР в режиме реального времени. Статистическая обработка включала расчет отношения шансов (OR) с доверительным интервалом и критерий χ^2 с поправкой Йетса для сравнения частот аллелей и генотипов. В результате исследования была установлена ассоциация аллеля rs1799983*Т и генотипа rs1799983*ТТ по полиморфному варианту rs1799983 гена *NOS3* с повышенным риском развития ХГ у лиц с наследственной отягощенностью. У индивидов татарской этнической принадлежности обнаружена ассоциация генотипа rs1799983*ТТ гена *NOS3* и аллеля rs699947*А полиморфного локуса rs699947 гена *VEGFA* с риском развития ХГ. При этом генотип rs1799983*GT гена *NOS3* продемонстрировал протективный эффект в отношении ХГ у женщин. Полученные данные позволяют глубже изучить механизмы и молекулярные основы патогенеза ХГ, а также идентифицировать важные молекулярно-генетические маркеры риска развития данной патологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024»

© Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю.,
Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С., 2025

УДК 575.174:599.9

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs2740574 ГЕНА *CYP3A4* В ПОПУЛЯЦИИ УДМУРТОВ

Куряев Б.Р.¹, Киль Е.Е.¹, Джаубермезов М.А.^{1,2}, Екомасова Н.В.^{1,2},
Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Ген *CYP3A4* кодирует фермент, входящий в суперсемейство ферментов цитохрома P450. Белки цитохрома P450 представляют собой монооксигеназы, которые катализируют многие реакции, связанные с метаболизмом лекарственных средств и синтезом холестерина, стероидов и других липидов. Этот белок локализуется в эндоплазматическом ретикулуме, и его экспрессия индуцируется глюкокортикоидами и некоторыми фармакологическими средствами. Этот фермент участвует в метаболизме примерно половины лекарств, продаваемых сегодня в США, включая ацетаминофен, кодеин, циклоспорин А, диазепам, эритромицин и хлорохин. Данный фермент также метаболизирует некоторые стероиды и канцерогены. Представители семейства *CYP3* и, в частности, *CYP3A4* являются частью кластера генов цитохрома P450 и локализируются на седьмой хромосоме (7q21.1). Полиморфный вариант rs2740574 находится в промоторной зоне гена *CYP3A4*; потенциально, разные его формы влияют на экспрессию *CYP3A4* по-разному. Ранее было изучено распространение некоторых SNP семейства ферментов цитохрома P450 в финно-пермских популяциях Российской Федерации (Dzhaubermезov et al., 2022), однако распределение аллелей rs2740574 гена *CYP3A4* в обозначенных популяциях не было рассмотрено.

Материалом для исследования служили образцы ДНК (N=96), выделенные из цельной крови неродственных представителей популяции удмуртов. Забор крови осуществлялся после подписания информированного согласия на участие в научном исследовании лицами, достигшими 18-летнего возраста и заполнившими анкеты с указанием предков до третьего поколения. Выделение ДНК из периферической крови проводилось стандартным методом фенол-хлороформной

экстракции. Генотипирование проводили методом ПЦР в режиме реального времени с использованием наборов фирмы «Синтол».

Выявлено, что частота генотипа АА полиморфного варианта rs2740574 гена *CYP3A4* в популяции удмуртов составляет 88,54%, генотип АG – 11,46%. Генотип GG в популяции удмуртов обнаружен не был. Таким образом, частота аллеля G в популяции удмуртов составила 5.73%, что соответствует таковому лишь в некоторых популяциях Южной Азии (The 1000 Genomes Project Consortium, 2012).

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки высшего образования Российской Федерации № 075-03-2024-123/1.

Литература

1. Dzhaubermezov et al. // Genes (Basel). 2022, v 13(12), p.2353.
2. The 1000 Genomes Project Consortium // Nature. 2012, v 491(7422), p. 56-65.

© Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Джаубермезов М.А.,
Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 618.11-006.6:575.113

АНАЛИЗ АССОЦИИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА rs17879749 (c.573delA) ГЕНА MMP1 С РИСКОМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАКА ЯИЧНИКОВ

Каримова Д.И., Александрова С.С., Аминова Э.Т., Прокофьева Д.С.
Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

Рак яичников (РЯ) – это одна из самых сложных форм онкопатологий, этиология и патогенез которой окончательно не изучены. Ген *MMP1* кодирует матриксную металлопротеиназу (ММП) семейства пептидаз M10, обладающих способностью специфически гидролизовать основные белки экстраклеточного матрикса. Многие опухоли имеют локально увеличенные уровни матриксных металлопротеаз, ферментов, способных разлагать любой белок матрикса.

Цель исследования: анализ ассоциации варианта rs17879749 гена *MMP1* с риском развития РЯ у женщин из Республики Башкортостан.

Материалом для исследования послужили образцы ДНК, выделенные из венозной крови пациенток с раком яичников (n=185) и условно здоровых женщин (n=178). Генотипирование осуществлялось при помощи ПДРФ-анализа.

Обнаружено, что частота аллеля 2А полиморфного локуса rs17879749 гена *MMP1* среди женщин больных раком яичников составляет 96,49%, а

частота аллеля 1А - 3,51%. Генотип 2А/2А встречался с частотой 92,97%, 1А/2А – 7,03%. В контрольной группе частота аллеля 2А составила 94,38%, а аллеля 1А – 5,62%. Генотип 2А/2А встречался с частотой 88,76%, 1А/2А – 11,24%. Генотип 1А/1А не встречался ни в группе больных, ни в контрольной группе. При анализе распределения частот аллелей и генотипов полиморфизма rs17879749 гена *MMP1* в общей выборке, при разделении по этнической принадлежности и таким клиническим параметрам как менопаузальный статус, метастазирование, степень дифференцировки опухолевых клеток не выявлено различий между исследуемыми группами ($p > 0,05$). Однако нами было обнаружено, что генотип 2А/2А и аллель 2А данного полиморфного варианта достоверно чаще встречались в группе больных с I-II стадиями по сравнению с пациентами с III-IV стадиями рака яичников, $OR=CI$ (6,25 (1,34-29,15)); $p=0,020$ и $OR=CI$ (5,89 (1,28-26,97)); $p=0,023$ соответственно. Полученные нами данные свидетельствуют об определенном вкладе полиморфного локуса rs17879749 гена *MMP1* в тяжесть течения заболевания у женщин из Республики Башкортостан.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ МНУВО РФ (соглашение № 075-03-2025-407/2).

© Каримова Д.И., Александрова С.С.,
Аминова Э.Т., Прокофьева Д.С., 2025

УДК 575.174:599.9

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОГОРНОЙ АДАПТАЦИИ В ПОПУЛЯЦИИ БАЛКАРЦЕВ

Джаубермезов М.А.^{1,2}, Екомасова Н.В.^{1,2}, Габидуллина Л.Р.¹,
Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, г. Уфа, Россия

Высокогорные районы представляют собой экстремальные среды обитания, главным образом, из-за условий гипобарической гипоксии. Высотная болезнь оказывает серьёзное воздействие на организм человека и является прямым следствием экспоненциального снижения барометрического давления с высотой. Реакция организма на стрессовые условия чрезвычайно разнообразна. Она включает изменения в дыхательной, сердечно-сосудистой, кроветворной системах и клеточной адаптации. В настоящее время известно, что люди независимо друг от друга адаптировались к условиям хронического дефицита кислорода на больших высотах в нескольких местах, и недавние исследования всего

генома выявили генетическую основу этой адаптации [1].

Мы изучили область размером около 700 Кб в локусе 1q42.2 в популяции балкарцев, используя метод интегрированного отбора аллелей, благоприятствуемых эволюцией (iSAFE).

Анализ выявил регион, включающий пять генетических вариантов генов *SPRTN* и *EGLN1* с наивысшими показателями iSAFE в выборке балкарцев, что свидетельствует о наличии положительного отбора для обнаруженных вариантов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2025-407/2 от 27 марта 2025 года.

Литература

1. Bigham A. W. // Genes Dev. 2014. v. 28(20), pp. 2189–2204.

© Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В.,
Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 575.174:599.9

ИЗУЧЕНИЕ ВОСТОЧНО-ЕВРАЗИЙСКИХ ГАПЛОГРУПП МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК НА ОСНОВЕ ПОЛНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ МИТОГЕНОМОВ

Екомасова Н.В.^{1,2}, Джаубермезов М.А.^{1,2}, Суфьянова З.Р.¹,
Габидуллина Л.Р.¹, Хидиятова И.М.^{1,2}, Ахметшин А.А.²,
Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Изучение вариабельности митохондриальной ДНК (мтДНК) является одним из наиболее эффективных подходов генетического исследования, который позволяет сделать значительный шаг вперед в отношении изучения генетической структуры и истории популяций. Маркеры мтДНК позволяют проследить генетическую историю народов по женской линии от этапов становления до настоящего времени. В нашей работе мы рассматриваем мтДНК с максимально возможным разрешением и с использованием метода полногеномного секвенирования мтДНК. Филогения гаплогруппы F1b1b мтДНК. Необходимо сказать, что нами впервые в субпопуляциях башкир была обнаружена уникальная субгаплогруппа гаплогруппы F1b1b. Выявленная нами субгаплогруппа на

сегодняшний день включает в себя только образцы из субпопуляций башкир. Наличие такой линии указывает на связь башкир с популяциями Восточной Азии и Сибири. Кроме того, линии гаплогруппы F1b1b ранее были выявлены у ряда древних образцов Бронзового и Железных веков с территории Сибири, что свидетельствует о потенциальном участии скифо-сибирского населения в этногенезе башкир.

Работа выполнена при поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2025-407/2 от 27 марта 2025 года».

© Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Суфьянова З.Р., Габидуллина Л.Р., Хидиятова И.М., Ахметшин А.А., Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 575.1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПОВ И АЛЛЕЛЕЙ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS273259 ГЕНА *IFI44L* В ПОПУЛЯЦИЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Суфьянова З.Р.¹, Екомасова Н.В.^{1,2}, Джаубермезов М.А.^{1,2},
Габидуллина Л.Р.¹, Ахметшин А.А.², Прокофьева Д.С.¹,
Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

Благодаря генетическим данным человека можно выявить генетические варианты генов, участвующих в иммунном ответе организма на вирусы и реакции на вакцины. Одним из таких генов является интерферон-стимулированный ген I типа - *IFI44L*. Аллель А генетического варианта rs273259 данного гена связывают со склонностью к фебрильным судорогам после вакцинации против кори, паротита и краснухи [1]. В результате исследования было выявлено, что генотип GG генетического варианта rs273259 гена *IFI44L* с высокой частотой встречается в субпопуляциях оренбургских (37,5%) и абзелиловских башкир (31,9%), с наименьшими частотами были выявлены в популяциях мордвы (12,2%), туймазинских татар (11,4%), ингушей (11,8%) и чеченцев (9,9%). Генотип AA встречается с наибольшими частотами в популяциях ингушей (52,9%), мордвы (45,9%), туймазинских татар (36,4%), аскинских башкир (35,9%). С наименьшими частотами встречается в субпопуляции баймакских башкир (12,5%). Аллель А с наибольшими частотами была найдена в популяциях ингушей (70,6%), мордвы (66,9%), чеченцев (63,7%), туймазинских татар (62,5%), карачаевцев (57,1%) и в субпопуляции пермских башкир (58,2%). Были

выявлены статистически значимые различия среди исследованных популяций и некоторыми популяциями мира.

Работа выполнена при поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2025-407/2 от 27 марта 2025 года».

Литература

1. Feenstra B., Pasternak B., Geller F., et al. Common variants associated with general and MMR vaccine-related febrile seizures // *Nat. Genet.* 2014, V. 46(12), pp. 1274-1282.

© Суфьянова З.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Габидуллина Л.Р., Ахметшин А.А., Прокофьева Д.С., Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 575.174:599.9

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ ЧУМЫ В ДРЕВНИХ ГЕНОМАХ С ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Габидуллина Л.Р.¹, Джаубермезов М.А.^{1,2}, Екомасова Н.В.^{1,2},
Атабиев Б.Х.³, Хуснутдинова Э.К.^{1,2}

¹Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

²Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, г. Уфа, Россия

³Институт археологии Кавказа, г. Нальчик, Россия

Чёрная смерть, вызванная бактерией *Yersinia pestis*, стала второй волной пандемии чумы и привела к катастрофическим демографическим потерям в Евразии в XIV веке. Существуют различные мнения относительно нахождения первичного очага эпидемии и путей распространения возбудителя на Запад Евразии. На основе генетических данных можно выдвигать гипотезы о географических истоках чёрной смерти, факторах распространения и диверсификации штаммов патогена. Идентификация и дальнейший анализ *Y. pestis* в древних геномах с территории Северного Кавказа позволяет уточнить пути распространения пандемии.

Материалом для исследования послужил палеоматериал в виде зубов 2 индивидуумов из могильников с территории Кабардино-Балкарской республики, принадлежащих периоду новейшего времени (XVII-XX). Для подтверждения датировки образцов был проведен радиоуглеродный анализ. По результатам генетического определения пола и родства было выявлено, что оба индивида являлись мужчинами, не имевшими родственную связь 1-2 степеней.

Анализ данных полногеномного секвенирования древних геномов позволил обнаружить в образцах зубов двух мужчин фрагменты древней ДНК патогена *Yersinia pestis* в среде населения Северного Кавказа периода новейшего времени.

Работа выполнена при поддержке «Государственное задание Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-03-2025-407/2 от 27 марта 2025 года».

Литература

1. Benedictow, O. J. The Black Death, 1346–1353: the Complete History (Boydell & Brewer, 2004).

© Габидуллина Л.Р., Джаубермезов М.А.,
Екомасова Н.В., Атабиев Б.Х, Хуснутдинова Э.К., 2025

УДК 538.7

РАСЧЕТ НАВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВЕРХПРОВОДНИКЕ ПРИ КОНТАКТЕ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ ИЗОЛЯТОРОМ

Селезнёв Д.В., Пугач Н.Г., Туркин Я.В.
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Современная криогенная электроника остро нуждается в создании энергоэффективных элементов для квантовых вычислений и памяти следующего поколения. Перспективным направлением является разработка гибридных наноэлектронных компонентов, объединяющих сверхпроводимость и магнетизм. Такие устройства, работающие при сверхнизких температурах, используют как зарядовые, так и спиновые степени свободы электронов, что составляет основу сверхпроводящей спинтроники.

В данной работе теоретически изучались гибридные сверхпроводящие структуры на основе сверхпроводника в контакте с ферромагнитным изолятором. Для исследования фундаментальных свойств гибридных систем сверхпроводник-ферромагнитный изолятор (S-FI) была разработана комплексная вычислительная программа в среде MATLAB. В основе модели лежит численное решение системы уравнений Узаделя в спиновом пространстве с применением параметризации Риккати, что позволяет адекватно описывать неравновесные процессы в диффузионном пределе. Влияние

ферромагнитного диэлектрика учитывается через граничные условия с феноменологическим параметром – углом спинового смешивания ϕ .

Вычисляемые физические характеристики включают пространственное распределение параметра порядка сверхпроводника, характеризующее величину подавления сверхпроводимости вблизи границы раздела S-FI; энергетический спектр квазичастиц, описываемый спин-разрешенной плотностью состояний; а также проводимость и импеданс, которые определяют нестационарный отклик системы на высокочастотное внешнее воздействие.

*Работа выполнена в рамках проекта Научно-учебной группы
Квазиклассической динамики при поддержке Научного фонда ВШЭ.*

© Селезнёв Д.В., Пугач Н.Г.,
Туркин Я.В., 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕОРИЯ ФУНКЦИЙ»

Семенова Д.В. ТЕОРЕМА ДЕЛЕНИЯ В АЛГЕБРЕ БЕРНШТЕЙНА.....	3
Лаптев Т.О. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ОПЕРАТОРЫ В ОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ЦЕЛЫХ ФУНКЦИЙ.....	4

СЕКЦИЯ «МЕХАНИКА»

Шарипов Р.А. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ УПРУГИЕ СРЕДЫ В МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ КАК 3D-БРАНЫ.....	5
---	---

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Абдуллин А.У. О ГАУССОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЯ ФОККЕРА-ПЛАНКА.....	6
--	---

СЕКЦИЯ «ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СТАТИСТИКА»

Евдокимов А.А. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И ИХ СВЯЗЬ С ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ.....	7
Ермакова М.В., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАМИНАРНОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ТЕЧЕНИЯ КРОВИ В АРТЕРИИ.....	10
Токунов Е.Б., Поглазов К.Ю., Таюпов М.М. ПРИМЕНЕНИЕ «ИСКЛЮЧАЮЩЕГО ИЛИ» К КОМПОНЕНТАМ АЛГОРИТМА ДИФФИ-ХЕЛЛМАНА.....	11
Галимнуров А.А. ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПОРТФЕЛЯ ОБЛИГАЦИЙ НА ОСНОВЕ LSTM И DRO ЗАДАЧИ КЕЛЛИ.....	12
Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А., Долгий Д.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	13

ПРИГЛАШЕННЫЕ ЛЕКЦИИ

Загребин М.А., Павлухина О.О., Сокол А.С., Безбородова П.А., Матюнина М.В. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Fe-Ga.....	14
Каманцев А.П. КАЛОРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ И УСТРОЙСТВА НА ИХ ОСНОВЕ.....	16
Сундеев Р.В. ПОЛУЧЕНИЕ АМОРФНЫХ И АМОРФНО- НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ МЕТОДАМИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	17
Хазимуллин М.В. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ.....	18
Шарипов Т.И. ОЧЕРК ЖИЗНИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПУТИ. ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА Р.З. БАХТИЗИНА.....	20

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»

Евдокимов А.Г. ВЛИЯНИЕ НАПЫЛЕНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА $\text{BaSrNb}_2\text{O}_6$ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ ПЛЕНКИ ФЕРРИТА ГРАНАТА.....	31
Филиппов М.А., Вахитов Р.М., Хакимуллина А.А., Ахметова А.А. ВЛИЯНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ДЕФЕКТОВ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВИХРЕПОДОБНЫХ СТРУКТУР В УЛЬТРАТОНИКИХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЁНКАХ.....	33
Хакимуллина А.А., Вахитов Р.М., Филиппов М.А. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ДЕФЕКТА ТИПА «ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЯМА» НА РАДИУС МАГНИТНОГО СКРИМИОНА В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЛЁНКАХ.....	35
Филиппова В.В., Гареева З.В. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ НАНОРАЗМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ ФЕРРИТО-ГРАНАТОВ.....	37
Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф., Казакбаева Р.Р. МАГНИТНЫЕ СКРИМИОНЫ В НЕОДНОРОДНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ.....	39
Сазонов С.А., Синицын В.Е. МОДЕЛИРОВАНИЕ АТОМНЫХ БРИЗЕРОВ.....	40

Ахтарьянова Г.Ф., Харипова Д.И. АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ КРОВОЙ НОРЫ С ТОНКОЙ ОБОЛОЧКОЙ В ТЕОРИИ ЭДДИНГТОНА-БОРНА-ИНФЕЛЬДА....	41
Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ВОЛН БРИЗЕРНОГО И СОЛИТОННОГО ТИПОВ В МОДЕЛИ СИНУС- ГОРДОНА С ПРИТЯГИВАЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ.....	42
Синицын Вл.Е., Овчинников А.С., Бострем И.Г. ПОЛНОЕ НАРУШЕНИЕ РЕПЛИЧНОЙ СИММЕТРИИ В СПИНОВЫХ СТЕКЛАХ $Fe_xTAS_2(SE_2)$: ВЛИЯНИЕ НЕСТЕХИОМЕТРИИ НА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.....	43
Бострем И.Г., Овчинников А.С., Малютин М.С., Екомасов Е.Г., Кишине Дж. УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНЫ ДЛЯ ОГИБАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В МОНООКСИАЛЬНОМ КИРАЛЬНОМ ГЕЛИМАГНЕТИКЕ.....	44
Лукошкина Т.А., Нерадовский Д.Ф. ВЛИЯНИЕ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИКУ СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВИХРЕЙ В СПИН- ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРАХ.....	45
Хохлач Я.А., Баймурзина Ю.И., Гареева З.В., Звездин А.К. ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКАХ ВИДА $CuMnAs$	46
Закирьянов Ф.К., Латыпов А.Э. ПАРА «КИНК+АНТИКИНК» УРАВНЕНИЯ SIN-ГОРДОНА В ПРИМЕНЕНИИ К ОПИСАНИЮ ОТКРЫТОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ ДНК.....	47
Хасанов А.Д., Кабанов Д.К., Екомасов Е.Г. ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ВОЛНЫ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС- ГОРДОНА В МОДЕЛИ С ШИРОКОЙ ПРИТЯГИВАЮЩЕЙ ПРИМЕСЬЮ И ДИССИПАЦИЕЙ.....	48
Артамонов И.В., Загребин М.А. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Mn_3Al : ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ SCAN.....	49
Кудашев В.С., Фасхутдинов Р.А., Екомасов Е.Г. ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИКИ ВИХРЕЙ В ТРЕХСЛОЙНОМ СТНО ОТ ВНЕШНЕГО ПЛОСКОСТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	50
Юсупова Р.М., Измаилов Р.Н., Каримов Р.Х. СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНАЯ АККРЕЦИЯ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ.....	51

Демидова В.А., Юмагузин А.Р., Вахитов Р.М. ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В (111)-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ ФЕРРИТОВ- ГРАНАТОВ С УЧЕТОМ ФЛЕКСОМАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....	53
Пересторонина А.В., Тимиров Ю.И., Хазимуллин М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТИКАХ.....	54
Полуденная О.А, Шарафуллин И.Ф. МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПИНА ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ В МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОПЛЕНКАХ.....	55
Харипова Д.И., Каримов Р.Х. УГОЛ ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТА РЕГУЛЯРНЫМИ ЧЕРНЫМИ ДЫРАМИ С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ.....	57
Жигалов М.А., Будкин Г.В., Тарасенко С.А. ФОТОТОКИ В ЦЕНТРОСИММЕТРИЧНЫХ КВАНТОВЫХ ЯМАХ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ.....	58
Филиппов А.И., Зеленова М.А., Нагаев Р.Ш. ЗАКОН ДАРСИ В СИЛЬНО ДИССИПАТИВНЫХ СРЕДАХ.....	59
Шангареева В.Н., Закирьянов Ф.К. РЕШЕНИЕ В ВИДЕ КИНКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДНК.....	60
Хидиров У.К., Каримов Р.Х., Юсупова Р.М. ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ И ДЕФОРМАЦИИ ПРОБНОЙ ЧАСТИЦЫ ВБЛИЗИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ.....	61
Майбуров М.В., Котов Л.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ МАГНИТНЫХ И УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ПЛЁНКАХ МАРГАНЕЦ-ЦИНКОВОЙ ШПИНЕЛИ В ОБЛАСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА.....	62
Абрамовский И.Е., Котов Л.Н., Наяк Ч. НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕКТОРА НАМАГНИЧЕННОСТИ В ТРЁХСЛОЙНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЁНКЕ ЖИГ С НЕМАГНИТНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ ПРИ 100 К.....	63
Фадеева Е.О., Фридман Ю.А. ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО НЕГЕЙЗЕНБЕРГОВСКОГО ФЕРРИМАГНЕТИКА.....	64

СЕКЦИЯ «ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Юлдашева А.Р., Шарафуллин И.Ф, Самигуллина А.И. ФАЗА СКРМИОНА В ПЕРФОРИРОВАННОЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКЕ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИИ В ПЛОСКОСТИ.....	66
Самигуллина А.И., Шарафуллин И.Ф. ДИНАМИКА СПИНОВЫХ ВОЛН В ФРУСТРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ.....	68
Павлик В.В., Грешняков В.А. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ФАЗЫ НА ОСНОВЕ ГРАФИНОВЫХ СЛОЕВ.....	70
Вахитов Р.М., Ильясова Г.Ф. ВЛИЯНИЕ КОЛУМНАРНОГО ДЕФЕКТА НА ТОПОЛОГИЮ $k\pi$ - СКРМИОНОВ.....	71
Самборский Ф.М., Карандышев Д.А., Грешняков В.А. КУБИЧЕСКАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕХМЕРНО ПОЛИМЕРИЗОВАННОГО ФУЛЛЕРИТА C_{60}	73
Латыпова А.Р. ВЛИЯНИЕ МЕЖСЛОЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА СКРМИОННЫЕ ФАЗЫ В ФРУСТРИРОВАННЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОНКИХ ПЛЁНКАХ.....	74

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА»

Мамытбеков У.К., Мукашова А.Б., Шарипов Т.И., Кидибаев М.М. РАДИАЦИОННО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ИСТОЧНИКИ И УРОВНИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА.....	76
Шайхуллин Т.А., Шарипов Т.И. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА: ОСНОВЫ АНАЛИЗА, РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ.....	77
Гурбанов Р., Шарипов Т.И. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА: ОТ СВОЙСТВ ДО ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	78
Полухин Р.В., Шарипов Т.И. ФИЗИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МУЗЫКИ И ЕЕ ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ.....	79

Нурматов К.Дж., Караматов Ш.Г., Шарипов Т.И. АВТ83ОМАТИЗАЦИЯ РЕГИСТРАЦИИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ РАВНОВЕСНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ИК- ДАТЧИКА И ПК.....	80
Нурматов К.Дж. МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....	81
Борисов О.А., Шарипов Т.И. ПРИНЦИП РАБОТЫ ПОЛОСОВЫХ И РЕЖЕКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....	82
Зайнашев И.И., Шарипов Т.И. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.....	83
Татлыбаев С.А., Баишев А.Х., Шайхитдинов Р.З., Юминов И.П. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЕТРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНОГО МОСТИКА.....	84
Набиев И.И., Шарипов Т.И. ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИЕ И ИНТЕГРИРУЮЩИЕ ЦЕПИ: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА.....	85
Баишев А.Х., Татлыбаев С.А., Шайхитдинов Р.З., Юминов И.П. ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЖИДКОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ.....	86
Бикбулатов Р.Р., Шарипов Т.И. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОРРЕКТИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ПОЛОСЕ.....	87
Изюров Д.С., Шарипов Т.И. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ШЕСТЕРНИ.....	88
Ткачук Е.А., Шарипов Т.И. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА PX ULTRA-HYBRID 2.0 В РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ КОНФИГУРАЦИЯХ.....	89
Мичник В.С., Муллағалиев И.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В МЕДИЦИНЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА.....	90
Абзалилов Д.А., Вальшин А.М. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ НАКАЧКЕ.....	92

Биккулова Н.Н., Касьянов Д.А., Долгий Д.А., Климанова П.С. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ: АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ.....	93
Татлыбаев Д.Д., Шарипов Т.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОГО ПИРОЛИТИЧЕСКОГО ГРАФИТА МЕТОДАМИ АСМ И СТМ.....	94
Нургалиев И.Г., Шарипов Т.И. ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА АСМ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	95
Нургалиев И.Г., Шарипов Т.И. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....	96

СЕКЦИЯ «НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОМАТЕРИАЛЫ»

Салихов Р.Б., Губайдуллин М.И. ИЗУЧЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК, СОЗДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИАНИЛИНА...	98
Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕЗИСТИВНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ.....	99
Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Фахрисламова Д.У. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК И ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ.....	100
Салихов Р.Б., Миннеяхметов Д.И., Баджассилона Б.Г., Муллагалиев И.Н. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ (NH_3 , CO_2) В ПОМЕЩЕНИИ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO.....	102
Салихов Р.Б., Остальцова А.Д., Салихов Т.Р. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ.....	104
Салихов Р.Б., Козин К.Д., Остальцова А.Д. ХИТОЗАНЫ И КАРРАГИНАНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БИОПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ГИБКОЙ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.....	105

Салихов Т.Р., Лазарев Н.А. ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПЛЕНКИ, ФОТОАКТИВНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОРЕЗИСТОРОВ.....	107
Салихов Р.Б., Муллағалиев И.Н., Миннеахметов Д.И., Баджассилона Б.Г. МАКЕТ УМНОГО ДОМА: СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА КАК ОСНОВА АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ.....	108
Соковнин А.Д., Грешняков В.А. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПОЛИАЗУЛЕНОВЫХ НАНОЛЕНТ.....	110
Булышева Е.О., Зильберг Р.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ПРЕПАРАТОВ ТИМОЛОЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ЯЗЫКА.....	111
Салихов Р.Б., Миннеахметов Д.И. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЕНСОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ.....	112
Салихов Р.Б., Баджассилона Б.Г., Миннеахметов Д.И., Муллағалиев И.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ.....	114
Абдрахманов В.Х., Бурханова А.Д. АВТОНОМНЫЙ IoT-КОМПЛЕКС ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (AgroIoT).....	116
Салихов Р.Б., Иванов В.И. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК.....	119
Салихов Р.Б., Фролов В.В. РАЗРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....	120
Волкова А.А., Зильберг Р.А. РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ТИПА «ЭЛЕКТРОННЫЙ ЯЗЫК» ДЛЯ КОНТРОЛЯ АТЕНОЛОЛ СОДЕРЖАЩИХ ПРЕПАРАТОВ.....	121
Макарычева К.В., Зекиева А.Ф., Зильберг Р.А. ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИМОЛОЛА НА КОМПОЗИТНОМ СЕНСОРЕ СУЭ/ПЭК@MFI.....	122

Траоре М., Волкова А.А., Савельева А.С., Кузьминых А.А., Зильберг Р.А.	
РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭНАНТИОМЕРОВ АТЕНОЛОЛА.....	123
Traore M., Filippova A.M., Emasheva A.A., Vakhova M.R., Zilberg R.A.	
MULTISENSOR SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF NAPROXEN PHARMACEUTICALS BY MANUFACTURER.....	124
Терес Ю.Б., Зильберг Р.А.	
КОМПЛЕКСЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ДИЗАЙНЕ ЭНАНТИОСЕЛЕКТИВНЫХ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ.....	125
Mukhametdinov Ch.R., Zilberg R.A., Teres Y.B., Volkova A.A.	
VOLTAMMETRIC SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF MINERAL WATERS.....	126
Кириллук К.К., Мусабилов И.И.	
ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА В ВАКУУМЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА.....	127
Рожнова Е.А., Сафина Л.Р., Крылова К.А., Баимова Ю.А.	
УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ КОМПОЗИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ ГРАФЕН/CU.....	128
Салихов Р.Б., Кунысбаев И.А., Остальцова А.Д.	
ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ СУКЦИНАМИДА ХИТОЗАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.....	129
Баранов В.С., Закиров К., Муллағалиев И.Н.	
ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЕРОВСКИТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК.....	130
Набиуллин М.Р., Муллағалиев И.Н.	
ПРОБЛЕМЫ ТЕРМОВАКУУМНОГО НАПЫЛЕНИЯ НАНОПЛЕНОК.....	131
Пиль Л.М., Крылова К.А., Баимова Ю.А.	
АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ МЕДЬ/ГРАФЕН В ПЛАЗМЕ.....	132
Ишмакаева Г.И., Мухаметдинов Ч.Р., Зильберг Р.А.	
КОМПЛЕКС НИКЕЛЯ (II) КАК МОДИФИКАТОР СЕНСОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ НАПРОКСЕНА.....	133

СЕКЦИЯ «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Хабибуллина А.А., Кудрейко А.А. ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ АНИЗОТРОПНЫХ КАПЕЛЬ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	157
Давлетшина А.Д., Латыпова А.Р. ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ И ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В БИНАРНЫХ ХАЛЬКОГЕНИДАХ МЕДИ Cu_2X ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$).....	158
Кулакова Е.А., Грешняков В.А. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ ФАЗ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА И ГРАФЕНА.....	159
Гладких И.А., Тимиряев Р.Р., Хисамов Р.Х., Мулюков Р.Р. ФОРМИРОВАНИЕ НАНООСТРИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТИТАНА.....	160
Фазуллин А.З., Вахрамеев Г.Р. ОБ ЭФФЕКТЕ СОНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ.....	161
Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., Юсупов А.Р. ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И СТРУКТУРА ОКСИДА ГРАФЕНА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХАММЕРСА.....	163
Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е. В., Юсупов А. Р. ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СПЕК-ТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ.....	164
Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ.....	165
Гайфуллина Э.Р., Кузьмина Е.В., Юсупов А.Р. УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ.....	166
Ененко А.А., Бучельников В.Д., Матюнина М.В. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ПРИМЕРЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	167
Ихсанова Я.Б., Кубенова М.М., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х. ИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТОВ $\text{K}_{0.03}\text{Cu}_{1.90}\text{S}$, $\text{K}_{0.07}\text{Cu}_{1.86}\text{S}$, $\text{K}_{0.09}\text{Cu}_{1.83}\text{S}$	168
Салихова Л.Р., Кубенова М.М., Ишембетов Р.Х., Балапанов М.Х. ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМО-Э.Д.С. НАНОКОМПОЗИТНЫХ СУЛЬФИДОВ $\text{K}_{0.03}\text{Cu}_{1.90}\text{S}$, $\text{K}_{0.07}\text{Cu}_{1.86}\text{S}$, $\text{K}_{0.09}\text{Cu}_{1.83}\text{S}$	169

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА НАНОСИСТЕМ»

Корнилов В.М., Валеев Ю.З. ПУТИ И МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ЗАРЯДА ПРИ РЕЗИСТИВНОМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИИ В ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЯХ...	135
Байбулова Г.Ш., Жилкайдаров К.С., Жилкайдарова О.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА СО-ПАЭК.....	136
Юшина Д.Н., Таюпов М.М., Сафронов А.С. НОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОСКОПИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ РЕЗОНАНСНОГО ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНОВ.....	137
Гайфуллина Э.Р., Юсупов А.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПДФ И ГРАФЕНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТИЙ- ПОЛИМЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	138
Ильясов В.Х., Карамов Д.Д., Лачинов А.Н., Пономарев А.Ф., Ваенский А.П., Шапошникова В.В., Чеботарева А.Б. ТОКИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ТОНКИХ ПЛЁНОК ПОЛИАРИЛЕНЭФИРКЕТОНОВ.....	139
Лекомцев Н.В., Пугач Н.Г. КРИТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЁНКИ В КОНТАКТЕ СО СПИРАЛЬНЫМ МАГНЕТИКОМ.....	140
Милютин Д.П., Пугач Н.Г. КВАЗИЧАСТИЧНЫЙ ТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ СПИН- ЗАВИСИМОГО РАССЕЯНИЯ.....	141
Пугач Н.Г., Туркин Я.В., Селезнев Д.В. ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС ПРИ ЭФФЕКТЕ БЛИЗОСТИ СО СВЕРХПРОВОДНИКОМ.....	142
Токарев А.И., Таюпов М.М., Рахмеев Р.Г. ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ НАЛИЧИЯ «МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СИГНАЛОВ» В СПЕКТРАХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ КУМАРИНА.....	143
Ахметшина А.С., Таюпов М.М., Маркова А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ РЯДА ХЛОРФЕНОЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА.....	144

Ихсанов Р.Ш., Усков А.В., Сметанин И.В., Проценко И.Е. ОБЪЕМНАЯ ФОТОЭМИССИЯ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ- ПОЛУПРОВОДНИК С КВАНТОВОЙ ЯМОЙ НА БАРЬЕРЕ ШОТТКИ.....	145
Гурский А.С., Арутюнов К.Ю., Шаповалов Д.Л., Позднякова Е.Ф., Иевлева В.А., Седов Е.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИЧАСТИЧНОЙ ДИНАМИКИ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ААРОНОВА-БОМА.....	146
Попова Е.А. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ НА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ В ХАЛДЕЙНОВСКИХ МАГНЕТИКАХ СЕМЕЙСТВА $(Y_{1-x}Nd_x)_2BaNiO_5$	148
Мукминова Р.Р., Юсупов А.Р. СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОЛИДИФЕНИЛЕНФТАЛИД/ ГРАФЕН ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	150
Мусатова А.М., Казанцева М.А., Васенко А.С. ХИМИЯ РАСТВОРОВ ПРЕКУРСОРОВ СВИНЦОВЫХ ГАЛОГЕНИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ И УПРАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ.....	151
Оськин А.Е., Попов А.В., Пугач Н.Г., Селезнёв Д.В. ВЫЧИСЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ СПИНОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ ТИПА FI-S-FI.....	152
Артамонов И.А., Демьянов С.Ю., Туркин Я.В., Пугач Н.Г. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ НА СПЕКТР СТОЯЧИХ СПИНОВЫХ ВОЛН В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК.....	153
Алексеев П.Л., Туркин Я.В., Пугач Н.Г. ВЛИЯНИЕ ВИХРЕВОЙ РЕШЕТКИ НА ДИСПЕРСИЮ СПИНОВЫХ ВОЛН В ГИБРИДНОЙ СТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК.....	154
Туркин Я.В., Пугач Н.Г. ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА СТОЯЧИХ СПИНОВЫХ ВОЛН ПОД ВЛИЯНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ В ГИБРИДНОЙ СТРУКТУРЕ СВЕРХПРОВОДНИК/ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ДИЭЛЕКТРИК.....	156

Ульянов М.Н., Агеев К.А., Захарьевич Д.А. ТЕРМОЛИЗ ПИРОХЛОРОВ ТВХН ₂ -3ХSB2O6·NH ₂ O (X = 0,33, 0,67).....	170
Ульянов М.Н., Волегов А. СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГИДРАТИРОВАННЫХ АНТИМОНАТОВ ТЕРБИЯ.....	172
Ермилов Н.В., Курбангулов А.Р., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р. ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ И ПРОФИЛЬ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК PbS С ЛИГАНДАМИ СІ И FА.....	173
Ермилов Н.В., Сафаргалиев Д.И., Биккулова Н.Н., Акманова Г.Р. МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК PbS С ЛИГАНДАМИ СІ И FА.....	174
Пересторонина А.В., Кудрейко А.А., Хазимуллин М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ АЗОКРАСИТЕЛЯ SD1	175
Пересторонина А.В., Цеplin Е.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ АЗОКРАСИТЕЛЯ SD1	176
Амирханов А.М., Хасанов Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СКАЧКОВ БАРКГАУЗЕНА В СТАЛЬНЫХ ПРОВОЛОКАХ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	177

СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

Билалова А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ ПЛАСТОВ- КОЛЛЕКТОРОВ МЕТОДАМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН.....	178
Мокрушин Д.А., Закиров М.Ф. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ.....	179
Кадияту М., Закиров М.Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ И ВОДЫ ПРИ КОНУСООБРАЗОВАНИИ.....	180
Алимова М.Р., Вахитова Г.Р. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	181

Сулейманова А.Р., Шарафутдинов Р.Ф. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЫ КОНДЕНСАЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГАЗОКОНДЕНСАТА.....	182
Груменцов П.С. АНАЛИЗ И ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ.....	184
Абызбаева А.З., Вахитова Г.Р. МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО- ТЕКСТУРНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ШЛИФАМ.....	185
Ашкар Г.Х., Бенгальский Д.М., Яруллин Р.К., Харасов Д.Р., Спиридонов Е.П. СИМУЛЯТОР РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	186
Старовойтов Д.А., Федоров К.М., Кадочникова Л.М. АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ СКВАЖИН В ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТАХ.....	188
Блинов З.Н., Котов Л.Н., Устюгов В.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ И МФК ИЗОРБАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	189

СЕКЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА»

Ахмадеев Р.Р., Ковалева Л.А. ИЗУЧЕНИЕ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КЕРНОВЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ.....	190
Батыршин К.Э., Батыршин Э.С., Солнышкина.О.А. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МЕДНОМ МИНИ-ТЕПЛОБМЕННИКЕ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ.....	191
Тулубаева Р.Р., Хасанова Я.Р., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕССЫ ФИЛЬТРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ.....	193
Усманов Б.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПО ДИНАМИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО НАГРЕВА.....	194

Бикташев Р.Р., Киреев В.Н. МЕТОД КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В Т-ОБРАЗНОМ КАНАЛЕ.....	195
Курбанова С.С., Давлетбаев А.Я., Ишмуратов Т.И. РАСЧЕТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ФЛЮИДОВ НА ОСНОВЕ ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПЕНГА-РОБИНСОНА.....	196
Васильев М.К., Усманов Б.А., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЁМКОСТИ КЕРНА ДОМАНИКОВОЙ СВИТЫ.....	197
Галиева К.А., Солнышкина О.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОФЛЮИДНЫХ КАНАЛОВ.....	198
Муллагалимов Р.Х., Усманов Б.А., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАТУХАНИЯ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА.....	199
Хасанова Я.Р., Тулубаева Р.Р., Валиуллина В.И., Галеев Р.Р., Мусин А.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВЯЗКОСТЬ НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ.....	200
Галеев Р.Р., Валиуллина В.И., Зиннатуллин Р.Р. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СЛОЖНЫЕ ВОДОНЕФТЯНЫЕ ЭМУЛЬСИИ.....	201
Мукимова Р.Ш., Лапицкий Д.Р., Мусин А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ТЕЧЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ НА ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ ЭЛУКТОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С ПОДГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ.....	202
Райманов А.А., Киреев В.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРП И СВОЙСТВ ПРОПАНТА НА ДЕБИТ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ.....	203
Илларионов А.А., Ковалева Л.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГАЗА И ГАЗОКОНДЕНСАТА ИЗ СКВАЖИНЫ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ.....	204

Сафин З.З., Киреев В.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРП НА ДЕБИТ УГЛЕВОДОРОДОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ.....	205
Метельский Н.О., Киреев В.Н. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАЗРУШЕНИИ ПЛОТИНЫ.....	206
Гизатуллина Э.И., Киреев В.Н. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ТЕЧЕНИИ КУЭТТА-ТЕЙЛОРА.....	207
Филиппов А.И., Зеленова М.А., Долгий Д.А. ПОЛЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ.....	208
Газимова К.М., Зиннатуллин Р.Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОФАЗНЫХ ДИСПЕРСНЫХ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ.....	209

СЕКЦИЯ «МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ, ФИЗИКИ»

Косарев Н.Ф., Фазлыева Э.А. УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ДЕЙСТВИЙ.....	211
Антонова Д.С. РАЗБОР ПОСТРОЕНИЯ ПРЫЖКА С ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ХОРЕОГРАФИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ.....	212
Бухарова Ю.С. ВЕРОЯТНОСТЬ И РИСКИ СТАРТАПОВ НА ЗАНЯТИИ ПО МАТЕМАТИКЕ.....	213
Абдуллин А.У. О МЕХАНИКЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ.....	216
Пахомов С.Д. О ЗНАЧИМОСТИ АКСИОМАТИКЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ.....	217
Глаголева В.О. ПРИМЕР ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «МАТРИЦЫ».....	219

**СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ГЕНЕТИКЕ»**

Агуреева К.А., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К. АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs1065852 ГЕНА <i>CYP2D6</i> В ФИННО-УГОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ РОССИИ.....	221
Александрова С.С., Аминова Э.Т., Каримова Д.И., Прокофьева Д.С. АНАЛИЗ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА RS1805010 ГЕНА <i>IL4RA</i> В ФОРМИРОВАНИИ РАКА ЯИЧНИКОВ.....	222
Казанцева А.В., Мифтахова Д.Р., Мустафин Р.Н., Хуснутдинова Э.К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К АГРЕССИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ГЕНУ <i>KCNK10</i>	223
Ерусланова А.С., Федорова Ю.Ю. ВКЛАД ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ <i>MMR9</i> И <i>MMR12</i> В РАЗВИТИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА.....	224
Галеева А.Р., Федорова Ю.Ю., Нургалиева А.Х., Прокофьева Д.С. ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ <i>NOS3</i> , <i>VEGFA</i> В РАЗВИТИИ ХРОНИЧЕСКОГО ГАСТРИТА.....	225
Куряев Б.Р., Киль Е.Е., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Хуснутдинова Э.К. АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИМОРФНОГО ВАРИАНТА rs2740574 ГЕНА <i>CYP3A4</i> В ПОПУЛЯЦИИ УДМУРТОВ.....	226
Каримова Д.И., Александрова С.С., Аминова Э.Т., Прокофьева Д.С. АНАЛИЗ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНОГО ЛОКУСА rs17879749 (с.573delA) ГЕНА <i>MMR1</i> С РИСКОМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАКА ЯИЧНИКОВ.....	227
Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Габидуллина Л.Р., Хуснутдинова Э.К. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОГОРНОЙ АДАПТАЦИИ В ПОПУЛЯЦИИ БАЛКАРЦЕВ.....	228

Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Суфьянова З.Р., Габидуллина Л.Р., Хидиятова И.М., Ахметшин А.А., Хуснутдинова Э.К.	
ИЗУЧЕНИЕ ВОСТОЧНО-ЕВРАЗИЙСКИХ ГАПЛОГРУПП МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК НА ОСНОВЕ ПОЛНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ МИТОГЕНОМОВ.....	229
Суфьянова З.Р., Екомасова Н.В., Джаубермезов М.А., Габидуллина Л.Р., Ахметшин А.А., Прокофьева Д.С., Хуснутдинова Э.К.	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПОВ И АЛЛЕЛЕЙ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ВАРИАНТА RS273259 ГЕНА <i>IFI44L</i> В ПОПУЛЯЦИЯХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ.....	230
Габидуллина Л.Р., Джаубермезов М.А., Екомасова Н.В., Атабиев Б.Х., Хуснутдинова Э.К.	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ ЧУМЫ В ДРЕВНИХ ГЕНОМАХ С ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА.....	231
Селезнёв Д.В., Пугач Н.Г., Туркин Я.В.	
РАСЧЕТ НАВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВЕРХПРОВОДНИКЕ ПРИ КОНТАКТЕ С ФЕРРОМАГНИТНЫМ ИЗОЛЯТОРОМ.....	232

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА
И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ:
спутник Международной научной конференции
«Уфимская осенняя математическая школа-2025»**

*Тезисы докладов
XVI Международной школы-конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(г. Уфа, 6–9 октября 2025 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции*

Подписано к использованию 02.12.2025 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 6,30 Мб.
Заказ 277.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru