

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ  
ПО ВОПРОСАМ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КУЛЬТУРЫ  
(ЮНЕСКО)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

СТУДЕНЧЕСКИЙ СОЮЗ МГУ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
СТУДЕНЧЕСКИЙ ЦЕНТР “ОРГКОМИТЕТ ДФ”



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ НАУКАМ

# “ЛОМОНОСОВ-2008”

СЕКЦИЯ  
**“ФИЗИКА”**

Сборник тезисов

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
2008

Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых  
по фундаментальным наукам «Ломоносов-2008»  
Секция «Физика»  
Сборник тезисов

9 апреля 2008 г. Физический факультет  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Оргкомитет секции:**

Сысоев Н.Н. — заместитель декана физического факультета МГУ  
(председатель);  
Федосеев А.И. — заместитель декана (зам. председателя)  
Аксенов В.Н. — заместитель декана;  
Бутузов В.Ф. — заместитель декана;  
Денисов Е.С. — председатель профкомы студентов;  
Якута А.А. — зав. учебной частью;  
Гапочка М.Г. — начальник 3 курса;  
Парfenов К.В. — начальник 4 курса;  
Нифанов А.С. — начальник 5 курса;  
Колесова Н.С. — ученый секретарь оргкомитета.

Проведение юбилейной XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2008» в апреле 2008 года оказалось ярким событием в жизни Московского университета.

Эта традиционная конференция всегда привлекает большое число молодых ученых, делающих еще только первые шаги в науке. Организаторами секции «Физика» этой конференции являются сотрудники физического факультета МГУ. На секции были представлены доклады практически по всем разделам современной фундаментальной физической науки. В этом году общее число участников секции «Физика» составило 282 человека, в том числе 101 участник из других регионов России и ближнего зарубежья. В рамках секции «Физика» была организована работа 16 тематических подсекций, которые возглавляли ведущие ученые-профессора физического факультета. 17 участников, доклады которых признаны жюри лучшими на подсекциях, награждены грамотами конференции.

Выступление на этой конференции с докладом для многих участников было первой попыткой представления своих научных результатов для публичного обсуждения. В этом и состоит основная цель нашей конференции – предоставить возможность начинающему ученому обсудить интересующие его проблемы как со своими сверстниками – участниками конференции, так и с маститыми учеными – председателями секции и членами жюри. Начиная с 1996 года на физическом факультете ежегодно издается сборник тезисов докладов секции «Физика». Публикация в этом сборнике для многих участников конференции-студентов является первой в жизни научной публикацией. На физическом факультете – традиция: каждый участник конференции получает сборник в подарок.

В настоящем сборнике представлены систематизированные по подсекциям тезисы докладов, представленных на секции «ФИЗИКА».

Председатель оргкомитета секции «Физика»  
конференции «Ломоносов -2008», профессор

Н.Н. Сысоев

## АСТРОФИЗИКА

Председатель подсекции  
проф. Постнов Константин Александрович

### ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ ИНЖЕКЦИИ ЧАСТИЦ ВО ВСПЫШЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ НА ИОНИЗАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СКЛ

\*\* Авдонин В.В., Орищенко А.В.

Филиал Ульяновского ГУ в г. Димитровграде, Россия

В составе солнечных космических лучей (СКЛ) содержание ряда элементов резко отличается от их содержания в солнечной атмосфере – наблюдается обогащения состава тяжелыми элементами и изотопом  $^3\text{He}$ . Для объяснения экспериментального состава была предложена модель резонансного взаимодействия заряженных частиц с ионно-звуковой турбулентностью плазмы солнечного вещества. Эта модель основана на преимущественном вовлечении определенных элементов в ускорительный процесс за счет их особого соотношения величин заряда и масс. Считается, что на стадии преднагрева вспышечной плазмы происходит ускорение быстрых частиц за счет бесстолкновительного поглощения энергии ионно-звуковой турбулентности. Все ионы с энергиями, большими некоторой пороговой, вовлекаются в основной механизм ускорения и покидают атмосферу Солнца – образуются СКЛ.

Ионизационное состояние частиц СКЛ является также одним из важнейших параметров для диагностики вспышечной плазмы солнечной короны, так как оно отражает, с одной стороны, – температуру ионной компоненты солнечной плазмы, но, с другой стороны, – условия формирования их потоков и распространения в толще вещества короны Солнца.

В данной работе анализируется возможность изменения ионизационных состояниях ионов из состава элементов солнечной плазмы на стадии преднагрева вспышечной плазмы, за счёт предполагаемого действия механизма – селективного нагрева ионов при их взаимодействии с ионно-звуковой турбулентностью во время их инжекции в основной механизм ускорения.

Построена зависимость доли вовлечённых в механизм основного ускорения ионов C, N, O, Ne, Mg, S, Ca и Fe от их зарядового числа. Рассчитаны средние зарядовые состояния этих элементов в СКЛ после завершения инжекции этих ионов. При расчетах выбирались значения параметров модели, соответствующие наблюдаемым условиям в области вспышки.

Показано, что на стадии преднагрева вспышечной плазмы Солнца происходит изменение ионизационного состояния элементов, в результате чего средний заряд данного элемента в СКЛ оказывается выше, чем в тепловой зоне инжекции. Показано, что изменённые при инжекции ионизационные состояния согласуются с данными наблюдений и что стартовые ионизационные состояния всех рассмотренных ионов соответствуют представлениям о едином для всех ионов значении температуры в области инжекции частиц.

*E-mail: dgrad@ulsu.ru*

\*\* Доклад отмечен жюри, как один из лучших на подсекции.

## ГАММА-ВСПЛЕСКИ С ИЗВЕСТНЫМИ КРАСНЫМИ СМЕЩЕНИЯМИ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

<sup>\*\*</sup>Бадын<sup>1</sup> Д.А., Бескин<sup>2</sup> Г.М.

<sup>1</sup> ГАИШ, Москва, Россия,

<sup>2</sup>Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Представлены результаты работы по сбору и обобщению наблюдательных данных о параметрах оптического и гамма-излучения гамма-всплесков. Изучаются распределения этих параметров и корреляции между ними. Обсуждаются возможные интерпретации обнаруженных особенностей распределений и корреляций, предложены направления развития дальнейшей работы.

Поставлена задача поиска возможных закономерностей поведения гамма-всплесков на основе как можно более полной выборки при минимуме модельных предположений и с учётом влияния космологических факторов.

Составлена выборка из 58 объектов с известными красными смещениями и обнаруженными оптическими послесвечениями. Исследуются параметры оптического и гамма-излучения: максимальные потоки, интегральные потоки, длительности, времена максимумов, показатели степени спада потока со временем, изотропические эквиваленты максимальных светимостей, полных энергий. Изучаются распределения этих параметров, парные корреляции между ними, влияние учёта космологических факторов (фотометрическое расстояние, сокращение времени) на эти распределения и корреляции.

Примерно у половины объектов обнаружено относительно медленное уменьшение оптического потока на начальных этапах послесвечений (показатель степени в законе затухания  $\alpha < 1$ ). Обнаружены корреляции светимостей, энергий и длительностей оптического и гамма-излучения, которые можно объяснить наличием универсальных особенностей кривых блеска: степенным спадом потока в оптике и FRED-пульсами в гамма-диапазоне.

Впервые обнаружены корреляция максимальной светимости послесвечений с красным смещением и антикорреляция с ним их продолжительностей. На фоне независимости полной энергии послесвечения от  $z$  этот эффект может объясняться космологической эволюцией окружения гамма-всплесков, определяющего темп оптического энерговыделения.

Сделаны следующие выводы. Несмотря на значительный рост информации о гамма-всплесках, говорить о полном понимании этого феномена ещё рано. Взгляды меняются, возникают новые представления. Настоящая работа является одной из попыток сбора, унификации и статистического анализа максимально полного набора наблюдательных данных о гамма-всплесках с оптическими послесвечениями и измеренными красными смещениями.

Анализ парных корреляций различных параметров позволил обнаружить признаки космологической эволюции скорости высыпчивания энергии в оптическом диапазоне, по-видимому связанные с изменением свойств среды, окружающей гамма-всплеск. Корреляции между максимальной светимостью и полной энергией в гамма- и оптическом диапазонах отражают универсальный для всей совокупности всплесков характер процессов генерации излучения.

Обнаруженные особенности структуры кривы блеска оптических послесвечений, проявившиеся в корреляции "светимость – запаздывание" будут более детально исследованы в ближайшем будущем. Однако уже сейчас ясно, что неожиданно медленный спад блеска на ранних стадиях (малые  $\alpha$ ) трудно объяснить в рамках современных моделей послесвечений.

---

<sup>\*\*</sup> Доклад отмечен жюри, как один из лучших на подсекции.

## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЯЖЕЛОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ РАКЕТЫ (ТОР)

Веселинов Н.С.

*Софийский университет |||"Св. Климент Охридски|||", София, Болгария*

В начале 70-ых годов XX го века все программы, нацеленные на пилотируемые облеты Луны и посадки на ее поверхность, были свернуты. Но в РФ можно (а и кажется уже нужно) сразу же принять программу дальнейшего развития лунной и планетной космонавтики.

Первая цель программы – создание на орбите на базе РН ПРОТОН и блока БРИЗ М (надежность 93 %) тяжелой орбитальной ракеты с большим запасом скорости для пилотируемого облета Луны на низкой лунной орбите высотой в 120 км (НЛО) с возвращением на Землю.

Параллельная цель программы – использование тяжелой орбитальной ракеты для запуска очень массивных спутников (геостационарных и других) и реализации полетов тяжелых космических зондов к Марсу, Венере, к Меркурию и внешним планетам Солнечной системы.

Программу создания ТОР можно осуществить, используя самой грузоподъемной в России РН ПРОТОН, которая летит в разных модификациях уже 40 лет. Произведено более 310 запусков (данные конца 2004 года) т.е. в среднем 8 раз в году.

В результате небольших доработок – создания стыковочных узлов (опыт СОЮЗ/ПРОГРЕС и соответственно МИР / МКС) создаются две ступени ТОР, которые нужно после двух стартов РН ПРОТОН состыковать на низкой земной орбите:

<b>Первая (разгонная)</b>	<b>БРИЗ М ТА</b>	масса 20860кг;
<b>Вторая (целевая)</b>	<b>БРИЗ М ТБ</b> ( с полезным грузом)	масса 19760 кг.

Все аспекты подготовки и реализации двух стартов не отличаются от стартов, реализованных до сих пор. Старты готовятся одновременно примерно на площадке 81/ пусковая установка 23 и на площадке 200/ пусковая установка 39. Интервал времени, через который производятся старты, подлежит обсуждению (но вероятнее всего, после 16-17 витков первого).

Два РН ‘ПРОТОН М’ выводят на низкую земную орбиту эти два компонента ТОР как следует: первый выводит на орбиту целевую ступень без доразгона (масса 19 760 кг), (САС в случае пилотируемого полета), второй выводит на орбиту с доразгоном разгонную ступень (масса 20 860 кг). Стыковка производится отработанным образом. Активным будет **БРИЗ М ТА**.

Во внештатной ситуации первого пуска, второй отменяется. Спасение СА (САС) происходит штатно. При успешной реализации первого пуска и внештатного второго (разгонщика) или при удаче обоих запусков, но неуспешной стыковке есть разные варианты: ждать старт второго разгонщика, выполнение какой-то запасной миссии исследований Земли с высокоапогейных орбит или прекратить полет (по усмотрению);

Тяжелая орбитальная ракета на низкой земной орбите (НЗО) будет иметь массу в 40 620 кг. Нужно отметить, что такую массу на НЗО никто в мире не может вывести:

- в США можно создать ТОР примерно в 60 000 кг, но сама схема подготовки SPASE SHUTLE, время подготовки и стоимость запуска делает эту возможность эфемерной. Других РН США пока просто можно не принимать в расчет:

- остальных конкурентов пока тоже можно не принимать в расчет.

ТОР дает возможность совершать пилотируемые облеты Луны, создавать постоянные станции на НЛО, запускать более крупные космические зонды к всем объектам Солнечной системы и увеличивать массы геостационарных спутников Земли. Численное моделирование приводит к следующим результатам:

Облет Луны с полезной возвращаемой массой СА 3 720 кг; посадка на Землю с аэродинамическим торможением. Без возвращения на Землю на НЛО можно доставить полезный груз в 6 300/6600 кг

Непилотируемые зонды с полезными грузами как следует: к Венере – 10 500 кг, к Марсу – 9 950 кг, к Меркурию – 3 940 кг, к Юпитеру – 2 870 кг.

Геостационарный спутник массой в 4 540 кг

ТОР позволяет реализовать посадку на Луну двумя стартами с земной орбиты.

Лунный корабль (ЛК) выводится на НЛО и консервируется на срок подготовки к полету другого ТОР. Лунный орбитальный корабль (ЛОК) тоже выводится на НЛО, где послестыковки полет продолжает уже по знакомому способу. Реализация такой посадки сложна, неуклюжа, полна неожиданностей, но на сегодня кажется единственной возможной.

Результат: ЛОК с массой 7 700/8000 кг и ЛК с массой 6 300/6 600 кг Объемы обитаемого пространство каждого примерно как у КК Союз. Масса СА (посадка на Землю с аэродинамическим торможением) 3 720 кг;

Соответствующие русские ведомства могут предлагать эти средства всем заинтересованным русским и зарубежным организациям.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОРА: АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКИХ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Евдокимов А.С.

*Томский государственный университет, Томск, Россия*

### Введение

В настоящее время актуально направление развития систем спутниковой связи. Моделирование крупногабаритных трансформируемых рефлекторов является актуальным направлением разработки и создания конструкций систем спутниковой связи и зондирования поверхности Земли, так как экспериментальная отработка подобных конструкций требует больших материальных и временных затрат. Разработка таких конструкций (рисунок 1), позволяющих улучшить качество приема, является одной из главных целей в области космических программ по созданию систем спутниковой связи. Основные требования к конструкциям рефлекторов заключаются в высокой точности формы отражающей поверхности и наведения, высокой температурной стабильности и радиоотражающей способности антенных систем.

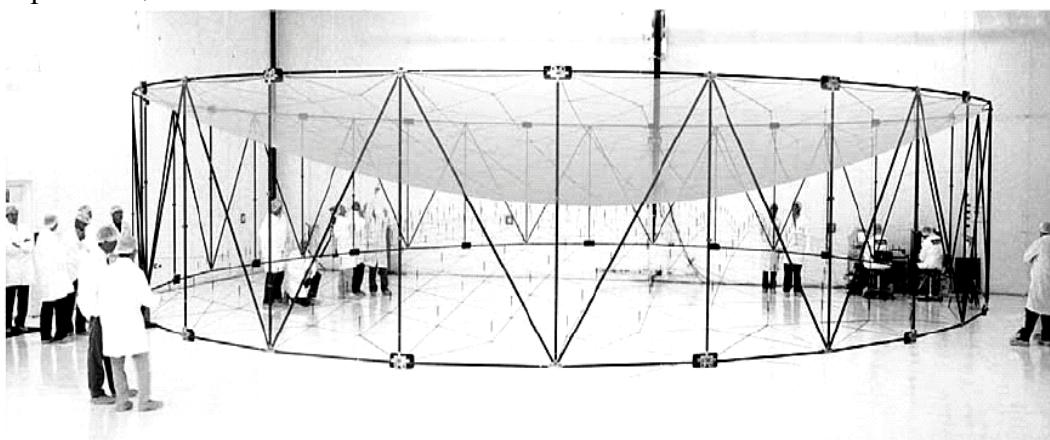


Рисунок 1. Рефлекторная антенна для спутника Thuraya

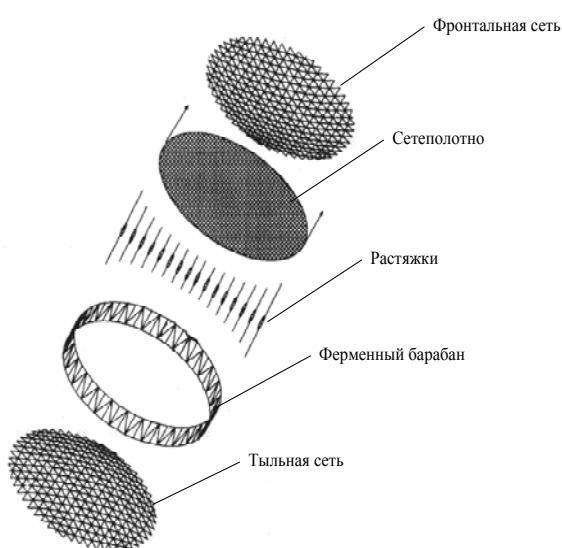


Рисунок 2. Основные элементы конструкции рефлектора

Основными компонентами рефлектора являются две ферменные конструкции (фронтальная и тыльная опорные сети) и развертываемая ободная ферма (рисунок 2), изготовленная из графитовых композиционных труб с металлическими фитингами.

Задача о напряженно-деформированном состоянии подобных вантово-оболочечных конструкций является нелинейной математической задачей. Методика решения разработана на основе конечно-элементного подхода и позволяет прогнозировать напряженно-деформированное состояние рефлектора на различных этапах эксплуатации КА.

### Методы

Решение проводилось шаговым способом методом конечных элементов, реализованным в программном комплексе ANSYS. Следующим этапом был переход к стадии решения задачи, включающей в себя

задание вида анализа и его опций, нагрузок, количества итерационных шагов решения. Затем полученная равновесная форма отражающей поверхности рефлектора использована для расчетов диаграмм направленности космического рефлектора. Расчет проводился с помощью программы электромагнитного моделирования FEKO.

### Результаты

Результаты моделирования показывают, что наиболее неблагоприятными на качество приема информации оказывают температурные или иные искривления штанги, крепящей рефлектор к КА, в меридиональной плоскости родительского параболоида. Это приводит к смещению фазового центра относительно вершины родительского параболоида (параболоида наилучшего приближения), что является нежелательным, т.к. сильно влияет на диаграмму направленности всей антенны. На основе подходов механики деформируемого твердого тела и радиофизики реализована комплексная методика компьютерного моделирования перспективных трансформируемых космических рефлекторов, позволяющая более точно учитывать форму и напряженность отражающей сетчатой поверхности, сократить объем экспериментальных работ при создании оптимальных конструкций ободных рефлекторов по заданным ДН и прогнозировать эффективность функционирования рефлекторов с космическим аппаратом в условиях космического пространства.

*E-mail: eas1985@mail.ru*

### Литература

1. Ruze J. (1966)// Antenna Tolerance Theory – A Review. Proceedings of the IEEE, Vol. 54 pp. 633-640.
2. Thomson M.W. // Astromesh deployable reflectors for Ku- and Ka-band commercial satellites. AIAA-2002-2032.
3. Граник М. В., Ломан В. И. (1987) Развортиаемые зеркальные антенны зонтичного типа. – М.: Радио и связь.
4. Усманов Д.Б. (2006) Моделирование напряженно-деформированного состояния крупногабаритного трансформируемого рефлектора. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Томск.
5. FEKO User's Manual Suite 4.2., (2004).

## К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ПЕНОПОДОБНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Золотарев П.С.

*Филиал УлГУ в г. Димитровграде*

В современной астрофизике вопрос о природе темной материи (ТМ) является исключительно актуальным. Общепринято, что ТМ образована гипотетическими небарийонными тяжелыми частицами, которые взаимодействуют с веществом только через гравитацию [1,2]. Существует также подход, основанный на модификации закона тяготения (т.е., различные модификации ОТО). На наш взгляд гипотеза нетривиальной топологии пространства (реликтов пространственно-временой пены ранней Вселенной) представляется наиболее адекватной [3].

В связи с этим была поставлена задача о прохождении частиц через модельную пеноподобную среду – газ кротовых нор в пространстве Минковского. В этом контексте решается кинетическое уравнение Больцмана [4]

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial r} + \mathbf{p} \cdot \frac{\partial f}{\partial p} = C[f] + \alpha(r, p, t) - |\mathbf{v}| \int \beta(\Gamma, \Gamma') f(\Gamma') d\Gamma', \quad (1)$$

где  $f(r, p, t)$  – число частиц в элементарном фазовом объеме  $d\Gamma$ ,  $C[f]$  – интеграл столкновений,  $\alpha(r, p, t)$  – описывает источник частиц,  $\beta(\Gamma, \Gamma')$  – рассеяние на кротовых норах.

В случае, когда источник  $\alpha(r, p, t)$  формирует достаточно узкий луч, решение (1) имеет вид

$$f = e^{-\tau} \tilde{f}, \quad (2)$$

где  $\tilde{f}$  есть решение в пренебрежении рассеянием ( $\beta = 0$ )  $d\tilde{f}/dt = \alpha(t)$ , а величина  $\tau$

$$\tau(t) = \int_0^l \beta_1(r(s)) ds \quad (3)$$

-оптическая толщина, описывающая поглощение вдоль луча с координатой  $l$ .  $\beta = -\beta_1 + \beta_2$  – слагаемые описывают поглощение и переизлучение частиц кротовыми норами. Поглощение  $\beta_1(r)$  выражается через плотность кротовых нор.

Плотность темной материи связана с плотностью видимого вещества через топологическое смещение следующим образом [5]

$$\rho_{DM}(r) = \int b(r - r') \rho_{LM}(r') d^3 r'. \quad (4)$$

Ядро оператора смещения можно выразить в виде

$$b(r) = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{d}{dr} \frac{1}{1 - (4/3)a\beta_1(r)}, \quad (5)$$

где  $a$  – характеристический размер горловины кротовых нор.

Таким образом, базовым наблюдательным эффектом при этом является снижение концентрации частиц вдоль луча, коррелированное с плотностью распределения кротовых нор (и тем самым количеством темной материи в соответствующем месте) и длиной пройденного пути.

*E-mail zoloto@vinf.ru*

### Литература

1. G.Borner, *The Early Universe: Facts and Fiction*, Springer-Verlag, New York (1992).
2. J.A. Peacock, *Cosmological Physics*, Cambridge University Press, Cambridge (1998).
3. Kirillov, A.A., Turaev D., *Foam-like structure of the Universe*, Phys. Lett. B, 656, 1 (2007).

4. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика: В 10 т. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – Т.10. Физическая кинетика, – 2002. – 536с.
5. Kirillov, A.A., Savelova E.P., Dark matter from a gas of wormholes, Phys. Lett. B, 660, 93 (2008).

## ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ПО ПОТОКАМ СКЛ

Летуновский С.В.

*Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия*

Одна из главных проблем, которую приходится решать при обработке экспериментальных данных по потокам солнечных космических лучей (СКЛ) – это анализ больших объемов информации. Обработка и интерпретация данных с множества различных приборов представляет достаточно сложную и трудоёмкую проблему. Использование факторного анализа может сократить объем анализируемых данных, выделяя среди них наиболее значимые.

Задачей факторного анализа является объединение большого количества параметров, признаков, которыми характеризуется процессы генерации СКЛ, в меньшее количество искусственно построенных на их основе факторов, так что полученная в итоге система факторов становится более удобной с точки зрения содержательной интерпретации данных.

В нашей работе обсуждается результат многофакторного анализа при обработке данных по потокам низкоэнергичных легких ионов СКЛ.

Анализировались данные о потоках СКЛ полученных со спутника ACE (ULEIS). В качестве переменных были выбраны данные по каналам спектрометра в диапазоне энергий 0,16 МэВ – 10 МэВ. Расчет проводился для ионов  $H^+$ ,  $^3He^{++}$ ,  $^4He^{++}$ .

Промежуток времени включал в себя как вспышечные события, так и спокойные периоды. Внутри выбранного временного отрезка было выбрано «окно», шириной ~48 часов, внутри которого и проводился расчет факторных нагрузок. Вращения матрицы не проводилось. Перемещая выбранное окно по временному отрезку, был определен вид зависимости факторных нагрузок от времени.

Обнаружено 4 значимых фактора, связанных с уровнем загрузки того или иного канала изотопного спектрометра. Из них  $F_1$  сильно связан с низкими энергиями частиц, а  $F_2$  с высокими. Данная зависимость прослеживается для всех трех видов ионов. Исследуя временные зависимости, замечено, что в одних вспышках факторы  $F_1$  и  $F_2$  действуют синхронно, а в других со сдвигом по фазе в 5-6 часов. Помимо этого обнаружен еще ряд закономерностей.

В дальнейшем необходима интерпретация механизмов действия обнаруженных факторов и расширения области анализа поступающих со спутников данных как по различным ионам, так и по их различным ионизационным состояниям.

Автор выражает признательность доценту, к.ф-м.н. Орищенко А.В. за помощь в подготовке тезисов.

*E-mail: grayser@rambler.ru*

## ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ПЕРЕМЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ

\*Фундаев С.В.

*Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия*

Фазированная антенная решетка это набор приемников какой-либо волны, расположенных на некоторых известных расстояниях друга от друга и позволяющих определять фазу регистрируемой волны в каждый момент времени. Под волной следует понимать любой волновой процесс: электромагнитное излучение, акустические волны и т.п.

Фазированная антенная решетка позволяет не только восстанавливать спектр излучения, но и определять направление распространения каждой отдельной моды. Это оказывается возможным благодаря двум обстоятельствам:

1. Конфигурация решетки заранее известна, т.е. известны расстояния между ее узлами (базы).

2. Поскольку каждый узел решетки позволяет определить фазу волны, становится возможным определение сдвига фаз между отдельными узлами.

Сопоставление сдвига фаз между узлами антенной решетки с их базисами и приводит к восстановлению волнового вектора  $\vec{k}(\omega)$  для моды с частотой  $\omega$ . Чтобы определить направление излучения какой-либо частоты в трехмерном пространстве требуется использовать фазированную антеннную решетку, состоящую не менее чем из четырех узлов.

Область практического применения фазированных антенных решеток довольно широка. В частности, астрономы используют их для точной локализации источников какого-либо излучения. Ими проводились измерения, например, с использованием в качестве узлов решетки радиотелескопов, расположенных в Крыму, Иркутске и Москве. Базисные расстояния в этом эксперименте оказались не менее 3000 км. Эта же технология используется и в радиолокации. В этом случае радар представляет собой набор независимых приемников, регистрирующих отраженный электромагнитный импульс в узком диапазоне частот с высоким времененным разрешением. Его использование позволяет существенно повысить точность определения положения цели.

Разрешение решетки по волновому вектору существенным образом зависит от величины максимальной базы решетки - чем она больше, тем выше точность. В ряде случаев, как, например, при астрономических измерениях, для достижения достаточной точности приходится располагать узлы решетки в разных точках планеты. При этом размеры полученной решетки ограничиваются следующим условием: вся она должна быть «видна» источнику излучения в течение некоторого промежутка времени, достаточного для получения требуемого объема статистики. Поэтому перспективным выглядит расположение узлов решетки на искусственных спутниках Земли. Такая антenna решетка будет обладать следующими преимуществами перед решеткой, расположенной на земле:

1. Существенно возрастают базисные расстояния;
2. Возрастает время наблюдения источника излучения, а при использовании специальных орбит оно может оказаться не ограниченным.
3. Возможность использования уже имеющихся данных, накопленных за время полета различных ИСЗ.

Однако использование ИСЗ в качестве узлов антенной решетки приведет тому, что ее конфигурация окажется переменной: базисные расстояния теперь не являются постоянными, а представляют собой функции времени. Последнее обстоятельство не позволяет в явном виде использовать математические соотношения, применяемые для фазированных антенных решеток, конфигурация которых неизменна. Требуется разработать новый «инструмент» для обработки данных, получаемых с антенных решеток переменной конфигурации. Эта задача и является главной в настоящей работе.

*E-mail: fundaev@gmail.ru*

---

\* Доклад отмечен дипломом конференции, как лучший на подсекции.

## МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ФЛУКТУАЦИЙ СИГНАЛОВ СПУТНИКА «УНИВЕРСИТЕТСКИЙ»

Эспиноса М.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

В течение периода работы спутника «Университетский» было осуществлено около 7500 сеансов. В каждом из этих сеансов были получены отчеты сигнала с целью их последующего анализа. В рамках данной работы была решена задача по нахождению оптимального метода по обнаружению флуктуаций.

В первую очередь были проанализированы сигналы посредством их статистических параметров второго порядка (автокорреляция, среднее значение, дисперсия и т.д.). Также была проведена фильтрация на разных частотах и определена спектральная мощность.

В связи с тем, что данный анализ оказался недостаточным для обнаружения флуктуаций, мы были вынуждены использовать другие методы. Первый метод основывается на установлении функции передачи системы, которая представляет собой передачу сигнала. Второй метод состоит в получении кумулянта третьего порядка и биспектра [1],[2]. Данный метод применяется для установления аритмии сердца или ряда умственных процессов у больных, для обнаружения отказов в оборудовании, для обработки голосовых сигналов и т.д. Были созданы две программы в MatLab для анализа сигналов. Интерфейс одной из этих программ представлена на рис. 1.

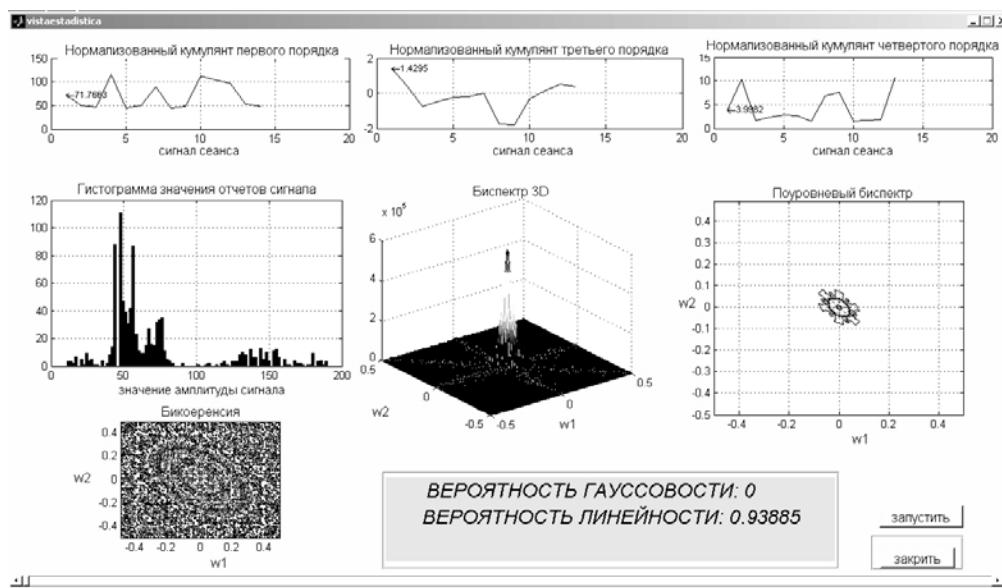


Рис. 1 Интерфейсы для анализа флуктуаций сигналов спутника «Университетский»

Результаты, полученные на данный момент, позволили нам получить индикаторы того, в каких сигналах присутствуют флуктуации. Однако для проведения более детального анализа флуктуаций необходимо использовать статистику высшего порядка или же, по нашему предложению, провести анализ посредством вейвлет-преобразования.

E-mail: [adessatex@yahoo.com.mx](mailto:adessatex@yahoo.com.mx)

### Литература

- [1] : M. J.Hinich, “Detecting a transient signal by bispectral analysis”, IEEE trans on ASSP, vol 38, no 7, pp1277-1283, July 1990.
- [2] : M.J.Hinich and M.A. Wolinsky, “A test for aliasing using bispectral analysis”, J. Amer., Stat. ASSOSV., ol 83, No 402, December 2001.

## АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

**Председатель подсекции  
доцент Ширков Евгений Вадимович**

### ИЗУЧЕНИЕ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ $\alpha$ -ЧАСТИЦ НА $^{28}\text{Si}$ С $E_\alpha=30.3$ МЭВ

Конюхова И.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва, Россия*

Несмотря на достижения 50-80-х годов в области экспериментальной и теоретической ядерной физики умеренных энергий, до сих пор многие принципиальные вопросы остаются нерешенными. Исследование рассеяния составных частиц легкими ядрами в этой области представляет особый интерес. Уже первые исследования показали, что механизм потенциального рассеяния здесь – не единственный, и во многих случаях не играет определяющую роль. Вскоре стало ясно, что необходимо также учитывать механизмы, связанные с перестройкой ядра. Анализ механизма реакции с участием составных частиц оказывается достаточно сложной экспериментальной и теоретической задачей. Для ее решения существует мощный теоретический аппарат, реализованный в виде математических программ расчета характеристик ядерных реакций.

На 120 см циклотроне НИИЯФ МГУ измерены угловые зависимости дифференциальных сечений упругого ( $0^+$ ) и неупругого (на нижние  $2^+, 4^+, 0^+$  и  $3^-$  состояния) рассеяния  $\alpha$ -частиц на  $^{28}\text{Si}$  с  $E_\alpha=30.3$  МэВ в интервале углов  $\theta_d$  от  $18^\circ$  до  $160^\circ$  (л.с.к.). Эти экспериментальные результаты сравнивались с теоретическими расчетами в предположении стандартной ротационной модели и модели коллективного возбуждения, в которой параметры связи между уровнями можно рассматривать как подгоночные. Расчеты проводились методом связанных каналов с конечным радиусом взаимодействия (программа FRESCO [1]). В предположении ротационной модели, кроме основного состояния, возбуждаются только два нижних уровня  $2^+, 4^+$ , в то время, как в модели коллективного возбуждения с варьируемыми параметрами можно рассчитать возбуждение всех экспериментально измеренных уровней, в частности,  $0^+$  и  $3^-$ .

Теоретические расчеты показывают, что эти зависимости можно удовлетворительно описать в модели коллективного возбуждения с варьируемыми параметрами связи между уровнями, в то время как стандартная ротационная модель не описывает даже возбуждение уровней вращательной полосы  $2^+, 4^+$ .

*Itr999@rambler.ru*

[1] <http://fresco.org.uk/>

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕ ТОКАМАКА МЕТОДОМ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ ПУЧКОМ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Красильников И.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

Диагностика плазмы является на данный момент одной из основных задач в области термоядерной физики. Знать распределение поля и потенциала необходимо для предсказания поведения плазмы и различных неустойчивостей.

Сущность метода диагностики плазмы пучком тяжелых ионов состоит в следующем. Ионный источник, расположенный вне плазмы, инжектирует пучок однократно ионизованных ионов (обычно берутся  $\text{Cs}^+$  или  $\text{Ti}^+$ ) в плоскости, перпендикулярной оси плазменного шнуря. Некоторые из ионов могут испытать вторичную ионизацию. Соответственно изменится радиус ларморовской окружности, по которой они движутся, и они попадут в детектор. Энергия двукратно ионизованных ионов изменится на величину разности потенциалов между точкой ионизации и границей плазмы. Зная разность энергий ионов с зарядами +1 и +2 можно определить изменение потенциала внутри плазмы вдоль некоторой траектории.

При проведении кампаний на токамаке детектором регистрируется полный ток вторичных ионов, решением обратной задачи вычисляется потенциал плазмы. Таким образом происходит набор данных для последующей статистической обработки.

Одними из основных интересующих результатов обработки данных являются характерные частоты, на которых происходит колебание плотности и потенциала в плазме, когерентность этих колебаний и сдвиг фаз между ними. Обработка данных ведется с помощью программы-оболочки, написанной сотрудником Института ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский институт», использующей встроенные функции математического пакета Matlab.

Для изучения частотного спектра колебаний плотности и потенциала плазмы используется аппарат Фурье-преобразования. Строятся трехмерные графики («ковры») с осями: время, частота, амплитуда для интересующих величин. Можно вычислить спектральную плотность мощности и определить, на какой частоте происходят колебания данной физической величины. Вычислить сдвиг фаз между различными типами колебаний.

Конечной целью исследования является изучение структуры электрического поля плазмы в токамаке.

[letter4ivan@gmail.com](mailto:letter4ivan@gmail.com)

### Литературы

1. Воронов Г.С. Штурм термоядерной крепости. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. - 192 с. - (Библиотечка «Квант». Вып. 37). - 30 к.
2. Стрелков В.С. Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2004. - 88 с. (Серия «Учебная книга по диагностике плазмы»).
3. Investigation of the plasma potential oscillations in the range of geodesic acoustic mode frequencies by heavy ion beam probing in tokamaks. A.V. Melnikov etc. Czechoslovak Journal of Physics, Vol. 55 (2005), No.3.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ANKE SILICON TRACKING TELESCOPES

Леонтьев В.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

Детекторная система Silicon Tracking Telescopes (STT) разработана для экспериментальной установки ANKE. ANKE (Apparatus for Nuclear and Kaon Ejectiles) расположена на внутреннем пучке ускорителя COSY (COoler SYnchrotron) в г. Юлих, Германия. Задачей STT является идентификация типа частиц и измерение их 4-импульса для низкоэнергетических продуктов исследуемых реакций. Регистрация же продуктов уже

изученных реакций обеспечивает определение светимости, измерение степени поляризации пучка и/или мишени. В случае применения протяженных мишеней STT способна обеспечивать информацию о координатах вершины реакции. Для решения этих задач был разработан ряд методик анализа. После краткого описания устройства STT в докладе будут представлены эти методики и результаты их применения во время эксперимента в 2007 году.

Тип чипов	MATE3 (Saclay, France)	VA32TA2 (ideas, Norway)
Число каналов на плате	64 (E, Time)	160 (E, 5 (Time)
Порог триггера	$\pm 0.5 \text{ МэВ}$	$\pm 0.1 \text{ МэВ}$
Расс. мощность	5 $\text{Bam}^{\text{m}}/\text{плата}$	0.5 $\text{Bam}^{\text{m}}/\text{плата}$

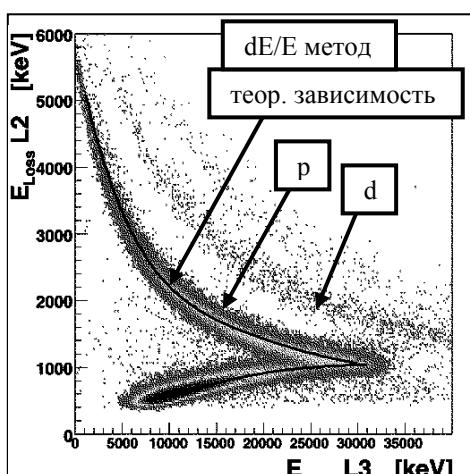


Рис. 1. Корреляция потерь энергии частицы в заднем (L3) и среднем (L2) детекторе позволяет определить ее тип.

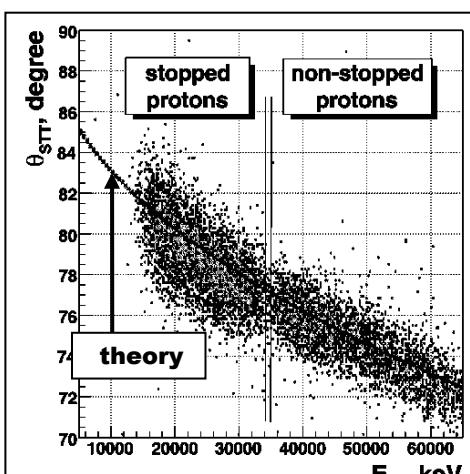


Рис. 2. Корреляция начальной энергии упруго рассеянного протона и его полярного угла вылета, регистрация STT.

STT является системой из 1-4 модулей, размещаемых в вакууме ускорителя вблизи мишени (например, в 20 мм от ее центра). Один модуль содержит телескоп из 3 кремниевых детекторов и предусилительную электронику. Передний и средний детекторы (тип BaBar-IV, Micron Semiconductor, UK) имеют толщину 70, 100 или 300 мкм, а задний (производства IKP FZ-Juelich) – 5 или 10 мкм, при высоте и ширине 64x64 мм. Все детекторы имеют двустороннюю микростриповую структуру (шаг считывания 0.4-0.7 мм). Электроника разработана для сверхвысокого вакуума, измеряет энергию и время, имеет собственный триггер считывания. Разработаны два варианта электроники, применяемые в комбинации. Их характеристики приведены в таблице.

Такие методы, как восстановление треков и dE/E метод идентификации частиц (Рис.1) уже хорошо освоены в нашей группе [1]. Однако впервые эти методы применены для полной конфигурации телескопа, что значительно улучшило результаты. Новым методом является восстановление начальной энергии продуктов реакции. Часть энергии, оставленная в чувствительных слоях детекторов, измеряется напрямую, остальная часть может быть восстановлена. Функции отклика электроники были получены путем калибровки тестовыми импульсами. Калибровка отклика каждого детектора осуществлялась на основании данных лабораторных измерений с α-источниками и путем сравнения dE/E плотов с теоретическими зависимостями. Эти измерения позволили также исследовать толщину и двухступенчатую структуру мертвых слоев BaBar-IV детекторов. Знание толщин всех мертвых слоев и угла наклона трека позволяет вычислить скрытые потери (естественно, в пределах разброса энергетических потерь), а также уносимую часть энергии пролетных частиц. Для разработки программы вычисления использовались данные пакета симуляции SRIM. Проведен анализ точности измерения и учет всех выявленных неопределенностей для протонов и дейtronов с энергиями в диапазоне 1.5-70 МэВ. Как правило, для остановленных частиц погрешность восстановления энергии приближается к 1%. Для проверки метода были изучены корреляции энергии продуктов

реакции  $pp \rightarrow pp$  с полярными углами вылета обоих протонов (Рис.2). Погрешность, вносимая восстановлением энергии, оказалась пренебрежимо малой по сравнению с погрешностью измерения углов.

Еще одним новым методом является измерение времени с высоким разрешением. Требования к разрешению определяются такими приложениями, как идентификация быстрых ( $\sim 2.7$  ГэВ/с) частиц, зарегистрированных в переднем детекторе ANKE (Forward Detector, FD). Разрешение ( $\sigma$ ) FD составляет  $\sim 0.26$  нс, разница времен пролета протонов и дейtronов до регистрации в FD составляет 1.5-2 нс, поэтому для разделения этих типов частиц достаточно зарегистрировать пролет другого продукта реакции с разрешением лучше 1 нс. Для определения разрешения и изучения систематических отклонений были проведены лабораторные исследования с  $\alpha$ - и  $\beta$ -источниками. Разрешение ( $\sigma$ ) для VA32TA2 варианта составило 0.52 нс. Разрешение для MATE3 оказалось почти в 2 раза лучше для частиц с энергетическими потерями  $> 1.6$  МэВ.

Остановленные в среднем либо в заднем детекторе протоны всегда имеют такие потери, по крайней мере, в одном из детекторов. Было выяснено, каким образом может быть скомпенсировано влияние таких эффектов, как дифф. нелинейность TDC, зависимость отметки времени от амплитуды сигнала с детектора. В условиях реального эксперимента проблема выравнивания ответов разных каналов считывания еще не решена в достаточной степени, поэтому в эксперименте пока не получено разрешение лучше 1.2 нс.

Другим перспективным приложением возможности измерять время может быть идентификация типа частицы, используя информацию с единственного детектора. Измерение разницы между временными отметками с обеих сторон детектора может обеспечить определение пробега частицы, остановленной в этом детекторе. Эта информация в комбинации с измерением энергии обеспечивает идентификацию. На Рис.3 проиллюстрировано экспериментальное подтверждение разделения частиц в 5 ми детекторе (VA32TA2 вариант электроники).

Итак, в условиях реального эксперимента было показано, что система STT стablyно работает в непосредственной близости от мишени, обеспечивает восстановление треков, а характеристики измерения времени и энергии вполне перспективны. В планах использование этих возможностей для получения непосредственно научных результатов.

Работа выполнена для коллаборации ANKE, Helmholtz FZ, Juelich, Germany.  
E-mail: leon@msu.dubna.ru

## Литература

1. Mussgiller, A. (2005) Identification and Tracking of low Energy Spectator Protons, Ph.D. Thesis, Universität zu Köln, Hamburg.

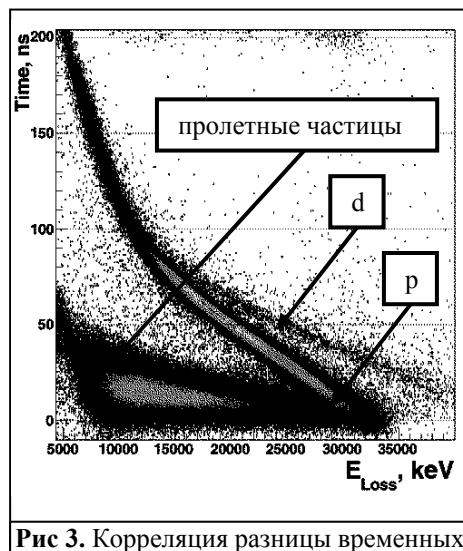


Рис 3. Корреляция разницы временных отметок с двух сторон 5 ми детектора с величиной энергетических потерь частицы в этом детекторе.

## ВЛИЯНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ПОЛЯ НА СЖАТИЕ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЫ В ЛОВУШКЕ СУРКО

Леонтьев М.Л., Есеев М.К.

*Поморский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова,  
Архангельск, Россия*

В ОИЯИ (Дубна) создана установка LEPTA для получения атомов позитрония с целью проверки ряда предположений, относящихся к физике фундаментальных взаимодействий [1]. На сегодняшний день идет работа по увеличению плотности и монохроматичности позитронного пучка. Это позволит получать направленные пучки таких экзотических атомов как позитроний, антиводород [2]. В этих целях совершаются отдельные секции установки, идет подбор оптимальных параметров управления позитронным пучком. Одним из важнейших элементов установки является позитронная ловушка, в которой происходит накопление позитронов. Работа ловушки основана в отмеченном экспериментально сжатии позитронного пучка и увеличения его стабильности во вращающемся электрическом поле. Причем определяющим здесь является направление вращения и частота относительно продольного магнитного поля. Этот эффект влияния на время жизни сгустка поля «вращающейся стенки» был обнаружен в экспериментах по накоплению плазменного сгустка позитронной плазмы [3]. Проведенные эксперименты [4] с электронами помогли выбрать оптимальные режимы работы ловушки Сурко с вращающейся стенкой, однако механизм влияния поля вращающейся стенки на сильно замагниченную однокомпонентную плазму необходимо было выяснить. В данной работе получено решение динамических уравнений в одночастичном приближении для позитронов, находящихся в поле пространственного заряда с напряженностью  $E_R$ , продольном магнитном поле с магнитной индукцией  $B$  и во вращающемся электрическом поле. На основании полученного решения найдена резонансная частота вращения электрического поля, при которой существенно меняются траектории позитронов в плазменном пучке, эта частота совпадает с найденной экспериментально частотой вращения стенки, при которой происходит сжатие позитронного сгустка в ловушке Сурко. Выявлено, что частота вращения поля, соответствует частоте дрейфового движения частиц в поле пространственного заряда:

$$\nu_R = cE_R / (2\pi rB) = cne / B,$$

где  $c$  – скорость света,  $e$  – заряд частиц,  $r$  – радиус орбиты дрейфа в скрещенных полях. Показано, что найденная резонансная частота линейно зависит от концентрации  $n$  позитронов и соответствует частоте дрейфа частиц в скрещенном магнитном поле и поле пространственного заряда. Используя эту зависимость, предлагается динамически менять в эксперименте значение частоты вращающегося поля в процессе накопления позитронов в ловушке.

*E-mail: tphys@pomorsu.ru*

### **Литература**

- [1] I. Meshkov, I. Seleznev, A. Sidorin, A. Smirnov, G. Trubnikov, S. Yakovenko // NIM B, 214, (2004) 186.
- [2] Л.И. Меньшиков, М.К. Есеев, УФН, 171, (2001) 149.
- [3] R. G. Greaves and C.M. Surko, Phys. Rev. Lett., 85, (2000) 1883.
- [4] С.Л. Яковенко Импульсный инжектор позитронов низкой энергии // Канд. дисс., ОИЯИ, Дубна, 2007.

[5] Есеев М. К., Леонтьев М.Л. // Труды XII научной конференции молодых ученых и специалистов ОИЯИ «Перспективы развития нанотехнологий в ОИЯИ». Дубна, 2008, в печати.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАНОРАМНОГО ДАТЧИКА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Лэй Вин, Тант Зин, Кадилин В.В., Деденко Г.Л.

*Московский инженерно-физический институт (гос. университет) Москва, Россия*

В ряде стран мира, включая Россию, существует острая проблема обнаружения очагов радиоактивного загрязнения, особенно техногенного происхождения, а также радиоактивных материалов при проведении проверки на контрольно-пропускных пунктах (проверка грузов). Для этих целей можно использовать многомодульные детектирующие устройства ММДУ (панорамные датчики).

На кафедре прикладной ядерной физики МИФИ проводятся эксперименты и расчеты по разработке методики и многомодульного детектирующего устройства для ускоренного поиска источников радиации и определения их локализации. Ранее нами были использованы панорамные ММДУ, созданные на основе свинцового экрана и стандартных сцинтиблоков с NaI(Tl) [1,2].

Проводилось математическое моделирование методом Монте-Карло по программе MCNP [3] ММДУ новой конструкции, созданного на основе защитных экранов защитной конфигурации и 4 или 6 сцинтилляционных детекторов на основе монокристаллов CsI(Tl) прямоугольного сечения.

Для всех вариантов конструкций угловая зависимость отношения количества сигналов в каждом модуле к сумме сигналов от всех модулей, полученных за одно и тоже время, приблизительно соответствует следующей функции.

$$N_1(\theta) = p0 + p1 \cdot \cos\left(\frac{\theta - xc}{wc}\right) + p2 \cdot \cos\left(2 \cdot \frac{\theta - xc}{wc}\right) + p3 \cdot \cos\left(3 \cdot \frac{\theta - xc}{wc}\right), \quad (1)$$

где  $N_1 = n_1 / \sum_{i=1}^j n_i$ ,  $n_i$  - это суммарное значение реакций фотоэффекта и комптоновского рассеяния (сумма отсчетов в фотопике или полное количество отчетов) в  $i$ -ом модуле.  $j$  - количество модулей. Полученные угловые зависимости отличаются для разного количества модулей и конфигурации защитных экранов, но все они хорошо описывают результаты расчета и эксперимента. Поэтому, решая систему уравнений (1) можно определить направление на источник излучения [4].

Получено удовлетворительное согласие полученных результатов расчета и эксперимента.

*E-mail: [laywin198@gmail.com](mailto:laywin198@gmail.com), [thantzin83@gmail.com](mailto:thantzin83@gmail.com), [vukadilin@mephi.ru](mailto:vukadilin@mephi.ru),  
[gdedenko@gmail.com](mailto:gdedenko@gmail.com)*

### Литература

1. Деденко Г.Л., Лэй Вин, Исаков С.В. Применение панорамных многомодульных устройств в решении задач радиационного мониторинга // Научная сессия МИФИ-2007. Сборник научных трудов. Т. 17. М., 2007.
2. Исаков С.В. Методика и аппаратура ускоренного поиска локальных источников гамма-излучения: автореф. дис. к.ф.-м..н. М., 2002.
3. <http://mcnp-green.lanl.gov/>

4. Лэй Вин, В.В. Кадилин, Г.Л. Деденко, и др., Исследование отклика ММДУ с различными защитными экранами при регистрации потоков гамма излучения, // Научная сессия МИФИ-2008. Сборник научных трудов. Т. 3. М., 2008.

## ФОТОРАСПЛЕНИЕ ИЗОТОПА $^{209}\text{Bi}$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ФОТОНОВ ДО 70 МЭВ

Ермаков А.Н., Макаренко И.В., Четверткова В.А.

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

Энергетическую область ядерных возбуждений до  $\sim 100$  МэВ можно разделить на три части: доминирующую с точки зрения величины сечения область гигантского дипольного резонанса - ГДР ( $\approx 10\text{-}30$  МэВ), область ниже ГДР и область выше ГДР. Область ГДР отвечает высокоэнергичным коллективным ядерным возбуждениям, в которые вовлечены практически все нуклоны ядра. Эта область достаточно хорошо исследована. Область ниже ГДР, отвечающая возбуждению отдельных ядерных уровней, с спектроскопической точки зрения изучена наиболее полно. В то же время область выше ГДР, являющаяся энергетически наиболее протяженной ( $\approx 30\text{-}100$  МэВ), исследована значительно хуже и о механизме взаимодействия ядер с  $\gamma$ -квантами таких энергий известно менее всего. В отличие от области гигантского резонанса, распад которого завершается вылетом одного (реже, двух) нуклонов, фоторасщепление при энергиях 20–100 МэВ приводит к вылету из ядра до 10 нуклонов. Традиционные методы детектирования продуктов распада, используемые в области энергий ГДР, трудно использовать в области более высоких энергий из-за низкой эффективности одновременной регистрации нескольких частиц в конечном состоянии. Многочастичные фотоядерные реакции в указанной области энергий представляют собой практически неисследованную область, не известны сечения этих реакций для большинства ядер.

В работе представлены экспериментальные данные по выходам многочастичных фотоядерных реакций на изотопе  $^{209}\text{Bi}$  с вылетом из ядра до семи нейтронов. Эксперимент выполнен на тормозном пучке импульсного разрезного микротрона RTM-70 НИИЯФ МГУ при энергии электронов 67.7 МэВ. Использовался метод гамма-спектрометрии остаточных гамма-активных ядер. Гамма-спектры остаточной активности облученного образца измерены с помощью HPGe детектора с эффективностью 30 %. По интенсивностям гамма-пиков в спектрах рассчитаны выходы фотоядерных реакций, нормированные на выход реакции  $(\gamma, 2n)$  (табл.). В рамках теоретической модели [1] получены теоретические оценки выходов фотоядерных реакций (табл.). Приведены результаты теоретических расчетов с учетом обоих возможных механизмов фоторасщепления (гигантского дипольного резонанса (ГДР) и квазидейtronного механизма (КД)) и с учетом только ГДР. Полученные экспериментальные данные могут быть описаны лишь при совместном учете обоих механизмов фоторасщепления – возбуждения (и распада) гигантского дипольного резонанса и квазидейtronного фоторасщепления.

Реакция	Эксп. выход (отн. ед.)	Теор. выход [1], ГДР+КД (отн. ед.)	Теор. выход [1], ГДР (отн. ед.)
$(\gamma, 2n)$	$1.00 \pm 0.05$	1.0000	1.0000
$(\gamma, 3n)$	$0.15 \pm 0.03$	0.113	0.080
$(\gamma, 4n)$	$0.09 \pm 0.02$	0.051	0.025
$(\gamma, 5n)$	$0.017 \pm 0.003$	0.016	0.007
$(\gamma, 6n)$	$0.007 \pm 0.002$	0.0041	0.0020
$(\gamma, 7n)$	$0.00012 \pm 0.00006$	0.00012	0.00007

E-mail: irina@depni.sinp.msu.ru

**Литература**

1. Ишханов Б.С., Орлин В.Н. // ЯФ. 2008. Т. 71. 517.

## РАДИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОСФЕРА НА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАТУШКАХ КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Нахаба А.А.

*Одесский государственный медицинский университет, Одесса, Украина*

**Цель работы:** Разработка эффективных устройств для удержания плотной высокотемпературной плазмы в состоянии плазменного сгустка сферической формы, способов инициации быстрых цепных ядерных реакций в малом количестве ядерного топлива (масса сгустка = несколько граммов), способов управляемой эмиссии высокотемпературной плазмы в строго определенном направлении, а также устройств для преобразования энергии излучаемого плазменного потока в полезные виды энергии (электроэнергия, энергия реактивной тяги, защитный ионный экран и др.).

**Материалы и методы:** Для решения поставленных задач автором было разработано принципиально новое электро-магнитное устройство – радиальная электромагнитосфера. Уникальность и качественное отличие данного устройства – возможность полной изоляции северных полюсов электромагнитов от южных.

**Результаты и их обсуждение:** В ходе данной работы автором самостоятельно разработаны новые подходы к дозированному введению ядерного топлива в реакторный отсек данного устройства, инициации быстрых цепных ядерных реакций в малом количестве топлива (одновременное облучение центрального плазменного сгустка ядерного топлива медленными нейтронами из 350 источников излучения, направленных на центральный плазменный сгусток – что позволило уменьшить критическую массу для U235 в 175000раз и запускать быструю цепную реакцию деления ядер урана при массе топлива меньше 1 г), разработаны новые подходы по удержанию и управляемой эмиссии высокотемпературной плазмы, разработаны устройства для преобразования энергии излучаемого плазменного потока в полезные виды энергии (электроэнергия, энергия реактивной тяги, защитный ионный экран и др.), самостоятельно изготовлены экспериментальные макеты изобретенных устройств, получено 5 патентов Украины на полезную модель по данной работе.

**Выводы:** Удержание продуктов ядерной реакции в состоянии плазменного сгустка сферической формы в постоянном магнитном поле – более эффективный и экономически обоснованный путь к управляемым быстрым цепным ядерным реакциям для текущего уровня технического развития нашей цивилизации.

E-mail: nakhaba911@mail.ru

**Литература**

1. Бунин В.А. Аппаратура для получения, удержания и нагрева плазмы. М., 1966;
2. Бишоп, Амаса С. Проект Шервуд. Программа США по управляемому термоядерному синтезу. Под общ. ред. ак. Л.А.Арцимовича. М., Атомиздат, 1960.
3. Киловатая Т.Г. Управление формой плазмы в токамаке. Харьковский физико-технический институт АН УССР ЦНИИ Атоминформ, 1989.
4. Нахаба О.О. Пристрій для утримання високотемпературної плазми у згустку сферичної форми та її керованої емісії. Патент України на корисну модель №16104. Мініс-

- терство науки і освіти України. Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл.№7, 2006р.
5. Нахаба О.О. Пристрій для утримання високотемпературної плазми у згустку сферичної форми та її керованої емісії у строго детермінованому напрямі. Патент України на корисну модель №17149. Міністерство науки і освіти України. Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл.№9, 2006р.
  6. Нахаба О.О. Пристрій для перетворення енергії згустку плазми сферичної форми у електроенергію. Патент України на корисну модель №22116. Міністерство науки і освіти України. Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл.№4, 2007р.
  7. Нахаба О.О. Пристрій для перетворення енергії згустку плазми сферичної форми у механічний імпульс корпусу двигуна. Патент України на корисну модель №23743. Міністерство науки і освіти України. Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл.№8, 2007р.
  8. Нахаба О.О. Пристрій для використання розсіянного пучка високотемпературної плазми для захисту об'єктів від механічного зіткнення із іншими об'єктами та іншими видами матерії. Патент України на корисну модель №23394. Міністерство науки і освіти України. Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл.№7, 2007р.

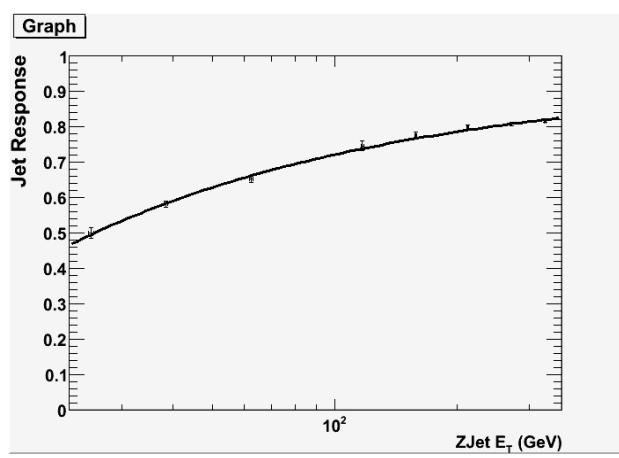
## КАЛИБРОВКА АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА ДЕТЕКТОРА CMS С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕССА PP->Z+JET

Образцов С.В.

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

Относительно недавно был предложен новый способ калибровки адронного калориметра, с использованием принципиально нового процесса  $Z$  бозон + струя, речь идёт о  $p-p$  столкновениях на ускорительном комплексе LHC в Европейском Центре Ядерных Исследований (CERN). Данная калибровка будет использоваться для исследования столкновений тяжёлых ионов на ускорителе LHC, в рамках программы по поиску и исследованию кварк-глюонной плазмы.

Исследование было проведено посредством генератора Монте-карло PYTHIA6.4 , компьютерная модель детектора описывалась в рамках общего пакета программного обеспечения CMSSW1.3.4 . В сумме было проанализировано  $\sim 200000$  событий.



В рамках данной задачи изучался баланс между реконструированной энергией  $Z$  бозона и попечным импульсом струи. Масса  $Z$  бозона восстанавливалась по инвариантной массе двух мюонов. При этом вводилось несколько условий отбора:

- 1)  $Z$  бозон и струя разлетаются под углом  $\sim 180$  градусов.
- 2) Для  $Z$  бозона используется массовое окно  $\langle Z \rangle \pm \sigma$ .
- 3) Выполняется отбор по энергии второй струи в событии.

Механизм реконструкции энергии струи представляет из себя итерационный конусный алгоритм в координатах  $\eta$  (псевдобыстрота),  $\phi$  с радиусом конуса  $R=0.5$ . После применения данного алгоритма на распределение импульса струи выполняется последова-

тельно 3 итерации по Гауссу. Полученное среднее значение используется для вычисления баланса. При этом все данные разделяются на 16 диапазонов по псевдобыстроте  $\eta$ .

После получение всех балансов строится график зависимости баланса от энергии  $Z$  бозона для каждого диапазона по  $\eta$  (см. рисунок). Далее была проведена параметризация. Параметры данной функции далее вносятся в базу данных. Чтобы убедиться в точности данной аппроксимации, необходимо провести процесс проверки. Результаты показали, что аппроксимация верна.

e-mail: [stepan.obraztsov@gmail.com](mailto:stepan.obraztsov@gmail.com)

## СТАБИЛИЗАЦИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА СЦИНТИЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА ГАММА –ИЗЛУЧЕНИЯ

Подлесных В.Г., Кадилин В.В., Самойленко В.Т., Фролов М.В.

*Моск. инж.-физический институт (гос. университет), Москва, Россия*

Использование большого количества ФЭУ в многодетекторных спектрометрах предъявляет высокие требования к выравниванию коэффициентов усиления и временной стабильности оптических контактов. Кроме этого, усиление ФЭУ заметно зависит от его среднего тока, который будет сильно меняться при изменении загрузки детектора. Система стабилизации обеспечивает стабильность параметров спектрометра. Предлагаемая система стабилизации, используемая в спектрометре высоконергетических излучений «Наталья-2М» [1], состоит из эталонного генератора импульсов, светодиода и оптоволоконного кабеля и электронных блоков, обеспечивающих изменение коэффициента усиления ФЭУ (рис. 1). Действие системы стабилизации построено по следующему принципу: свет от эталонного источника световых импульсов на основе генератора импульсов тока и светодиода разветвляется при помощи волоконной оптики и вводится в центр каждого сцинтиллятора. Платы стабилизации для каждого ФЭУ измеряют сигнал, соответствующий эталонному импульсу, и изменяют напряжение на делителе напряжения таким образом, чтобы амплитуда сигнала оставалась постоянной. Частота следования эталонных сигналов 1 кГц, при этом постоянная времени регулирования примерно 3 сек [2].

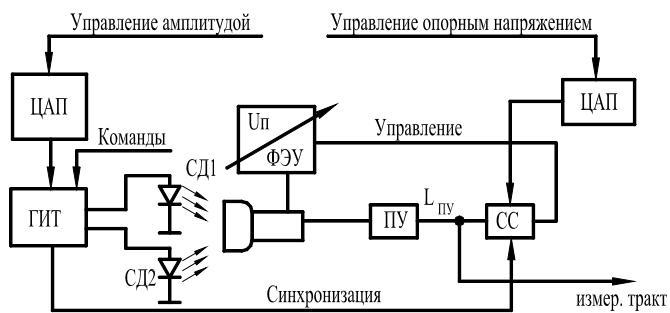


Рис. 1. Функциональная схема системы стабилизации

Ток светодиода может меняться в зависимости от величины опорного напряжения, которое может меняться по командам с компьютера.

Исследовалась реакция системы на плавные и резкие изменения напряжения питания ФЭУ, изменения загрузки и температуры детекторов. Рассмотрено влияние системы стабилизации на изменение энергетического разрешения системы детекторов в стационарном режиме.

*E-mail:* [podlesnyh\\_vl@mail.ru](mailto:podlesnyh_vl@mail.ru), [vjkadilin@mephi.ru](mailto:vvkadilin@mephi.ru), [vtsamojlenko@mephi.ru](mailto:vtsamojlenko@mephi.ru),  
[frolovmaxv@gmail.com](mailto:frolovmaxv@gmail.com)

### Литература

- Архангельский А.И., Гляненко А.С., Котов Ю.Д. и др., Спектрометр высокогенергетических излучений «Наталья-2М» космического проекта «КОРОНАС-ФОТОН». Труды 28 всероссийской конференции по космическим лучам.
- Власик К.Ф., Кадилин В.В., Подлесных В.Г. и др., Стабилизация спектрометрического тракта многомодульного сцинтиляционного детектора // Научная сессия МИФИ 2008, т.4., М.: 2008.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ШАЛ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА НА ЯКУТСКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ УСТАНОВКЕ ШАЛ

Прохорова В.П., Кнуренко С.П., Слепцов И.Е., Петров З.Е.

*Инст. космофиз. исслед. и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия*

### Введение

Излучение Вавилова-Черенкова, возникающее при прохождении потока заряженных частиц ШАЛ через атмосферу, отражает все стадии генерации частиц и, таким образом, может служить инструментом в исследовании продольного развития ШАЛ. Известно, что продольное развитие в равной мере чувствительно как к параметрам взаимодействия, так и массе первичной частицы, поэтому измерение черенковского света ШАЛ дает возможность непосредственно из измерений восстанавливать параметры каскадной кривой и атомный вес первичного ядра.

Прямые измерения каскадной кривой развития ШАЛ возможны только в двух случаях: измеряя ионизационное излучение атомов азота, вызванное прохождением потока релятивистских частиц через атмосферу и измеряя черенковское излучение, генерируемое электронами ШАЛ. На Якутской установке ШАЛ для этих целей используется метод [1] и дифференциальный черенковский детектор [2]. Измерения каскадной кривой проводятся синхронно с измерениями других компонент ШАЛ (электронов, мюонов), которые дополняют каскадную кривую на глубинах в атмосфере  $X \geq X_0$ , где  $X_0 = 1020 \text{ г} / \text{см}^2$  для уровня Якутской установки.

### Методика восстановления каскадной кривой

Измеренный в узком телесном угле поток черенковских фотонов  $Q_{\text{эксп}}(E_0, R, X_0)$  связан с каскадной кривой  $N(E_0, X)$  следующим выражением:

$$Q_{\text{эксп}} = \delta_Q + \int_{X_1}^{X_2} G(R, X / X_2) \cdot N(E_0, X) \cdot K(\lambda, X) dX \quad (1)$$

Здесь  $G(R, X / X_2)$  – функция, определяемая в основном пространственно-угловым распределением электронов в парциальных лавинах;  $\delta_Q$  – уровень “шумов”, зависящий от погрешностей измерения, статистической обработки данных, задания функции  $G(R, X / X_2)$ , интегрирования и т.д.;  $K(\lambda, X)$  – коэффициент пропускания атмосферы;  $X_1$  и  $X_2$  – верхняя и нижняя границы участка атмосферы, обозреваемая индивидуальным ФЭУ.

Выражение (1) представляет собой интегральное уравнение Фредгольма I рода, относящееся к классу некорректных задач [3]. Для ее решения необходимо ввести какую-либо априорную информацию об искомой функции  $N(E_0, X)$ . Нами предполагалось, что электромагнитные каскадные профили индивидуальных ШАЛ имеют вид:

$$N(E_0, X) = N_m(E_0) \cdot \exp[(\alpha - 1)(1 - (X_2 - X_1) / X_m + \ln((X_2 - X_1) / X_m))] \quad (2)$$

Здесь  $N_m(E_0)$  – число частиц в максимуме, а  $X_m$  – глубина максимума каскадной кривой.

Параметр  $(\alpha - 1)$  – связан с пробегом поглощения электронов в ливне  $\lambda$  и для интервала зенитных углов от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  определяется по формуле:

$$(\alpha - 1) = (1020 \cdot X_m(\sec\theta - 1)) / \lambda \cdot [1020(\sec\theta - 1) - X_m \ln(\sec\theta)] \quad (3)$$

Введение аппроксимации (2) обосновано расчетами  $N(E_0, X)$  для разных моделей развития ШАЛ. Согласно работам [4], более 97 % индивидуальных каскадных кривых хорошо описываются гамма-распределением в области максимума своего развития. Уравнение (1) считается решенным, если будут подобраны параметры аппроксимации (2), удовлетворяющие условию минимума функционала невязки:

$$\Omega[N(E_0, X)] = \sum_{j=1}^n w(E_0, X_j) \cdot (\lg Q_{\text{эксп}} - \lg Q_{N(E_0, X)})^2 \quad (4)$$

где  $w(E_0, X_j)$  – статистический вес потока черенковского света, измеренный в интервале глубин  $\Delta X = X_2 - X_1$ .

Из-за сложности минимизации функционала по четырем свободным параметрам для восстановления  $N(E_0, X)$  индивидуальных ШАЛ предварительно определялись параметр  $(\alpha - 1)$  по измеренному числу заряженных частиц на уровне наблюдения и  $X_m$  – по форме функции черенковского излучения ШАЛ [1]. В этом случае процесс минимизации значительно упрощался

### Результаты

Используя методику, описанную выше, для восстановления каскадных кривых были отобраны ШАЛ с энергиями  $\sim 10^{17} - 10^{18}$  эВ и зенитными углами от 10 до 30 градусов от вертикали. В ливнях регистрировалась общая заряженная компонента – сцинтиляционными счетчиками и черенковский свет ШАЛ – интегральными и дифференциальными детекторами. Основные характеристики ШАЛ: углы прихода ливня  $\theta$ ,  $\phi$ , ось ливня, энергия ливня, полное число заряженных частиц на уровне наблюдения определялись по показаниям основных станций наблюдения. Сводная таблица нескольких отобранных ливней приведена в таблице

Дата	Время	$E_0$	$\theta$	$\phi$	$X$	$y$	$N_{\text{max}}$	$X_{\text{max}}$	$N_s$
01.12.07	17:53:21	17.50	12	55.2	-223.97	29.41	8.40	640	6.49
14.12.07	19:28:01	16.82	9	347.1	-226.74	243.11	7.95	570	7.28
19.12.07	03:54:04	18.03	13	271.1	627.64	142.03	9.10	680	8.71
02.02.08	01:27:08	17.89	30	285.2	-223.96	-343.5	8.69	720	8.11

Далее ливни были сгруппированы по энергии на три группы:  $16.80 \leq \lg E_1 < 17.30$ ,  $17.30 \leq \lg E_2 < 17.60$  и  $17.60 \leq \lg E_3 < 18.20$

На рис.1 показана зависимость глубины максимума  $X_{\text{max}}$  от первичной энергии  $E_0$ . Черными точками обозначены результаты, полученные черенковским дифференциальным детектором. Розовые кружочки получены по форме пространственного распределения черенковского света ШАЛ. Кривыми показаны расчеты по модели QGSJETII-03 для первичного протона и ядра железа. В области энергии  $\sim 10^{17}$  эВ точки группируются ближе к кривой от ядра железа, а выше  $7 \cdot 10^{17}$  эВ – ближе к расчету для протона. Сле-

довательно, в рамках выбранной модели, можно предположить, что состав космических лучей в интервале энергий  $\sim 10^{17}$  более тяжелый, чем при  $\sim 10^{18}$  эВ.

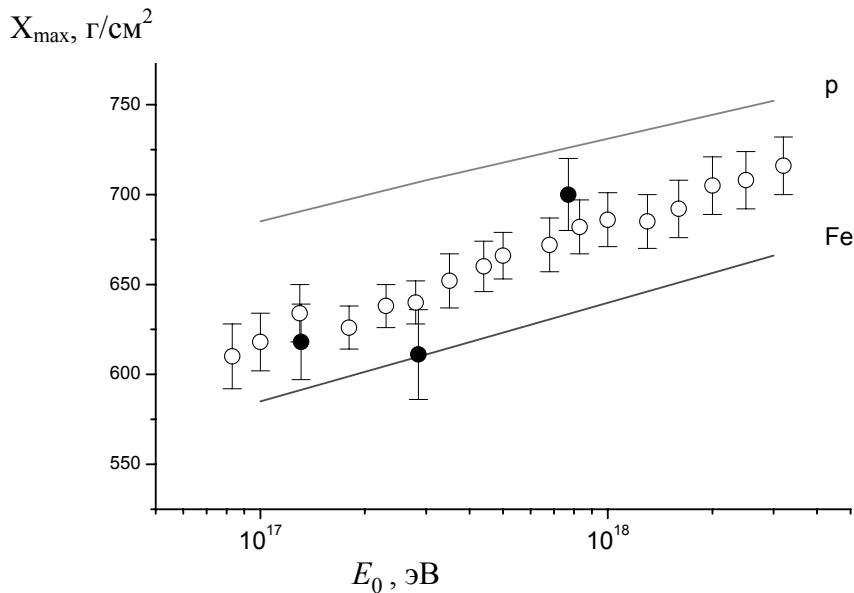


Рис. 1. Зависимость глубины максимума  $X_{\max}$  от первичной энергии  $E_0$

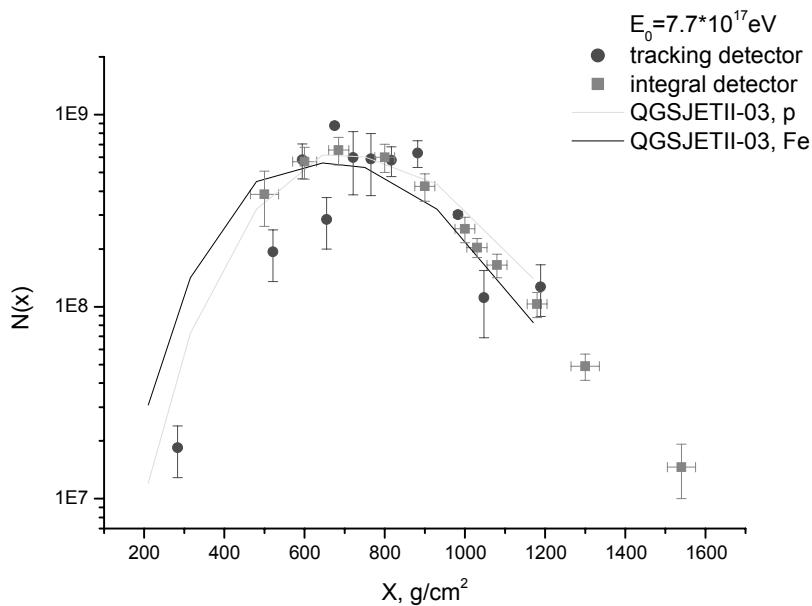


Рис.2. Каскадная кривая развития ШАЛ, восстановленная по откликам ФЭУ дифференциального черенковского детектора

На рис.2. показаны каскадные кривые с первичной энергией  $E_0=7.7 \times 10^{17}$  эВ. Синими кружочками отмечены результаты полученные черенковским дифференциальным детектором, красными – интегральными детекторами Якутской установки ШАЛ. Там же приведены расчеты по модели QGSJETII-03 для случая, если каскад частиц генерируется первичным протоном и первичным ядром железа.

Из рис.1 и рис.2 видно, что данные  $X_{\max}$  лежат между расчетными кривыми для протона и ядра железа и скорее соответствуют смешанному составу космических лучей.

Для того, чтобы сделать более однозначный вывод необходима большая статистика ливней, а это означает, что необходимо проводить дальнейшие наблюдения ШАЛ с помощью дифференциального черенковского детектора.

### Выводы

Результаты, полученные по данным измерения черенковского дифференциального детектора, носят предварительный характер, так как пока мала статистика ливней в области энергий выше  $10^{17}$  эВ. В настоящее время проводятся работы по модернизации установки с целью улучшения точности измерений, в том числе углов прихода ливня.

*E-mail: v\_p\_prokhorova@ikfia.ysn.ru*

### Литература

1. Дьяконов М.Н., Иванов А.А., Кнуренко С.П. и др. Электромагнитные каскадные профили и флуктуации продольного развития ШАЛ. В кн.: Космические лучи с энергией выше  $10^{17}$  эВ. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1983, с. 34 – 47.
2. Прохорова В.П., Кнуренко С.П., Петров З.Е. и др. Труды X конфер. молодых ученых. Иркутск, 2007, с. 59.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 286 с.
4. Иванов А.А. и др. Зависимость средней каскадной кривой ШАЛ от распределения по быстротам в процессах множественной генерации частиц. Бюл. НТИ. Проблемы космофизики и аэрономии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, декабрь 1979, с. 7 – 9.

## АНАЛИЗ ВИДЕОДАННЫХ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОБЛУЧЕНИЮ МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОТОНАМИ ПОЛИМЕРНОГО ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА CR-39

\*Ситкина И.А., Орищенко А.В.

*ФГУП «ГНЦ РФ НИИАР», Димитровград, Россия*

Данная работа выполнена на основе анализа материалов по облучению полимерных трековых детекторов CR-39monoэнергетическими протонами. Целью облучения являлось установление количественной зависимости между размером треков и энергией протонов, которую далее мы называем градуировочной зависимостью. Необходимость создания простого и надёжного индивидуального дозиметра для измерения эквивалентной дозы нейтронного облучения существует на многих многопрофильных предприятиях, в том числе и в НИИАР. Такой дозиметр необходим, например, при работе персонала по перегрузке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), на участке с высокоактивными источниками нейтронного излучения ( $^{252}\text{Cf}$ ), в зонах работы атомных реакторов, при облучении нейtronами в медицинских целях.

Полученные в данной работе результаты планируется использовать при разработке метода и методики определения индивидуальной эквивалентной дозы нейтронного облучения посредством трековых детекторов CR-39 без спектрометрической поддержки в области энергий промежуточных и быстрых нейтронов.

---

\* Доклад отмечен жюри как лучший на подсекции.

В данной работе исследовался отклик твердотельного трекового детектора CR-39 на облучение моноэнергетическими протонами, поскольку в основном именно протоны отдачи формируют треки при нейтронном облучении.

Результатом воздействия быстрых протонов на вещество детектора является визуализированный трек, проявляемый химическим травлением в виде лунки на поверхности полимера. Изучались размеры (площадь) трека, образованного протонами с моноэнергетическими значениями энергий при различной продолжительности химического травления облучённого полимера.

Построены зависимости площадей треков  $S$  от энергии протонов в диапазоне энергий 1-4 МэВ для различной продолжительности травления. Установлен вид зависимости  $S(E)$  для продолжительности травления 12, 14, 19 и 24 часа, существенно, что эта зависимость носит характер градиуровочной зависимости и имеет вид степенной функции с постоянным показателем степени. Практически продолжительности травления детектора 12 час. достаточно для вскрытия треков от протонов с энергиями от 1 МэВ до 4 МэВ. Именно в этой области энергии нейtronов излучение обладает наиболее высоким коэффициентом биологической опасности.

Совпадение возможности регистрации и необходимости осуществлять контроль облучения нейtronами этого диапазона энергий создает благоприятную возможность для создания индивидуального нейтронного дозиметра.

*E-mail: min@niiar.ru*

## СПИРАЛЬНЫЕ АМПЛИТУДЫ И СР-АСИММЕТРИЯ РЕДКИХ РАСПАДОВ В-МЕЗОНОВ

\*Тлисов Д.А.

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

### Введение

В СМ нейтральные токи, нарушающие аромат, возникают, начиная со второго порядка теории возмущений, за счёт петлевых диаграмм типа "пингвин", и "квадратик". По сравнению с древесными диаграммами, петлевые диаграммы подавлены дополнительными степенями постоянной тонкой структуры, безразмерной константы слабого взаимодействия и за счёт интегрирования по петле. Парциальные ширины распадов, возникающих за счёт нейтральных токов, нарушающих аромат, чрезвычайно малы и находятся в интервале от  $10^{-5}$  до  $10^{-15}$ . Поскольку парциальные ширины редких распадов чрезвычайно малы, то такие распады могут служить уникальным тестом для прецизионной проверки предсказаний СМ в высших порядках теории возмущений и для поиска физики вне рамок СМ (так называемая "нестандартная физика", к которой можно отнести различные варианты суперсимметричных теорий, теории с дополнительными размерностями, модели ТВО и многие другие). В настоящее время данные распады активно изучаются на В-фабриках и ускорителе Tevatron [1]. В ближайшем будущем редкие распады будут экспериментально изучаться на ускорителе LHC (CERN, Швейцария).

### Цель

Целью данной работы является вычисление в рамках СМ спиральных амплитуд и СР-асимметрии для редких радиационного  $B_s^0 \rightarrow \gamma \ell^+ \ell^-$  и полуlepтонного  $B_s^0 \rightarrow \phi \ell^+ \ell^-$  распадов и дальнейшего их сравнения с будущими измерениями на детекторе LHCb ускорителя LHC. Теоретические расчеты проводились на основе дисперсионной модели

\* Доклад отмечен жюри как лучший на подсекции.

конституэнтных夸克 [2], гамильтониан перехода был представлен в форме разложения Вильсона [3]. Формфакторы вычислены соответственно в [4] и [5].

### Результаты

За неимением достаточного количества места приведём лишь некоторые результаты. Одна из спиральных амплитуд для полуlepтонного распада:

$$\begin{aligned} \langle \phi^{\lambda=+1} l_R^- l_L^+ | H_{\text{eff}}^{b \rightarrow s l^+ l^-} | \bar{B}_s^0 \rangle = & \frac{G_F}{\sqrt{2}} \frac{\alpha_{em}}{2\pi} V_{tb} V_{ts}^* \sqrt{s} \cdot [2i \frac{C_{7\gamma}}{s} (m_b + m_s) \lambda^{\frac{1}{2}} g_+(s) \cdot (1 + \cos(\theta)) + \\ & + \left( 2 \frac{C_{7\gamma}}{s} (m_b - m_s) F_1(s) + (C_{9V}^{\text{eff}} + C_{10A}) \sqrt{1 - \frac{4m^2}{s}} (\lambda^{\frac{1}{2}} g(s) - f(s)) \right) \cdot (1 - \cos(\theta))] \end{aligned}$$

Одна из СР-асимметрий для радиационного распада:

$$\begin{aligned} \sum_{\lambda_\gamma, \lambda_1, \lambda_2} \left( A_{\lambda_\gamma \lambda}^{(s)*} \frac{q}{p} \bar{A}_{\lambda_1 \lambda}^{(s)} \right) = & 2 \left( \frac{G_F}{\sqrt{2}} \frac{\alpha_{em}}{2\pi} e |V_{tb} V_{ts}^*| M_B^2 \frac{1-s}{2\sqrt{2}} \right)^2 (1 + \cos^2(\theta)) \cdot [-2 |\tilde{C}_{7\gamma}|^2 |\tilde{F}_{TV} + \tilde{F}_{TA}| |\tilde{F}_{TV} - \tilde{F}_{TA}| e^{i(2\varphi_7 + \varphi_{FT+} + \varphi_{FT-})} + \\ & + |\tilde{F}_V + \tilde{F}_A|^2 |\tilde{F}_V - \tilde{F}_A| \left( |\tilde{C}|^2 e^{i(2\varphi + \varphi_{F+} + \varphi_{F-})} + |\tilde{C}_1|^2 e^{i(2\varphi_1 + \varphi_{F+} + \varphi_{F-})} \right) - |\tilde{C}_{7\gamma}| |\tilde{F}_{TV} + \tilde{F}_{TA}| |\tilde{F}_V - \tilde{F}_A| \left( |\tilde{C}| e^{i(\varphi_7 + \varphi_{FT+} - \varphi - \varphi_{F-})} + |\tilde{C}_1| e^{i(\varphi_7 + \varphi_{FT+} - \varphi_1 - \varphi_{F-})} \right) + \\ & + |\tilde{C}_{7\gamma}| |\tilde{F}_{TV} - \tilde{F}_{TA}| |\tilde{F}_V + \tilde{F}_A| \left( |\tilde{C}| e^{i(\varphi_7 + \varphi_{FT-} - \varphi - \varphi_{F+})} + |\tilde{C}_1| e^{i(\varphi_7 + \varphi_{FT-} - \varphi_1 - \varphi_{F+})} \right)] \end{aligned}$$

E-mail: tlisov-danila@yandex.ru

### Литература

- [1] Buchalla G. et al. // Report of Working Group 2 of the CERN Workshop on Flavor in the Era of the LHC: 2nd Workshop on the Interplay of Flavor and Collider Physics, Geneva, Switzerland, 6-8 Feb 2006.
- [2] Dmitri Melikhov // Phys. Rev. D 53 (1996), 2460-2479.
- [3] Buras A., Munz M. // Phys. Rev. D 52 (1995), 186.
- [4] Melikhov D., Nikitin N. // Phys. Rev. D 70 (2004), 114028.
- [5] Melikhov D., Stech B. // Phys. Rev. D 62 (2000), 014006.

## НОВЫЙ ИТЕРАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАТРИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕГРАЛА S-МАТРИЦЫ

Толоконников А.В.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический Факультет, Москва, Россия

Как известно в мае 2008 года вступает в строй Большой Адронный Коллайдер, (LHC, CERN) проектной энергии в 14 ТэВ. Эта величина почти на порядок превосходит по энергии показатели его ближайших конкурентов. Целью проекта LHC прежде всего является открытие бозона Хиггса — последней экспериментально не найденной частицы Стандартной Модели (СМ) — и поиск физики вне рамок СМ. Последняя задача ставит перед учеными проблему более точного расчета фоновых процессов, необходимого при определении отклонения физики от рамок СМ. В настоящее время существует достаточно много программных пакетов, которые позволяют проводить расчеты процессов СМ с большим числом внешних ног в лидирующем приближении по теории возмущений (LO).

Основным инструментом вычисления амплитуд и сечений рассеяния процессов элементарных частиц в рамках теории поля являются методы теории возмущений. Наиболее распространенными методами вычислений являются техника Феймановских

диаграмм, а также методы, основанные на решении уравнений движения для функций Грина (уравнения Дайсона-Швингера). Оба вычислительных подхода имеют как достоинства, так и недостатки. В диаграммной технике любой квантово - механической амплитуде ставится в соответствие набор графов, элементами которых являются операторы свободных полей и корреляционные функции. Достоинством этого метода является простота его автоматизации, но возникают трудности вычисления процессов с участием большого числа частиц, так как число квадрированных диаграмм растет с увеличением числа частиц как  $N!$ . Альтернативой являются алгоритмы решения уравнений движения для функций Грина взаимодействующих полей или уравнения Дайсона-Швингера: для каждого процесса записывается система уравнений, рекурсивно выражаящая многоточечные корреляционные функции через корреляционные функции низших порядков. Преимущество здесь — это скорость вычисления, но практическая реализация сталкивается с рядом трудностей. Так как функции Грина не являются калибровочно-инвариантными объектами, то для построения перенормированных амплитуд нужно использовать дополнительные тождества Уорда-Такахashi или в неабелевом случае Славнова-Тейлора. Кроме того, чтобы посчитать реальный процесс и перейти от функций Грина к амплитуде, выраженной операторами свободных полей, нужно использовать редукционные соотношения Лемана-Симанзика-Циммермана, что также усложняет автоматизацию вычислений.

Мы предлагаем алгоритм вычислений, основанный на методе представления S-матрицы через континуальный интеграл в явно калибровочно-инвариантном виде. В таком представлении разложение в ряд теории возмущений гарантировано дает калибровочно-инвариантные члены. Следующим шагом должен проводиться отсев петлевых членов и «головастиков». Для этой цели довольно не сложно сформулировать правила отбора, основанных на знаниях о виде функциональных производных. Применив эти правила отбора, можно преобразовать ряд теории возмущений таким образом, что различные типы полей будут сведены в разные члены (множители) выражения для ряда теории возмущений, что в свою очередь позволяет выписывать данные члены, соответствующие различным полям, для произвольного порядка теории возмущений в древесном приближении. В результате получаются калибровочно-инвариантные члены ряда теории возмущений в древесном приближении.

*[bravelemtur@mail.ru](mailto:bravelemtur@mail.ru)*

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ ПО ОТКЛИКАМ МДН, С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

То Тун Ко, Колесников С.В.

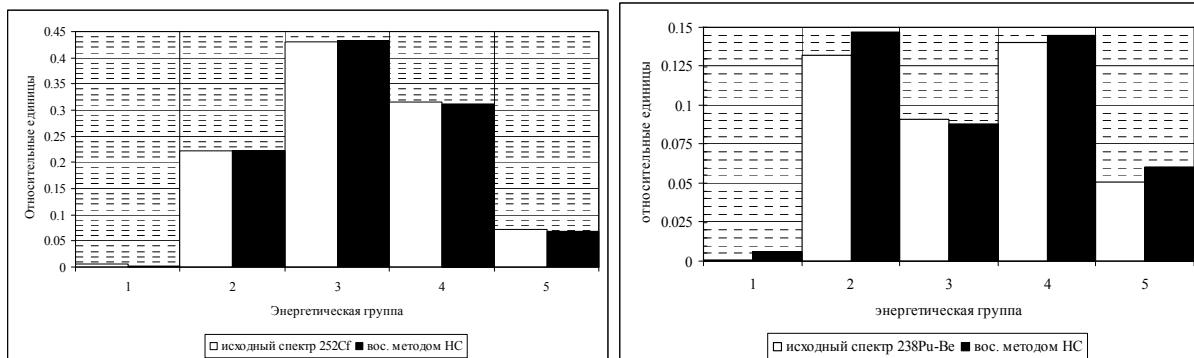
*Московский инж.-физич. институт (гос. университет), Москва, Россия*

Многослойный детектор нейтронов (МДН), предназначенный для обнаружения и идентификации источников нейтронного излучения, содержит чередующиеся слои водородосодержащего замедлителя и регистраторов медленных нейтронов. Каждый регистрирующий слой в МДН набран из Не-3 счетчиков нейтронов в виде одной или двух плоских кассет. Слои счетчиков Не-3 расположены поперек падающего потока на различной глубине в замедлителе. Отношение между откликами, получаемыми от каждого регистрирующего слоя МДН, и нейтронными спектрами математически написано как уравнение Фредгольма первого рода.

Для решения данной задачи используется двухслойная искусственная нейронная сеть (ИНС). На каждом слое ИНС использована логарифмическая сигмоидальная функция в качестве функции активации. ИНС обучена с помощью алгоритма обратного

распространения ошибки. Значения откликов, полученные в ходе исследования, подаются на каждый входной нейрон этой сети. На выходе из нейронной сети выдаются восстановленные значения интенсивности потока нейтронов в каждой энергетической.

Созданы 45 различные вариации потоков нейтронного излучения, похожие на спектры деления от источников  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{238}\text{Pu-Be}$  и моноэнергетические спектры, используя математическую модель МДН на MCNP, получены 45 наборы откликов и используются как входы нейронной сети. Созданные спектры используются как наборы желаемых значений. После обучения разных сетей известно, что у сетей с (5 – 100 – 5) нейронов получается самая маленькая погрешность ( $10^{-4}$ ) с количествами циклов обучения (352795 цикл) и обучаемая нейронная сеть тестирована с двумя исходными источниками  $^{252}\text{Cf}$  и  $^{238}\text{Pu-Be}$ , которых нет в сборе обучаемых пар.



Максимальное расхождение исходных и полученных значений не превышает 10% и можно сказать о возможности применения ИНС для решения задач по восстановлению энергетического распределения потоков нейтронного излучения.

*E-mail: [thawtunko@gmail.com](mailto:thawtunko@gmail.com)*

### Литература

- Г.Л. Деденко, В.В. Кадилин, А.А. Каплун, С.В. Колесников, А.В. Самосадный, В.Т. Самосадный. Многослойный детектор для оперативной оценки спектрального состава полей нейтронов. Приборы и техника эксперимента 2002, №3, с. 14-23.
- В.А Головко. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн.4: Учеб. пособие для вузов / Общая ред. А.И.Галушкина. - М.:ИПРЖР, 2001., -256с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРОВ СПЕКТРОМЕТРОВ ЭНЕРГИЙ СЕ-1 И СЕ-2, ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ «НАТАЛЬЯ-2М»

Фролов М.В., Кадилин В.В.

*Московский инженерно-физический институт (гос.универ.), Москва, Россия*

Жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца, полностью поглощаемое атмосферой Земли на высоте порядка 100 км, доступно для изучения только с помощью приборов, вынесенных за пределы атмосферы. В рамках программы КОРОНАС в Институте астрофизики МИФИ разрабатывается спутниковый проект КОРОНАС-ФОТОН. Спутник готовится для реализации в 2008 году.

В состав комплекса научной аппаратуры спутника “КОРОНАС-ФОТОН” входит спектрометр высокоэнергетических излучений “Наталья-2М”. Основными элементами прибора «Наталья-2М» являются спектрометры энергий СЕ-1 и СЕ-2 [1].

Спектрометры СЕ-1 и СЕ-2 построены по модульному принципу и состоят из 8ми детекторов каждый. Спектрометры созданы с использованием слоистой структуры. Каждый слой содержит по 4 сцинтилляционных детектора.

Энергетическое разрешение всего прибора зависит от энергетического разрешения каждого модуля. Для улучшения этого параметра были предприняты следующие меры:

-Использование двух ФЭУ, просматривающих рабочий объем модуля с двух сторон позволило улучшить светосбор.

-подбор режимов работы всех ФЭУ.

Детекторы имеют хорошее энергетическое разрешение (не хуже 10% по линии  $^{137}\text{Cs}$ ), несмотря на достаточно большие размеры сцинтиллятора. Энергетическое разрешение прибора также лежит в пределах 10%, что является хорошим результатом [2].

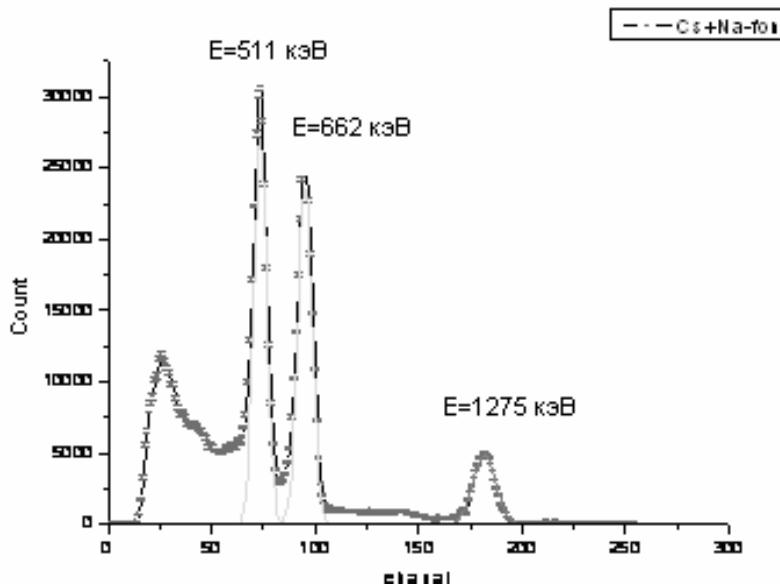


Рис. Спектр  $^{137}\text{Cs} + ^{22}\text{Na}$  для отдельного модуля.

По завершении работ были достигнуты следующие результаты:

- ✓ Разработана методика сборки детекторов спектрометров СЕ-1 и СЕ-2.
- ✓ Исследованы характеристики детекторов.

Подобрана комплектация и осуществлена сборка спектрометров СЕ-1 и СЕ-2

*E-mail: frolovmaxv@gmail.com, vvkadilin@mephi.ru*

### Литература

1. Котов Ю.Д., Юров В.Н., Самойленко В.Т., Рубцов И.В. и др., Спектрометр энергий прибора «НАТАЛЬЯ-2М» // Научная сессия МИФИ 2004г.
2. Кадилин В.В., Трофимов Ю.А., Фролов М.В., Шишмакова Т.В. Оптимизация энергетического разрешения многомодульного гамма-спектрометра // Научная сессия МИФИ 2008, т.4., М.: 2008.

**БИОФИЗИКА**

**Председатель подсекции  
проф. Твердислов Всеволод Александрович**

**ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОСИНТЕЗА:  
ФОТОХИМИЧЕСКОЕ И НЕФОТОХИМИЧЕСКОЕ ТУШЕНИЕ.  
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.**

Алексеев А.А., Крылова И.Н.

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

В последнее время широкое распространение получили импульсные методы исследования индукции флуоресценции фотосинтеза.[1] Конечная цель этих исследования – установить связь между особенностями кривой индукции флуоресценции и величинами, характеризующими эффективность фотосинтеза.

Обычно в таких исследованиях применяются РАМ-флуорометры [2], использующие импульсный метод исследования индукции флуоресценции. Они позволяют определить величину  $q_Q$  (фотохимическое тушение), которая связана с окислительно-восстановительным состоянием первичного акцептора электронов фотосистемы II.

Кроме того, определяется величина  $q_E$  (нефотохимическое тушение), которая связана с безизлучательными процессами превращения энергии при фотосинтезе. [2] Измерение интенсивности флуоресценции фотосистемы II в фиксированные моменты позволяет получить эти величины, связанные с измеряемыми интенсивностями следующими соотношениями:

$$q_Q = \frac{(F_V)_S - F_V}{(F_V)_S}, \quad q_E = \frac{(F_V)_M - (F_V)_S}{(F_V)_M},$$

В этих формулах  $(F_V)_S$  – интенсивность флуоресценции во время сильного возбуждающего импульса, а  $(F_V)_M$  – интенсивность в промежутке между импульсами при действии постоянного света низкой интенсивности. Отметим, что флуоресценция регистрируется в РАМ-флуорометрах с помощью слабых измерительных импульсов с частотой 1.6Гц. До настоящего времени физический смысл величин  $q_Q$  и  $q_E$  остаётся неясным. Обычно принимается, что значение  $q_Q$  пропорционально квантовому выходу фотохимического преобразования энергии в фотосистеме II. В настоящее время неизвестны экспериментальные и теоретические подтверждения этого предположения.[1] Вычисление величины  $q_Q$  с помощью развитой ранее теоретической модели первичных процессов фотосинтеза [3] показало, что во время действия импульсов доля закрытых реакционных центров фотосистемы II изменяется. Это усложняет определение эффективности преобразования энергии в фотосистеме II

В данной работе, используя ранее предложенную модель [4], мы попытались оценить эффективность преобразования энергии в первичных процессах фотосистемы II и сравнить её с коэффициентом  $q_Q$ . Анализ полученных результатов показал, что использование величины фотохимического тушения для оценки эффективности преобразования энергии в фотосистеме II требует выяснения условий применимости вышеприведённых формул.

E-mail: [alex\\_msu\\_2@mail.ru](mailto:alex_msu_2@mail.ru)

## Литература

1. K. Maxwell, Giles N. Johnson J. Exp. (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide //Botany, Vol. 51, No. 345, pp. 659-668.
2. Schreiber U., Schliwa U., Bilger W. (1985) Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer // Photosynth. Res. 1986. V. 10. P. 51-62.
4. С. А. Кузнецова, А. К. Кукушкин, А. А Белов (2001) Теоретическое исследование импульсного метода анализа тушения флуоресценции фотосистемы II // Биофизика, , том 46, вып. 1, с. 141-145
5. Караваев В. А., Кукушкин А. К. (1993) Теоретическая модель световых и темновых процессов фотосинтеза: проблема регуляции // Биофизика. Т. 38. С. 958-975

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ АКВОРИНА И ОБЕЛИНА

Алиева Р.Р.

*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

Биолюминесценция - это частный случай хемилюминесценции, катализируемый биологическими катализаторами – ферментами люциферазами. Важной группой биолюминесцентных реакций являются кальций-регулируемые реакции. Фермент-субстратные комплексы этих реакций принято называть фотопротеинами. Кальций-регулируемые реакции перспективны в качестве флуоресцентных меток в медицинских и биологических исследованиях, в качестве внутриклеточных индикаторов ионов  $\text{Ca}^{2+}$ .

Целью работы было изучение спектральных характеристик биолюминесцентной реакции акворина, выделенного из медузы *Aequorea victoria*, и сравнение полученных данных со спектральными характеристиками ранее изученной биолюминесцентной реакции обелина, выделенного из гидроидного полипа *Obelia longissima*. Известно, что спектры биолюминесценции кишечнополосстных являются сложными, т. е. представляют собой суперпозицию нескольких спектров, каждый из которых можно соотнести с определенным излучателем со своей химической структурой. В ходе работы спектры биолюминесценции и фотолюминесценции продукта биолюминесцентной реакции акворина были разделены на отдельные спектральные составляющие, выделенные контуры были соотнесены различным формам целентирамида, в качестве эмиттеров.

В результате разделения спектра биолюминесценции акворина установлено, что данный спектр является суперпозицией трех излучателей, в то время как биолюминесценция обелина является суперпозицией четырех излучателей. Разделение спектра фотолюминесценции акворина показало, что данный спектр является суперпозицией двух излучателей, также как и спектр фотолюминесценции обелина. Положения максимумов соответствующих выделенных спектральных контуров (излучателей) близки, но вклады их различны.

Было проведено сопоставление спектральных составляющих биолюминесценции и фотолюминесценции акворина и обелина различным формам целентирамида. Контур I был приписан излучению неионизированной формы целентирамида. Контуры II, III, IV приписаны излучению ионизированных форм целентирамида, которые образуются в результате переноса протона от фенольной группы целентирамида к аминокислоте активного центра фотопротеина. Результаты наших исследований указывают на существование трех ионизированных форм, которые вероятно различаются своей кислотностью в электронно-возбужденном состоянии, т.е. эффективным положением

протона между фенольной группой и протонно-акцепторной группой аминокислотного окружения целентирамида.

Основываясь, на данных рентгенно-структурного анализа, различия в спектрах фотолюминесценции акворина и обелина могут быть объяснены различной протонно-донорной способностью аминокислотного окружения целентирамида в их активных центрах. Аминокислотные последовательности этих двух фотопротеинов гомологичны, состав и структура активных центров также сходна. Но в аминокислотном окружении целентирамида в акворине присутствует аминокислота тирозин, которая может являться дополнительным донором протона, по сравнению с обелином. Именно отсутствие дополнительного донора протона в активном центре обелина увеличивает кислотность фенольной группы целентирамида; в результате в спектре фотолюминесценции обелина присутствуют только ионизированные формы (нет перекрытия со спектром поглощения). В то же время дополнительный донор протона в акворине уменьшает кислотность фенольной группы, увеличивая вероятность испускания кванта света из протонированной формы.

E-mail: aliewa\_rosa@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЫСОКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ЛПЭ НА ПРОТЕКАНИЕ РЕАКЦИИ БЕЛОУСОВА-ЖАБОТИНСКОГО В КАПИЛЛЯРЕ.

Артамонов Д.Н.

НИИЯФ им. Д.В. Скobel'цына, МГУ, Москва, Россия

Как известно, явления, возникающие в ходе химических автоколебательных реакций, моделируют многие процессы самоорганизации, происходящие в живых системах. Они, по-видимому, являются существенной частью таких феноменов, как распространение мышечного сокращения, свёртывание крови, реакция гликолиза и т.д. Таким образом, подвергая внешнему воздействию гомогенную систему, в которой происходит химическая колебательная реакция, можно моделировать и в какой-то степени прогнозировать результат этого воздействия на биологические системы.

В настоящей работе рассматриваются особенности воздействия на реакцию Белоусова-Жаботинского (БЖ) [1] пучков заряженных частиц с высокими значениями линейной передачи энергии (ЛПЭ). Экспериментальные результаты сравниваются с модельными расчетами в рамках модифицированной модели радикалатора.

Наиболее часто используемые для описания реакции БЖ модели известны как орегонатор [2] и радикалатор [3]. Однако в данном случае эти модели недостаточны, т. к. не описывают взаимодействия реагирующих веществ с  $\cdot\text{OH}$  - радикалом, возникающим после начала облучения в результате радиолиза воды. Поэтому модель радикалатора была модифицирована включением следующих реакций [4]:  $\cdot\text{OH} + \text{BrMA} \rightarrow \text{BrMA}^\cdot + \text{Prod.}$ ,  $\text{BrMA}^\cdot + \text{BrO}_3^- \rightarrow \text{HBrO}_2 + \text{Prod.}$ .

Показано, что эта модель позволяет получить такую зависимость концентрации компонентов системы в реакции БЖ от времени, которая дает скорости и период спонтанных и инициированных под воздействием излучения волн в согласии с экспериментом. Эта модификация модели позволила также получить качественно правильные значения поглощенной дозы порога инициации волны и порога полного гашения волн. В данной модели также предсказывается полное гашение колебаний при больших дозах облучения.

Экспериментальные исследования воздействия на реакцию типа БЖ пучков альфа- частиц с энергией 30.5 МэВ выполнялись на 120-см циклотроне НИИЯФ МГУ. При облучении раствора наблюдалось образование ведущего центра реакции. Данная картина наблюдалась при дозах от 80 Гр до 60 кГр и слабо зависела от интенсивности пучка. Были исследованы зависимости скоростей распространения фронта волны от времени.

Т.о. предложена модифицированная модель радикалатора, описывающая автоколебания под воздействием ионизирующего излучения.

Автор выражает признательность д.т.н. Труханову К.А. за помощь в проведении экспериментов.

*E-mail: artdmitrii@mail.ru*

### Литература

1. Б.П.Белоусов, *Сборник рефератов по радиационной медицине*, 1958, 145.
2. R. J. Field, E. Korös and R. M. Noyes, *J. Am. Chem. Soc.*, 1972, **94**, 8649–8664.
3. Försterling H.D. and Noszticzius Z.J, *Phys. Chem.* 1989, **93**, 2740-274.
4. D. N. Artamonov, A. B. Priselkova, A. V. Spassky, and K. A. Trukhanov, *Proc. Summer School Nuclear Physics Methods in Biology and Medicine, Prague, Publ. AIP New York* 242-243 (2007).

## УВЕЛИЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРУПНЫХ ОБРАЗЦОВ МИЕЛИНИЗИРОВАННОЙ НЕРВНОЙ ТКАНИ

Герус М.А.\* , Ефимова О.И.\*\*

\*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

\*\*ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина, Москва, Россия

### Введение

Современные методы трехмерной визуализации молекулярных маркеров в крупных образцах нервной ткани (оптическая проекционная томография (Sharpe et al., *Science*, 2002), ультрамикроскопия (Dodt et al., *Nature*, 2007)) ограничены в выборе модельных объектов - эмбрионы на ранних стадиях развития, полупрозрачные животные. Нервная система взрослого млекопитающего оптически непроницаема из-за высокого содержания и структурных особенностей миелина в зрелом мозге. Целью исследования была оптимизация оптического просветления изолированных структур головного мозга взрослых мышей (гиппокамп, обонятельные луковицы, неокортекс и мозжечок).

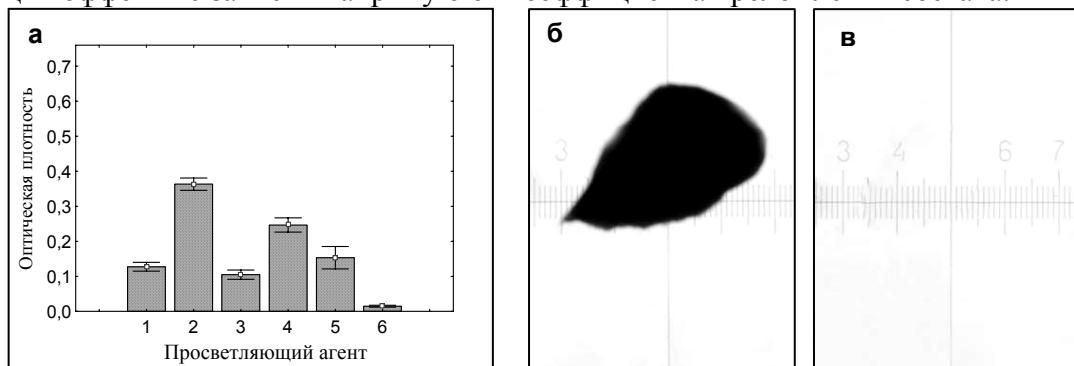
### Методы

В работе использовали лабораторных мышей-самцов линии C57Bl/6 в возрасте 3-6 месяцев. Оптическую плотность структур мозга после ряда физико-химических обработок регистрировали в проходящем свете на микроскопе Leica M420 с CCD камерой Nikon DXM1200 и анализировали в программе Image-Pro Plus. Использовали пропускающие агенты с разными коэффициентами преломления: 75% водный раствор дигидрофлуоресцеина (1.43), 1,3-пропандиол (1.44), 75% водный раствор иоталамата (1.44), глицерин (1.47), метил салицилат (1.53) и смесь бензил бензоат : бензиловый спирт 2 : 1 (1.55).

### Результаты

Разработанные протоколы позволили снизить оптическую плотность на 72-86%. Наименьшие показатели оптической плотности имели образцы, дегидратированные 2-

бутоксиэтанолом, обесцвеченные раствором Дента и просветленные в смеси бензил бензоат: бензиловый спирт либо в водном растворе иоталамата. Показано, что просветляющий эффект не зависит напрямую от коэффициента преломления состава.



**Рис.1.** Зависимость оптической плотности от просветляющего агента (а): 1–диатризоат, 2–1,3-пропандиол, 3–иоталамат, 4–глицерин, 5–метил салицилат, 6–бензилбензоат:бензиловый спирт; микрофотографии обонятельной луковицы: до (б) и после (в) просветления (шкала находится под образцом).

Распределение молекулярных мишеней в оптически просветленных препаратах можно анализировать с помощью световой, флюоресцентной и конфокальной микроскопии.

Работа выполнена при поддержке Министерства Образования и Науки Российской Федерации (госконтракт №02.522.11.2002) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант № 06-04-08353-*ofi*).

Авторы выражают благодарность за научное руководство зав. лаб. нейробиологии памяти ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина, д.м.н., проф. К.В.Анохину и зав.каф. биофизики физфака МГУ, д.ф-м.н., проф. В.А.Твердислову.

## НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ НАНОСИСТЕМЫ: ГИБРИДНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ НА ОСНОВЕ ЛИПИДОВ И АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Годзи М.Г.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет*

На сегодняшний день одной из наиболее важных задач, нанотехнологических исследований является разработка эффективных технологий капсулирования и управляемой доставки различных веществ в биологических и других системах. Решение этой задачи позволило бы создать принципиально новые методы, востребованные в медицине, химической промышленности, сельском хозяйстве и других областях человеческой деятельности. Так, например, одной из важнейших проблем современной медицины является проблема управляемой доставки лекарственных веществ в заданную область организма, которая может являться небольшой группой нескольких клеток. Совершенно очевидно, что подобная проблема может быть решена только эффективными и точными нанотехнологическими методами. В качестве примера не менее актуальной проблемы можно привести потребность сельского хозяйства в новой технологии управляемой доставки удобрений к растениям. В формулировке данной проблемы под управлением понимается возможность регулирования временного интервала, в течении которого концентрация доставляемых веществ в определенной области системы будет поддерживаться на необ-

ходимом уровне. Эти и аналогичные задачи обусловливают возрастающий интерес к исследованиям в области создания различного рода нано-контейнеров для капсулирования и управляемой доставки различных веществ и изучения их физико-химических свойств.

Многолетние исследования в этой области привели к идеи использования в качестве наноконтейнеров липосом. Такие нанокапсулы, обладая оболочкой из липидного бислоя, имеют прямое сходство с биологическими мембранными структурами, и это свойство делает их особенно привлекательными для использования в медицине и сельском хозяйстве. Возможность встраивать в липидную мембрану полимеры открывает широкие возможности для развития методов управления структурой мембраны, а также позволяет контролировать процессы взаимодействия липосом между собой и с компонентами окружающей среды.

В ходе нашей работы были получены новые гибридные молекулярные наносистемы - липосомы, мембранны которых состоят из липида фосфотидилхолина и амифильного поликатиона поли-4-винилпиридина с 29% цетилпиридиниевых групп. Исследования показали, что включение такого полимера в состав оболочек липосом заметно увеличивает их стабильность и изменяет их форму. Эти эффекты напрямую связаны с отношением числа молекул фосфотидилхолина и полимера, встроенного в липидный бислой. Изменяя это процентное соотношение можно изменять форму липосом, их устойчивость и, как следствие, время высвобождения веществ, заключенных внутри липосом. Эксперименты показали, что существует некоторое критическое процентное соотношение между числом молекул липидов и полимера, при котором формирование стабильных гибридных везикул невозможно. Для понимания причин этого явления были проведены исследования ленгмюровских монослоев и ленгмюровских пленок, состав которых имел то же самое стехиометрическое процентное соотношение липид/полимер. Анализ результатов этих экспериментов и результаты измерений методом атомно-силовой микроскопии позволили соотнести все важные для последующих применений гибридных липосом свойства с относительным содержанием в них поли-4-винилпиридина. Таким образом, в результате проведенных экспериментов нами обоснованы возможности создания метода получения новых везикул на основе липосом с улучшенными свойствами (стабильность), основанного на включении в состав липосом определенных количеств амифильного полимера.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, профессору Хомутову Г.Б.

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

## ДИССОЦИАТИВНОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА К $H_2PO_4^-$ С ВЫДЕЛЕНИЕМ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА: МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАСЧЁТ ЭНЕРГИЙ МЕТОДОМ DFT

Зубков А.С., Артюхов В.И.

*Институт биохимической физики РАН им. Н.М. Эмануэля, Москва, Россия.*

Перенос электрона – важный этап многих химических и биохимических реакций, так как образующиеся в данном процессе катионы и анионы являются гораздо лучшими окислителями и восстановителями, соответственно, нежели их нейтральные формы. Для выявления механизмов окислительно-восстановительных процессов, чрезвычайно важно установить их интермедиаты.

Нашей лабораторией в экспериментальных работах по изучению взаимодействия фосфата и низкоэнергетических (менее 4,5 $\text{eV}$ ) электронов различного происхождения

(фотоэджектированного электрона и электрона донорно-акцепторного переноса) были получены спектры ЭПР атома водорода, указывающие на диссоциативный захват электрона по схеме  $e^- + H_2PO_4^- \rightarrow [H_2PO_4^-]^\bullet \rightarrow H^\bullet + HPO_4^{2-}$ .

Исследование влияния  $pH$  на эти спектры показало, что вне зависимости от природы флюорофоров в присутствии ортофосфата атомы водорода наблюдаются преимущественно в слабокислой области  $pH$ , близкой к  $pK_\alpha$ , где сосредоточены моноанионы фосфата  $H_2PO_4^-$ . По-видимому, это обусловлено поляризацией связи  $O - H$  вблизи значений  $pK_\alpha$ . Действительно для оксикислот с  $pK_\alpha$  в кислой (серная кислота – 2,8 и 1,92) или щелочной (борная кислота – 9,24; 12,74; 13,8; дианион фосфата  $HPO_4^{2-}$  – 12,68) областях атом водорода обнаруживается преимущественно в этих диапазонах  $pH$ .

Нами были рассчитаны адиабатическое и вертикальное сродство к электрону моноаниона фосфата ( $H_2PO_4^-$ ). Также были найдены энергии реакций диссоциации с образованием протона или атомарного водорода для моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него. Адиабатическое сродство к электрону ( $AEA$ ) определялось как разница между полными энергиями моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него при соответствующих оптимизированных конформациях молекул –  $AEA = E_{neut} - E_{anion}$ . Вертикальное сродство к электрону ( $VEA$ ) определялось как энергия, необходимая для быстрого захвата электрона, то есть как разница между полными энергиями моноаниона фосфата, находящихся в конформации, соответствующей минимуму энергии молекулы  $H_2PO_4^-$ . Минимумы энергий молекул были рассчитаны методом DFT в программе Gaussian 03. Использовалось приближение B3LYP и базис aug-cc-VDZ.

Были получены следующие результаты: адиабатическое и вертикальное сродство к электрону оказались близки по значению и составили порядка  $-1\text{эВ}$ . Энергии диссоциации с образованием протона для моноаниона фосфата с избыточным электроном и без него также имели близкие значения около  $13\text{эВ}$ . Присоединение электрона к моноаниону фосфата понижает энергию диссоциации с образованием атомарного водорода с величины порядка  $4,7\text{эВ}$  для моноаниона фосфата до величины порядка  $0,4\text{эВ}$  для моноаниона фосфата с избыточным электроном.

Научные руководители – д.б.н. Неделина О.С., д.ф.-м.н. Чернозатонский Л.А.

*E-mail: aszubkov@gmail.com*

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОТОСИНТЕЗА В ДИАПАЗОНЕ ВРЕМЁН ОТ 10ПС ДО 100С

Киржанов Д.В.

*МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет*

Построена математическая модель фотосинтеза высших растений, позволяющая проводить совместное рассмотрение поглощения света, миграции энергии, «разделения» зарядов с последующим линейным и циклическим транспортом электронов, а также пентозофосфатного цикла. Такое рассмотрение затруднено вследствие существенного различия констант скоростей перечисленных процессов<sup>1</sup>. В соответствии с современным представлением об устройстве фотосинтетического аппарата, характерные времена самых быстрых процессов, происходящих в антенных комплексах фотосистем и реакционных центрах составляют величины порядка 1пс и менее<sup>3</sup>. Самые медленные процессы имеют место при переносе электронов между фотосистемами, переносе элек-

tronov на NADP, а так же в цикле Кальвина. Их характерные времена могут достигать величин порядка 0,1с.

Задача описания столь существенно различающихся по скоростям процессов решена путём использования двух систем уравнений. Первая система уравнений записана для элементарных реакций и пригодна для теоретического исследования как быстрых, так и медленных процессов. Вследствие использования в ней существенно различных констант скоростей реакций её использование затруднительно на временах более 1мкс. Для исследования более медленных процессов используется вторая система уравнений с малыми параметрами<sup>2</sup>, содержащая помимо дифференциальных и алгебраические уравнения. Введение малых параметров и алгебраических уравнений позволяет исключить из рассмотрения несколько дифференциальных уравнений и на 6 порядков увеличить шаг интегрирования.

Обе системы уравнений позволяют рассматривать одни и те же процессы, но происходящие на разных временах, что позволяет объединить их в единую модель.

В разработанной модели исследованы режимы, соответствующие кинетике индукции флуоресценции зелёного листа после темновой адаптации. Найдено соответствие между полученными режимами и некоторыми экспериментальными данными. В модели получена кинетика уменьшения интенсивности флуоресценции фотосистемы II после выключения света, состоящая из двух стадий: первая стадия длится около 10нс, вторая стадия длится порядка 2мс.

Автор выражает признательность профессору, д.ф.-м.н. А.К.Кукушкину за интересную тему работы и помочь в подготовке тезисов.

*e-mail* [kirzhanov@gmail.com](mailto:kirzhanov@gmail.com)

### Литература

- 1 Лебедева Г.В., Н.Е. Беляева, Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубин, О.В. Дёмин  
Кинетическая модель фотосистемы II высших растений. Физ. химия. 2000. Т.74, 10, с.1897-1906.
- 2 Караваев В. А., Кукушкин А. К. Теоретическая модель световых и темновых процессов фотосинтеза: проблема регуляции// Биофизика. – 1993. – т. 38 ?6. – С. 958-975.
- 3 Рубин А. Б., Крендлёва Т. Е. Регуляция первичных процессов фотосинтеза// Успехи биол. химии. – 2003. – т. 43. – С. 225-266

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКОМБИНАНТНЫХ БЕЛКОВ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ СИСТЕМЫ МЕДУЗЫ *CLYTIA GREGARIA*

Коростиева К.А., Франк Л.А.

*Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия*

Биолюминесцентная система медузы *Clytia gregaria* состоит из двух белков:  $\text{Ca}^{2+}$ -регулируемого фотопротеина клитина и зеленого флуоресцентного белка (GFP).

$\text{Ca}^{2+}$ -регулируемые фотопротеины – биолюминесцентные белки, ответственные за свечение многих морских кишечнополостных животных. Молекула фотопротеина представляет собой стабильный фермент-субстратный комплекс, состоящий из одно-субъединичного полипептида, субстрата целентеразина и кислорода. Последние образуют соединение 2-гидропероксицелентеразин, которыйочно, но нековалентно связан с белком. В присутствии ионов  $\text{Ca}^{2+}$  происходит внутримолекулярная реакция декарбоксилирования, продуктами которой являются  $\text{CO}_2$ , целентерамид и квант света  $\lambda_{\text{max}} = 475$  нм.

Молекула GFP имеет вид компактного бочонка с находящимся внутри хромофором. Масса клонированного из медузы *Clytia* GFP – 26,4 кДа (по сиквенсу), максимум флуоресценции  $\lambda_{\text{max}} = 510 \text{ нм}$  ( $\lambda_{\text{ex}}=350\text{нм}$ ).

В лаборатории фотобиологии Института биофизики СО РАН были клонированы гены клитина и GFP биолюминесцентной системы медузы *Clytia gregaria*. Целью данной работы являлось получение соответствующих рекомбинантных белков в высокочищенном виде, исследование их основных бioхимических и биофизических свойств, а также их взаимодействия. Рекомбинантные клетки *E.coli*, экспрессирующие соответствующие целевые белки культивировали и дезинтегрировали ультразвуком. Апо-клитин выделяли из телец включений, активировали целентеразином. Сфолдингованный во время экспрессии GFP – выделяли из фракции растворимых белков. По данным электрофореза по Лэммли, белки были выделены практически в индивидуальном состоянии.

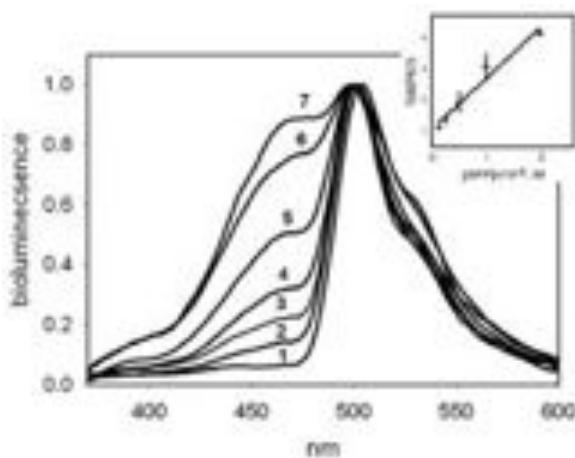
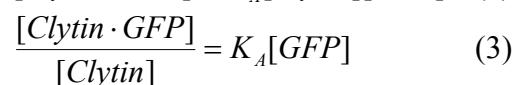
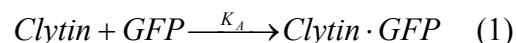


Рис.1. Нормированные спектры биолюминесценции смеси белков клитина и GFP при разных концентрациях:  $[\text{Clytin}] = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ М}$ ,  $[\text{GFP}]$ : 1 –  $1,97 \cdot 10^{-5} \text{ М}$ , 2 –  $3,94 \cdot 10^{-6} \text{ М}$ , 3 –  $1,97 \cdot 10^{-6} \text{ М}$ , 4 –  $9,825 \cdot 10^{-7} \text{ М}$ , 5 –  $4,963 \cdot 10^{-7} \text{ М}$ , 6 –  $2,46 \cdot 10^{-7} \text{ М}$ , 7 –  $1,23 \cdot 10^{-7} \text{ М}$ .

(2) и (3). Где отношение  $[\text{Clytin}\cdot\text{GFP}]/[\text{Clytin}]$  соответствует отношению интенсивности зеленой полосы биолюминесценции к синей  $I_{500}/I_{475}$ . Построив график зависимости  $I_{500}/I_{475}$  от концентрации GFP, определили константы ассоциации и диссоциации белок-белкового комплекса, как тангенс угла наклона и обратную величину:  $k_A(\text{GFP}) = 1.64 \cdot 10^{-6} \text{ М}^{-1}$  и  $k_D(\text{GFP}) = 6.09 \cdot 10^5 \text{ М}$ .

*E-mail:* kksua@rambler.ru



При запуске биолюминесцентной реакции клитина в присутствии GFP наблюдается, помимо сигнала в голубой области, появление сигнала в зеленой области (max 500 нм), интенсивность которого увеличивается при увеличении концентрации GFP. Эффект наблюдается в диапазоне

концентраций  $10^{-5}$ – $10^{-7}$  М, что позволяет объяснить наблюдаемое переизлучение наличием белок-белкового комплекса.

Взаимодействие белков можно описать простыми соотношениями (1),

## ВЛИЯНИЕ ОДНОВАЛЕНТНЫХ КАТИОНОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХИРАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Малык А.П., Жаворонков А.А.

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

Исследовано влияние катионов калия и натрия на квазиравновесные термодинамические характеристики – изотермы сжатия – монослоев рацематов и одного из энантиомеров фосфолипидов, а также на перераспределение (фракционирование) энантиомеров в неравновесном поверхностном слое раствора неионного детергента при образовании пены. Показано, что физико-химические параметры хиральных систем существенно зависят от типа катиона и от его концентрации. Полученные результаты позво-

ляют объяснить возникновение двух фундаментальных асимметрий в живой природе – ионной и хиральной – общими механизмами.

Получены изотермы сжатия монослоев фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина, образованных L-энантиомерами и рацемическими смесями этих липидов при различных концентрациях солей хлорида натрия и хлорида калия в водной фазе. При использовании рацемических смесей липидов увеличивается максимально достижимое давление монослоя во всех рассмотренных случаях, что указывает на большую пластичность монослоев рацематов по сравнению с монослоями чистых энантиомеров. В рацемической смеси фосфатидилэтаноламина при получении монослоев на чистой водной субфазе возникает новое фазовое состояние монослоя по сравнению с монослоем чистого энантиомера, что свидетельствует об изменении его структуры. В присутствии ионов натрия и калия в водной фазе в концентрации 0,1 М уменьшается влияние хиральности липидных молекул фосфатидилхолина на термодинамическое состояние и структуру монослоя. Ослабление влияния хиральности липидных молекул фосфатидилэтаноламина наблюдается при высоких (1 М) концентрациях солей. Оно сильнее выражено для ионов калия, чем для ионов натрия. В этих условиях также уменьшается стабильность монослоя фосфатидилэтаноламина. Добавление ионов калия, в отличие от ионов натрия, вызывает увеличение площади, приходящейся на молекулу в монослое фосфатидилэтаноламина. Поверхностное давления монослоев исследованных липидов на поверхности растворов, содержащих ионы калия, во всех рассмотренных случаях выше, чем давление на поверхности растворов, содержащих ионы натрия.

На неравновесной границе раздела «раствор-воздух» происходит перераспределение компонентов раствора, сопровождающееся фракционированием стереоизомеров лейцина, с преимущественным накоплением L-изомера аминокислоты в тонком поверхностном слое раствора. Фракционирование энантиомеров лейцина в тонком поверхностном слое зависит от солевого состава раствора: оно существенно выше в присутствии ионов калия, чем в присутствии ионов натрия. Максимальное фракционирование в обоих случаях наблюдается в области температур 26–27 °C, соответствующей разности температур между раствором и воздухом около 8 °C.

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОПОРАЦИИ БИОМЕМБРАН

Мартинович Милан

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

Электропорация или обратимый диэлектрический пробой клеточной мембраны – это образование временных проводящих гидрофильных пор в мембране под действием внешнего электрического импульса. В настоящее время электропорация применяется в трансгенной терапии *in vivo*; в электрохимиотерапии для доставки лекарств в ткань или орган; в ионтофорезе для подкожного введения лекарств; для трансфекции клеток; а также для слияния клеток. Принцип работы известных на сегодняшний день электропораторов основан на накоплении заряда на конденсаторе с последующим разрядом конденсатора через биологическую нагрузку (клетку, орган или ткань). Недостатком таких электропораторов является ограниченный выбор форм импульса (только прямоугольные и экспоненциальные). Для лучшего понимания процессов электропорации и для получения более эффективных форм импульсов, нами были проведены исследования электропорации клеток электрическими импульсами разной формы. Целью данной работы является изучение влияния формы и крутизны фронта электрических импульсов на эффективность электропорации.

Электропорация исследовалась на гигантских клетках зелёных водорослей *Chara Corallina* с использованием четырёхэлектродного метода фиксации потенциала (voltage-clamp). В качестве генератора импульсов программируемой формы был использован DPS генератор импульсов разработанный на кафедре биофизики, позволяющий генерировать импульсы с крутизной фронта 1 В/нс. Были использованы прямоугольный, экспоненциально-спадающий, экспоненциально-нарастающий, линейно-спадающий, линейно-нарастающий, синусоидально-спадающий, синусоидально-нарастающий, треугольный импульсы и комбинации прямоугольного, линейно-спадающего и линейно-нарастающего импульсов. Измерения делались только на тех клетках, у которых полностью восстанавливался трансмембранный ток после электропорационного импульса. Для каждого процесса электропорации вычислялся средний трансмембранный ток на фиксированном интервале времени и характерное время восстановления пор. Значения трансмембранных токов нормировались на диаметр клетки и на заряд импульса (в ходе работы показано, что ток через электропорационные поры пропорционален заряду импульса). Сравнения делались только для клеток с одинаковым потенциалом фиксации.

Обнаружено, что время жизни электропорационных пор и ток насыщения через поры зависят от соотношения длины импульса и времени диэлектрической релаксации мембранны. Для импульсов с длительностью меньше времени диэлектрической релаксации мембранны, время жизни электропорационных пор составляет 3 – 5 сек и ток насыщения 2,2 мА, а для импульсов с длительностью много больше времени диэлектрической релаксации мембранны время жизни пор составляет 0,7 – 1,5 сек и ток насыщения 0,8 мА.

По величине электропорационного тока определены и сопоставлены эффективности электропорации для разных форм электрических импульсов. Получены различные эффективности разных форм импульсов в зависимости от длительности импульсов:

1) В случае, когда длительность импульсов меньше времени диэлектрической релаксации мембранны, самым эффективным является импульс трапециевидной формы, у которого длительность линейно-нарастающей части больше длительности линейно-спадающей части. Нарастающие импульсы более эффективны, чем спадающие и треугольные, но менее эффективны, чем прямоугольные импульсы. Обнаружены характерные времена в районе 10 – 15 мкс с использованием биполярного и двойного прямоугольных импульсов.

2) В случае, когда длительность импульсов больше времени диэлектрической релаксации мембранны, самым эффективным является импульс биполярной прямоугольной формы. При времени задержки в биполярном импульсе больше характерной длительности 300 мкс, его эффективность становится меньше эффективности прямоугольного импульса. Спадающие импульсы более эффективны, чем нарастающие и треугольные, но менее эффективны, чем прямоугольные импульсы.

Полученные результаты позволяют оптимизировать протоколы электропорации, и указывают на необходимость различать протоколы с длинными (длительность импульсов больше времени диэлектрической релаксации мембранны) и короткими (длительность импульсов меньше времени диэлектрической релаксации мембранны) импульсами. Полученные характерные времена помогут лучше понять релаксационные процессы в клеточных мембранных. Используемые в работе формы импульсов не исчерпывают возможные формы, и в дальнейшем планируется исследовать другие формы импульсов.

E-mail: milanmart@gmail.com

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ С КОМПЛЕКСОМ БЕЛОК–ЛИПИД

<sup>\*</sup>Лось Е.В.<sup>1</sup>, Мельников А.Г.<sup>2</sup>, Кулик А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Саратовский гос. технический университет, Саратов, Россия*

<sup>2</sup>*Саратовский государственный университет, Саратов, Россия*

В работе исследованы взаимодействия известных канцерогенов – полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с комплексом белок–липид. В качестве липида нами был использован фосфатидилхолин. Нами получены спектры флуоресценции пирена, 1,2 бензантрацена и антрацена в сывороточном альбумине человека (САЧ), фосфатидилхолине и их смеси. Процессы взаимодействия ПАУ с белками и липидами изучались по изменениям вибронной структуры спектров флуоресценции ПАУ. Для характеристики изменений в микроокружении молекул люминесцентного зонда – пирена нами введен индекс полярности, который определялся по отношению интенсивностей первого ( $\lambda=373$  нм) к третьему ( $\lambda=383$  нм) максимуму в спектре флуоресценции пирена.

Нами обнаружено возрастание интенсивности флуоресценции люминесцентных зондов - ПАУ при увеличении содержания фосфатидилхолина в буферном растворе САЧ. Предположено, что это связано с образованием комплекса белок–фосфатидилхолин, в котором уменьшается содержание молекул воды в ближайшем микроокружении ПАУ. Возрастание интенсивности ПАУ можно объяснить тем, что в комплексе белок–фосфатидилхолин возможно уменьшение подвижности молекул ПАУ. При увеличении содержания фосфатидилхолина выше 1,8 мг/мл наблюдается уменьшение интенсивности ПАУ и индекса полярности пирена, что может быть связано с увеличением содержания молекул фосфатидилхолина в микроокружении пирена. Возможно также, что при увеличении содержания фосфатидилхолина образуются мицеллоподобные агрегаты из молекул фосфатидилхолина, в которых солюбилизируются молекулы пирена перешедшие из белков. Поскольку фосфатидилхолин является менее полярным, чем белки, индекс полярности пирена, в микроокружении которого находится фосфатидилхолин, уменьшается.

При добавлении САЧ в водный раствор фосфатидилхолина наблюдалось возрастание интенсивности флуоресценции ПАУ. Это можно объяснить уменьшением подвижности ПАУ в мицелле фосфатидилхолина, связанной с белками. Индекс полярности пирена практически не изменяется при увеличении САЧ в растворе фосфатидилхолина. Таким образом, в этих системах микроокружение молекул пирена не изменяется. Следовательно, ПАУ не выходят из мицелл фосфатидилхолина в глобулу белка.

Нами проведены исследования процессов тушения флуоресценции пирена в комплексе белок–фосфатидилхолин нитратом таллия. Установлено, что константа тушения уменьшается при добавлении фосфатидилхолина в буферный раствор САЧ. Показано, что это связано с изменением места локализации пирена.

Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 06-04-81006-Бел\_а).

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

---

\* Доклад отмечен жюри как лучший на подсекции.

## МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК ИЗ РАСТВОРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАКРОМОЛЕКУЛ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НА НИХ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Немова Е.Ф.

*Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

Для проведения экспериментов с биологическими объектами необходимо учитывать особенности исследуемых объектов: к ним не применимы химические методы, их нельзя подвергать трясле, нагревать, замораживать, прессовать, измельчать, потому что вследствие этих действий белок может денатурировать, разложиться, клетка -погибнуть и пр. Это затрудняет и значительно сужает круг применимых методов воздействия и регистрации изменений. Широко распространены неразрушающие методы - ИК и УФ спектроскопия, круговой дихроизм, флюoresцентные методы. Все они хорошо опробованы и успешно применяются для растворов, но терагерцовое излучение поглощается водой и не оказывает влияния на изучаемые объекты, что и было показано экспериментально. При исследовании же лиофилизированных препаратов существующие методы дают большую погрешность и низкую воспроизводимость от образца к образцу. Автором была опробована и отработана методика получения пленки из растворов биологических макромолекул, таких, как бычий сывороточный альбумин (БСА), дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Пленки получаются при высушивании раствора альбумина на кварцевой подложке в потоке воздуха при комнатной температуре. Концентрация раствора альбумина в первоначальном растворе 1 мг на 1 мл. Каплю раствора объемом 50 мкл наносят пипеткой на кварцевую подложку и распределяют кварцевым покровным стеклом по всей поверхности подложки. Высушивание происходит в течение 20-25 минут. Все дальнейшие исследования (спектроскопические, флюoresцентные) производятся с полученной пленкой, что позволяет уменьшить количество манипуляций с образцом, улучшить воспроизводимость спектров (при условии получения стабильной пленки), тем самым уменьшается количество параметров, за которыми необходимо следить во время эксперимента. Порошкообразные образцы нельзя встряхивать или переворачивать, нужно следить за температурой и влажностью, в то время как для переноса пленки существует лишь ограничение по силе нагрузки, чтобы не повредить кварцевую подложку. Выбор кристаллического кварца в качестве подложки был обусловлен тем, что необходим был материал, прозрачный и в терагерцовом, и в ИК, и в УФ диапазоне. В работе приведены сравнительные спектры для растворов, лиофилизированных препаратов и для пленок, облученных одним и тем же излучением (15мВт, 81,5мкм). Было показано, что макромолекулы после применения описанной методики сохраняют присущую им биологическую активность, а это дает основания считать предлагаемую методику неразрушающей и соответствующей неразрушающим методам дальнейшего исследования образцов.

1. Н.Д.Девятков, М.Б.Голант, О.В.Бецкий. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М. Радио и связь. 1991.
2. Труды международного симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине», 3-6 октября 1991. м.: ИРЭ АН СССР, 1991, ч.1, 2, 3.
3. В.В.Новиков, В.В.Кувичкин, Е.Е.Фесенко, Влияние слабых комбинированного постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на собственную флюoresценцию ряда белков в водных растворах. Биофизика, 1999, т. 44, вып. 2, с.224-230.
4. В.И.Федоров, С.С.Попова. Субмиллиметровый диапазон ЭМ волн и реакция на него биологических систем разных уровней организации. Биофизика, 2001, № 24.

E-mail: endy@nsu.ru

## ЛОКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПОЛИПЕТИДНЫХ ЦЕПЕЙ И РАЦЕМИЗАЦИЯ АСПАРТАТА В БЕЛКАХ

Поволоцкая И.С., Жаворонков А.А., Твердислов В.А.

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

В процессе рибосомального синтеза в природной клетке участвуют только L-аминокислоты, однако, с возрастом в клетках происходит увеличение концентрации D-аминокислот, входящих в состав белков. Накапливание D-аминокислот в процессе старения в определенных белках сопряжено с развитием некоторых возрастных патологий [1]. Наиболее подверженными рацемизации аминокислотными остатками являются аспарагин и аспарагиновая кислота (Asx). D-аспарагиновая кислота накапливается в организме как при непосредственном переходе L-аспартата в D-форму, так и в результате потери L-аспарагином аминогруппы. Оба эти процесса происходят через формирование сукцинимид-посредника [2]. Скорость рацемизации Asx зависит от окружающих аминокислотных остатков в первичной структуре [3–4], от положения Asx во вторичной структуре [5], от пространственного положения, опосредованного третичной структурой. Так, во многих случаях образование сукцинимида происходит на терминальных концах белков, в открытых регионах на поверхности белков, а также на изгибах белковых цепей [6].

В настоящей работе мы провели сравнительный анализ частот встречаемости аминокислот в соседних с Asx позициях трипептидов и пентапептидов аминокислотных последовательностей белков, в которых остатки Asx подвержены рацемизации, и этих же частот встречаемости в белках, в которых рацемизация Asx не наблюдается, в соответствие с положением Asx во вторичной структуре белка, а также без учета положения во вторичной структуре.

Анализ показал, что свойства белков, в которых остатки Asx подвержены рацемизации, несколько отличаются от свойств белков, в которых рацемизация Asx не наблюдается: частота встречаемости глицина в соседних с Asx позициях в первичной структуре белков, в которых наблюдается рацемизация Asx, выше относительно всего пула исследуемых белков, а также в некоторых белках, области, подверженные рацемизации несут отрицательный заряд. Помимо этого, частоты встречаемости аминокислот в соседних с Asx позициях и, как следствие, скорость рацемизации Asx, зависят от вторичной структуры белка, и, таким образом, уменьшение вероятности рацемизации Asx, располагающегося в  $\alpha$ -спиралях и  $\beta$ -листах опосредовано не только конфигурацией этих структур, но и аминокислотной последовательностью.

Подобный анализ осуществлен впервые: ранее проводились исследования только на искусственно синтезированных пептидах, а также исследования свойств отдельных подверженных рацемизации белков. Мы обозначили некоторый круг закономерностей, справедливых для белков, в которых наблюдается рацемизация, что позволяет в дальнейшем попытаться предсказать, какие белки и какие участки этих белков в наибольшей степени подвержены рацемизации.

*E-mail: ipovolotskaya@mail.ru*

### Литература

- 1) Твердислов В. А., Яковенко Л. В., Дмитриев А. В. и др. Происхождение предшественников живой клетки. О двух фундаментальных асимметриях – ионной и хиральной. М., 2007.
- 2) McCudden C.R., Kraus V.B. // Clinical Biochemistry. 2006. **39**. P. 1112.
- 3) Capasso S. // J. Peptide Res. 2000. **55**. P. 224.
- 4) Robinson N.E., Robinson Z.W., Robinson B.R. et al. // J. Peptide Res. 2004. **63**. P. 426.
- 5) Kuge K., Brack A., Fujii N. // Chemistry. 2007. 13, N 19. P. 5617.
- 6) Ritz-Timme S., Collins M.J. // Ageing Research Reviews. 2002. 1. P. 43.

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ГЕОМЕТРИИ СИСТЕМЫ НА НЕЛИНЕЙНУЮ ДИНАМИКУ МАЛОЙ ОДНОРОДНО НАМАГНИЧЕННОЙ МИКРОГРАНУЛЫ В РАБОТЕ БИОЧИПА

Вагин Д.В., Поляков О.П.

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

Исследование ансамблей магнитных частиц малых размеров входит в число важнейших направлений современной физики. Это связано с бурным развитием нанотехнологий, позволяющих конструировать буквально из отдельных атомов малые частицы (субмикронных и наноразмеров) с заданными свойствами [1,2]. Перспективным применением магнитных микрочастиц является их использование в качестве гранул в работе биочипов [3,4]. Принципы действия биосенсора подробно описаны в [4]. Разработан метод, при котором магнитные гранулы используются для обнаружения и характеристики одновременно многих индивидуальных биомолекулярных взаимодействий. Подобно соединению подложки и наконечника в атомном силовом микроскопе, в данном методе молекула ДНК (или антиген) соединяет подложку и магнитную гранулу. Позволяя водной суспензии расположить образованные магнитные гранулы на подложке, среди тысяч гранул часть из них связывается с подложкой с каждой единственной молекулой. Тогда внешний магнит, воздействуя на все гранулы, удаляет несвязанные, а число тех, которые остаются на подложке, измеряется оптическим или магнитным способом. Таким образом, применение управляемых магнитных сил позволяет удалять гранулы с подложки. Если случайная адгезия минимизирована очисткой поверхности, приложенная на гранулу сила  $\sim 1$  пН за 5-10 с удаляет  $99 \pm 1\%$  несвязанных гранул с подложки в отсутствие антител или комплементарной последовательности ДНК. Этот уровень силы не нарушается гранулами, связанными через межмолекулярные исследуемые соединения. Таким образом, нам необходимо обеспечить должный отклик магнитных микрограмул на возмущение внешнего поля.

В данной работе исследовались особенности нелинейной динамики однородно намагниченной малой частицы в зависимости от ее формы и геометрии системы в рамках классической теории микромагнетизма Ландау-Лифшица-Гильберта [1]. Рассматривалась частица произвольной формы при наличии в ней одноосной магнитной анизотропии, находящейся под воздействием внешнего магнитного поля, имеющего как переменную, так и постоянную составляющие. Направим декартовы оси координат вдоль главных осей тензора размагничивающих коэффициентов исследуемой частицы, и рассмотрим случай, когда ось легкого намагничивания (ОЛН) магнитной анизотропии лежит в плоскости ( $zOy$ ) и составляет угол  $\psi$  с координатной осью  $Oz$ . Пусть переменная составляющая магнитного поля изменяется по синусоидальному закону вдоль оси  $Oz$ , а постоянная составляющая направлена перпендикулярно (вдоль оси  $Oy$ ). Ограниченнные размеры частиц приводят к возникновению дополнительного слагаемого в магнитной энергии, которая в случае однородно намагниченной частицы выражается через размагничивающие коэффициенты:  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  [1,6]. Для сферических координат  $\Theta$  и  $\varphi$  вектора намагниченности  $\vec{M}$  можно получить систему дифференциальных уравнений (1). Анализ системы уравнений (1) показал, что при определенных значениях управляемых параметров и начальных условий решение уравнений на фазовой плоскости стремится к регулярной динамической структуре, определяющей некоторое магнитное упорядочение. При изменении управляемых параметров это упорядочение может либо разрушиться и образовать иную устойчивую структуру, либо привести к хаотизации системы. Используя терминологию синергетики, можно сказать, что при определенных значениях управляемых параметров эволюция системы в фазовом пространстве стремится к некоторой предельной замкнутой траектории (аттрактору). При изменении

управляющих параметров может произойти бифуркация от одного типа аттрактора к другому или к хаотическому движению, когда динамическая траектория будет проходить случайным образом по некоторой области фазового пространства. Важную роль в установлении таких режимов играют размагничивающие поля, обусловленные геометрией системы. Динамика вектора намагниченности в системах несферической формы имеет целый ряд существенных особенностей, приводящих к новым нелинейным эффектам.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Theta}{d\tau} = p_y \cos\varphi + \alpha p_K (\sin\psi \cos\Theta \sin\varphi - \sin\Theta \cos\psi) (\sin\psi \sin\Theta \sin\varphi + \cos\Theta \cos\psi) + \\ + p_K \sin\psi \cos\varphi (\sin\psi \sin\Theta \sin\varphi + \cos\Theta \cos\psi) + \alpha p_y \cos\Theta \sin\varphi - \alpha p_z \sin\tau \sin\Theta - \\ - p_m ((N_y - N_x) \sin\Theta \sin(2\varphi) + \alpha \sin\Theta \cos\Theta \{3(N_y + N_x) - 2 + (N_x - N_y) \cos(2\varphi)\}) \\ \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{1}{\sin\Theta} (p_z \sin\tau \sin\Theta - p_y \sin\varphi \cos\Theta + \alpha p_K \sin\psi \cos\varphi (\sin\psi \sin\Theta \sin\varphi + \cos\Theta \cos\psi) - \\ - p_K (\sin\psi \cos\Theta \sin\varphi - \sin\Theta \cos\psi) (\sin\psi \sin\Theta \sin\varphi + \cos\Theta \cos\psi) + \alpha p_y \cos\varphi - \\ - p_m (\alpha (N_y - N_x) \sin\Theta \sin(2\varphi) + \sin\Theta \cos\Theta \{3(N_y + N_x) - 2 + (N_x - N_y) \cos(2\varphi)\})) \end{array} \right. . \quad (1)$$

Результаты работы полностью согласуются с ранее установленными в случае формы образца близкой к сферической. Однако, показано, что пренебрежение влиянием размагничивающих полей приводит к ошибочным результатам предсказания динамики системы. Установлено, что в зависимости от геометрии может преобладать как детерминированная динамика, так и хаотическая, причём, переход между различными её режимами может быть осуществлен путём изменения конфигурации системы. Выявлены области хаотических режимов и показано, что наблюдается установление хаоса через перемежаемость. Исследованы предельные случаи поведения системы (большие значения намагниченности) и показано, что в зависимости от формы образца может возникать или не возникать нелинейная динамическая поляризация. Необходимо отметить также, что в данной работе представлен принципиально новый способ управления хаотической динамикой вектора намагниченности с помощью изменения конфигурации системы и формы самого образца. В том числе обнаружены такие конфигурации, при которых происходит полное подавление хаоса в системе. Представленные результаты могут послужить базисом для быстрого и правильного произведения расчётов динамики вектора намагниченности в системах сложной конфигурации.

*E-mail: vagin@gen5521.phys.msu.ru*

### Литература

1. Вагин Д.В., Поляков О.П. Особенности нелинейной динамики однородно намагниченной малой частицы с учётом её формы // Нелинейный мир. — 2007. — Т.5. №10-11. — С. 369-374.
2. Звездин А.К. Магнитные молекулы и квантовая механика//Природа. 2000. №12.
3. Miller M.M., Prinz G.A., Cheng S.F., Bouannar S. Detection of a micron-sized magnetic sphere using a ring-shaped anisotropic magnetoresistance-based sensor: A model for a magnetoresistance-based biosensor //Appl. Phys. Lett.2002.V.81.N.12.P.221–223.
4. Н.П. Васильева, М.А. Владимирский, С.И. Касаткин Магниторезистивный биосенсор для обнаружения болезнетворных агентов //Датчики и системы.2002.
5. Giorgio Bertotti, Claudio Serpico, Isaak D. Mayergoyz Nonlinear magnetization dynamic under circulary polarized field.// Phys. Rev. Lett. 2001. V.86. №4. p. 724-727.
6. Вагин Д. В., Поляков О.П. Влияние формы образца на особенности нелинейной динамики вектора намагниченности во внешнем магнитном поле. // Сборник статей по материалам Международной конференции «Радиолокация и связь» (9-11 ноября 2007 г., Фирсановка, Московская обл.). — М.: изд-во МЭИ, 2007. — С. 134-147.

## ДЕТОКСИКАЦИЯ ФЕНОЛОВ ГУМИНОВЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ. БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МОНИТОРИНГ

Тарасова А.С.

*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

В последние годы рост загрязнения окружающей среды ставит перед учеными задачу поиска новых способов детоксикации вредных соединений. Одним из способов снижения токсичности поллютантов является применение гуминовых веществ (ГВ) – продуктов разложения органической массы в почве. В природных условиях детоксикация ГВ-ами происходит в присутствии света видимого и УФ диапазонов, поэтому изучение фотоиндуцированной детоксикации поллютантов в присутствии и отсутствии ГВ является актуальным.

В настоящее время для экологического мониторинга природных водоемов широко используются биолюминесцентные системы, основанные на использовании свечящихся бактерий или выделенных из них ферментативных систем. Принцип их использования основан на корреляции между интенсивностью биолюминесценции и токсичностью среды. Один из механизмов действия поллютантов на биологические системы - влияние на редокс процессы.

Фенольные соединения среди компонентов сточных вод занимают одно из первых мест по распространению и вредному воздействию. Продукты их окисления – хиноны - гораздо более токсичны, чем соответствующие фенолы (дигидробензолы).

Целью работы являлось изучение эффективности детоксикации растворов гомологичных органических восстановителей ГВ-ами, УФ-облучением и комбинаций этих факторов с использованием тестовой биолюминесцентной ферментативной системы. Изменение состава раствора при УФ-облучении регистрировали с помощью спектров поглощения. В качестве органических восстановителей выбраны гомологичный ряд 1,4-фенолов. Проводили сравнения с результатами детоксикации соответствующих 1,4-хинонов (Fedorova et al., 2007). Соединения и соответствующие им стандартные редокспотенциалы пары хинон-фенол ( $E^0$ ) перечислены в таблице:

Коэффициент детоксикации (K)				$E^0$ , В
Хиноны (Fedorova et al., 2007)		Фенолы		
2,3,5,6-тетрафтор-1,4-бензохинон	1,7	1,4-дигидрокси-2,3,5,6-тетрафторбензол	1,0	0,8
1,4-бензохинон	1,4	1,4-гидроксибензол	1,2	0,7
1,4-нафтохинон	1,0	1,4-гидроксифталин	2,1	0,5

Рассчитывали коэффициенты детоксикации (K) при воздействии на растворы фенолов ГВ, УФ-облучения или их комбинированного действия. Из таблицы видно, что как в ряду фенолов, так и в ряду хинонов величины K связаны с  $E^0$ . Это указывает на то, что ГВ характеризуются как восстановительной (антиоксидантной), так и окислительной активностью в растворах органических окислителей и восстановителей соответственно.

Воздействие на растворы хинонов и фенолов УФ-облучения и комбинированного действия ГВ и УФ-облучения показало: (а) при УФ-облучении наблюдалась детоксикация растворов фенолов (величины K больше единицы). Спектры поглощения до и после облучения подтверждают количественное изменение состава растворов; (б) комбинированное действие двух факторов (УФ-облучения и обработки ГВ-ами) на растворы фенолов не показало однозначного результата: для различных фенолов получены

величины К как больше, так и меньше единицы, что указывает на различные эффекты – как детоксикацию, так и увеличение токсичности растворов. Такой результат связан со сложностью процессов фотоиндуцированного воздействия на растворы фенолов в присутствии ГВ.

*E-mail: as421@yandex.ru*

## МОНОСЛОЙНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДНК С АМФИФИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ И НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

Черничко Д.И.<sup>1</sup>, Хомутов Г.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Общей и Неорганической Химии РАН, Москва, Россия;

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Получение и исследование организованных наноструктур, включающих биологические и синтетические нано-компоненты, актуально для выяснения фундаментальных структурно-функциональных взаимосвязей наnano-уровне в биологических системах и важно для био-медицинских применений [1]. В данном сообщении представлены результаты работ по получению и характеризации новых организованных наноструктур на основе монослойных комплексов ДНК.

Нами исследованы процессы формирования наночастиц оксида железа в комплексах ДНК в реакциях с участием реагентов только биологической природы (ферритина в качестве источника ионов железа, аскорбиновой кислоты в качестве восстановителя) в водной фазе нормальных условиях. Иммобилизацию молекул ДНК на поверхности подложек проводили путем связывания нативных молекул ДНК с ленгмюровским монослоем водонерастворимого амфифильного инеркалятора N,N'-диоктадецилоксакарбоцианин-4-толилсульфонат на поверхности водного раствора ДНК и последующего переноса монослоя на подложку методом Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) [2]. Иммобилизованные комплексы ДНК/инеркалятора инкубировались в водном растворе ферритина, а затем, после промывки в чистой воде, помещались в раствор восстановителя (аскорбиновой кислоты). В результате образовывались неорганические наночастицы, представленные на рис.1 и характеризующиеся широкой дисперсией их размеров (результаты численного анализа распределения наночастиц по размерам указывают на вариации размера от 1 до 15 нм) и выраженной кристаллической структурой. Картина электронной дифракции, измеренная на полученных образцах характерна для поликристаллической структуры наночастиц магнетита и указывает на высокую степень кристалличности синтезированных частиц в отличие от молекул ферритина. На рис.1 видны организованные квазилинейные цепочечные структуры небольших (~2 нм) наночастиц, которые могут являться результатом связывания наночастиц магнетита с линейными молекулами ДНК. Полученные результаты демонстрируют возможности синтеза организованных наноструктур на основе

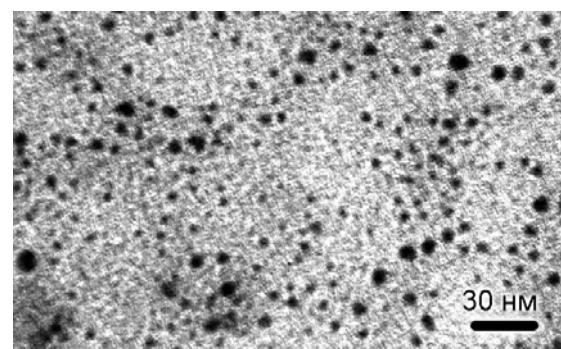


Рисунок 1: Наночастицы оксида железа. Синтезированы инкубацией в растворе ферритина монослойных комплексов с ДНК с последующим восстановлением в аскорбиновой кислоте.

комплексов ДНК и могут иметь непосредственное отношение к процессам биоминерализации и метаболизма железа в живых системах.

*E-mail: c.d.i.science@mail.ru (Черничко Д.И.)*

*E-mail: gbk@phys.msu.ru (Хомутов Г.Б.)*

### Литература

1. Giersig M., Khomutov G.B., (Editors.), Nanomaterials for application in medicine and biology, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2008, 188p.
2. Khomutov G.B., Interfacially formed organized planar inorganic, polymeric and composite nanostructures, Adv. Colloid Interface Sci., 2004, v.111, p.79-116.

## К ТЕОРИИ ХАОТИЧЕСКИХ РЭТЧЕТОВ

\*\* Янакидис Х.В.

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

В последние несколько лет заметно вырос интерес к классу физических моделей называемых рэтчетами [1] (в переводе с английского рэтчет (ratchet) – храповик). Внимание к этим моделям изначально было вызвано тем, что уравнение рэтчeta в простейшем приближении может описывать движение линейных молекулярных моторов [2]. Существуют и другие физические объекты, описание которых с помощью моделей рэтчетов является эффективным (например, холодные атомы в оптических решетках [3]).

В современной литературе рэтчеты описываются, в основном, моделями с уравнением движения

$$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} = f(x) + F(t), \quad (1)$$

которые описывают одномерное движение частицы массы  $m$  в поле статической потенциальной силы

$$f(x) = -\frac{dU(x)}{dx}, \quad (2)$$

создаваемой периодическим по координате с периодом  $a$  потенциалом  $\{$ при всех  $x$   $U(x+a)=U(x)\}$  и однородной по пространству переменной силы  $F(t)$ . Главной особенностью этих моделей является то, что под воздействием внешней силы  $F(t)$ , среднее значение которой за период равно  $\overline{F(t)}=0$ , у модели возникает выделенное направление движения. То есть частица, описываемая уравнением движения (1), движется в среднем одноравлено. В зависимости от вида  $f(x)$ ,  $F(t)$  и величины  $\gamma$  рэтчеты разделяют на различные виды.

Объектом исследований служила модель рэтчeta с  $U(x) = -(\sin(x) + \mu \sin(2x))$  и внешним регулярным воздействием  $F(t) = A \sin \omega t$  [4-5]. Нас интересовала область хаотического движения рэтчeta. В ходе компьютерных расчетов было обнаружено явление инверсии скорости дрейфа – изменение знака средней скорости постоянного движения – в хаотической области, а также исследован механизм лежащий в основе этого явления. Показано, что малая величина, а равно и перемена знака скорости дрейфа связаны с тонким балансом положительного и отрицательного перемещений за один период поля, определяемым деталями структуры странного аттрактора.

---

\*\* Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

Автор выражает глубокую признательность П. В. Елютину за помощь и руководство в подготовке этой работы.

*E-mail: harris@list.ru*

#### **Литература**

1. Magnasco M. O. (1993) Forced thermal ratchets. *Phys. Rev. Lett.* **71**, p. 1477-1481.
2. Astumian R. D. and Bier M. (1994) Fluctuation driven ratchets: Molecular motors. *Phys. Rev. Lett.* **72**, p. 1766-1769.
3. Monteiro T. S., Dando P. A., Hutchings N. A. C., and Isherwood M. R. (2002) Proposal for a Chaotic Ratchet Using Cold Atoms in Optical Lattices. *Phys. Rev. Lett.* **89**, 194102 [4 pages].
4. Mateos J. L. (2000) Chaotic Transport and Current Reversal in Deterministic Ratchets. *Phys. Rev. Lett.* **84**, p. 258-261.
5. Barbi M. and Salerno M. (2000) Phase locking effect and current reversals in deterministic underdamped ratchets. *Phys. Rev. E* **62**, p. 1988 - 1994

**ГЕОФИЗИКА**

**Председатель подсекции  
проф. Носов Михаил Александрович**

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТА ДЛИННЫХ ВОЛН**

Бернацкий А.В.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

При распространении волны цунами в открытом океане амплитуда её много меньше глубины, что обеспечивает возможность применения линейной теории. Однако при применении решений таких задач к моделированию реальных природных волн возникают существенные трудности, связанные с постановкой граничных условий вблизи береговой линии. В прибрежной области амплитуда волн соизмерима с глубиной бассейна, что делает линейную теорию неприменимой. Дополнительные сложности создаёт подвижность линии уреза воды. Разрешение связанных с этим затруднений суть решение проблемы наката длинных волн на берег. Анализу проблемы наката цунами на берег посвящено довольно много публикаций, однако от разрешения она ещё довольно далека.

В рамках данной работы создана численная модель, предназначенная для проведения исследований проблемы наката, направленных на создание граничных условий для моделей распространения, использующих конечно-разностные схемы. Модель построена на основе одномерных нелинейных уравнений мелкой воды. Динамическое уравнение дополнено членом, учитывающим донное трение. Уравнения решаются на сетке с постоянным шагом по пространству в вычислительной области с переменным числом узлов. На границе области, обращённой к морю, ставятся условия свободного прохода. На линии уреза воды используются граничные условия, получаемые непосредственно из законов сохранения массы и импульса. В расчетах используется явная конечно-разностная схема, в результате чего для обеспечения устойчивости схемы в динамическое уравнение оказывается необходимым ввести искусственную вязкость. Значение коэффициента искусственной вязкости выбирается таким, чтобы ее влияние на основной динамический процесс было пренебрежимо малым. Результаты численных расчетов сопоставляются с данными известных лабораторных экспериментов и с аналитическими решениями.

Тезисы доклады основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта РФФИ № 07-05-00414.

Автор выражает признательность профессору, д.ф.м.н. Носову М.А. за помощь в подготовке тезисов.

[dfgtopol@rambler.ru](mailto:dfgtopol@rambler.ru)

**Литература:**

1. Carrier G.F., Greenspan H.P. (1958), Water waves of finite amplitude on a sloping beach. J.Fluid Mech. V. 4. P. 97 – 109
2. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. М.: «Янус-К», 2005. 360 с.
3. Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. ИПФ РАН. Нижний Новгород, 1996. 276 с.

4. Федотова З.И., Чубаров Л.Б. Численное моделирование наката цунами. Proceedings of International Conference RDAMM-2001, Vol. 6, Pt. 2, Special Issue

## ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ И СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Волочай М.А.

*Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия*

Частота ураганов непостоянна, их активность то затухает, то повышается. Как и другие погодные явления, ураганы могут инициироваться Солнцем. Известен 11-летний цикл, характеризуемый числом темных пятен на диске Солнца (числа Вольфа W) и показывающий изменение солнечной активности во времени.

Мы выявили зависимость ураганов в Северной Атлантике от солнечной активности, что можно увидеть, сравнивая временные последовательности ураганов и среднегодовые числа Вольфа W (рис. 1), воспроизведенные по архивным данным (1611 – 1850), отдельным наблюдениям (1750 – 1850) и непрерывному мониторингу Солнца (1850 – 2000) [1, 2].

Там, где амплитуда циклов W была больше, возрастил и темп ураганов. Среднегодовые числа главных ураганов прошлого века составляли:  $n = 1,4 \pm 0,3$  (1900 – 1925);  $n = 2,7 \pm 0,3$  (1930 – 1965);  $n = 1,6 \pm 0,3$  (1970 – 1990). Максимальные амплитуды чисел Вольфа для тех же временных дат были  $W_{max} = 105, 201$  и  $164$  – корреляция видна, хотя из-за статистических ошибок не очень значима.

Лучшая корреляция солнечной активности и числа ураганов наблюдается при сдвиге последовательности ураганов примерно на 20 лет. «Холодные» земные процессы как бы запаздывают относительно «горячих» солнечных. То, что солнечная активность ответственна за изменение темпа ураганов, отчетливо видно по одновременному возрастанию темпа ураганов и их числа в последнее десятилетие (1996 – 2005) по сравнению с предыдущими циклами.

По анализу собранных нами данных об амплитуде циклов чисел Вольфа – W и количеству возникших тропических циклонов за 30-летний период в Атлантике была выявлена между ними следующая зависимость, представленная на графике[3]:



График 1 – Зависимость количества возникших тропических циклонов от максимальных значений чисел Вольфа

**Литература**

1. Витинский Ю.И. Прогноз главных параметров 23-го цикла солнечных пятен. //Солнечные данные. Статьи и сообщения 1995-1996. – СПб., 1997;
2. Analysis Archive – [http://www.jma.go.jp/JMA\\_Home/jma/jma-eng/jma\\_center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html](http://www.jma.go.jp/JMA_Home/jma/jma-eng/jma_center/rsmc-hp-pub-eg/trackarchives.html);
3. <http://www.meteoinfo.ru/news/19>.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР МОДЕЛЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Дмитриева А.В.

*Ульяновский государственный университет, филиал в г. Димитровграде*

На данный момент времени существует несколько моделей, описывающих магнитосферу Земли. Все эти модели носят полуэмпирический характер и основаны на данных наблюдений за магнитным полем Земли, полученных как искусственными спутниками Земли, так и наземными обсерваториями. Очевидно, что самая полная модель магнитосферы Земли должна включать в себя составляющие, учитывающие генерацию магнитного поля различными источниками: внутриземными источниками (электрические токи внутри и на поверхности Земли), поле магнитосферных токов, внешнее межпланетное магнитное поле. Учесть все эти слагаемые в рамках одной модели оказывается достаточно сложным, в связи с чем был проведен анализ существующих моделей и их сравнение.

В России действуют ГОСТы по расчету индукции магнитного поля в магнитосфере Земли: ГОСТ 25645.126–85 представляет собой модель магнитного поля внутриземных источников (учитываются только токи в ядре Земли), ГОСТ 25645.127–85 представляет собой модель магнитосферных токов, и отражает сжатие магнитосферы из-за взаимодействия с солнечным ветром.

World Magnetic Model (WMM2005) – фактически является аналогом ГОСТ 25645.126–85, только разложение по сферическим гармоникам в ней выполнено до 12 порядка. Существующие расширения модели: Enhanced Magnetic Model (EMM) и Potsdam Magnetic Model of the Earth (POMME4) фактически только уточняют порядок разложения по сферическим гармоникам до 720 порядка. Модель EMM учитывает уже скорость изменения амплитуд гармоник до 16 порядка, а модель POMME4 помимо скорости учитывает еще и ускорения для амплитуд гармоник. Очевидно, что область применимости данных моделей – только околоземное пространство (до 1000 км. над поверхностью Земли), т.к. они не учитывают влияния токов в магнитосфере.

Влияние магнитосферных токов на магнитосферу Земли учитывают ГОСТ 25645.127–85 и модели Цыганенко (T96, T02). Данные модели основаны на эмпирических данных и фактически представляют собой функции, аппроксимирующие значения компонент магнитного поля в солнечно-магнитосферных координатах.

Данная работа посвящена сравнительному анализу указанных моделей.

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

**Литература**

1. Магнитосфера Земли. Модель магнитного поля магнитосферных токов. ГОСТ 25645.127-85.
2. Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников. ГОСТ 25645.126-85
3. N. A. Tsyganenko. A model of the near magnetosphere with a dawn-dusk asymmetry JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, 2002, VOL. 107, № A8,

4. The World Magnetic Model //www.ngdc.noaa.gov/seg/WMM/DoDWMM.shtml. 20.12.2008.
5. POMME 4, Potsdam Magnetic Model of the Earth. //geomag.org/models/pomme4.html. 20.12.2008.
6. Прист Э., Форбс Т. Магнитное пересоединение: магнитогидродинамическая теория и приложения / Пер. с англ. под ред. В.Д.Кузнецова, А.Г.Франк. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005, 592 с.

## ЭВОЛЮЦИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ТЕЧЕНИЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ВЕТРОМ

Долгополов Ю. М.

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

В динамике стратифицированных водоёмов важную роль играют течения, вызванные влиянием ветра. Эти течения относятся к классу стратифицированных потоков, устойчивость и во многом динамика которых определяются разностью плотностей вод в толще течения и в окружающей его водной среде. Потоки такого типа при скорости ветра до 11 м/с исследовались с участием автора в Петрозаводской губе Онежского озера в сентябре 2007 года. В данной работе представлены выявленные закономерности эволюции структур течений и переноса примесей.

Анализируются результаты суточной серии зондирований на линии максимальных глубин Петрозаводской губы перед выходом из неё в открытое озеро (глубина места – 26 м). Профили скорости течения по всей глубине регистрировались через каждые 10 мин с дискретностью по вертикали 0.5 – 1 м при одновременной регистрации с той же частотой температуры, электропроводности, мутности и удельного содержания растворенного кислорода на высоте 1м над уровнем дна допплеровским профилографом RDCP600. Профилограф работал в режиме донной постановки на автономной буйковой станции. Параллельно измерялись профили тех же параметров зондами RCM 9 LW, CTD90M, кондуктометром и оксиметром «Эксперт» и отдельным прозрачномером.

Структура течений определялась в основном сильными дрейфовыми потоками, обусловленными ветром со стороны открытого озера. Практически постоянно наблюдались максимумы скорости течения в приповерхностном и придонном слоях. По итогам проведенного анализа наиболее вероятный механизм появления такой структуры течения связан со следующим процессом. Возникавшая под влиянием ветра циркуляция вод вызывала их движение из открытой части губы к её вершине. Эти холодные воды, поступавшие из открытого озера, возвращались из верхней части губы вдоль левого (вниз по губе) защищённого от ветра берега. У подветренного берега температура поверхностных вод обычно несколько выше её значения для вод, поступивших из открытого озера. Поэтому воды, возвращавшиеся из верховьев губы, погружались под более лёгкие у левого берега и двигались по вдольбереговой ложбине в виде придонного стратифицированного потока. Вблизи выхода из губы это течение спускалось по склону в поперечном сечении от левого берега к правому на линию максимальных глубин и вновь попадало в начальную стадию циркуляции. Такая гипотеза, неплохо объясняющая полученные распределения скорости, согласуется с рельефом дна в губе, с распределениями температуры и концентрации растворённого в воде кислорода.

На высоте 1,5 м над уровнем дна была зарегистрирована вспышка концентрации взвеси почти в три раза. В это время скорость течения на на данном уровне превышала минимальную размывающую скорость для грунтов типа пыль-ил.

Основные результаты 1. Выявлена циркуляция в Петрозаводской губе, вызванная усилением ветра и включающая приповерхностную и придонную части с одинаковыми направлениями течений. Предложена гипотеза о природе этого явления. 2. Обнаружен эффект размыва дна циркуляционным течением.

3. Получена связь скоростей дрейфового течения и ветра, содержащая минимум при скорости ветра около 8 м/с. Согласно результатам из публикаций по дрейфовым течениям в озёрах, эта особенность связана с перераспределением энергии ветра на стадии обрушения волн.

*E-mail: sea251@phys.msu.ru*

## ОБЛАСТИ НАИБОЛЬШЕГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В АТМОСФЕРЕ

\*\* Кропотина ЮА., Блинov A.B.

*Санкт-Петербургский гос. политех. универ., Санкт-Петербург, Россия.*

Одна из актуальных задач современной науки о Земле состоит в объяснении и предсказании изменений климата. Известно, что наблюдается корреляция изменения среднегодовой температуры Земли с солнечными циклами. Поэтому существует задача поиска механизмов, способных объяснить связь климата Земли с солнечной активностью. Одной из обсуждаемых гипотез является влияние Солнца на Землю через модуляцию интенсивности космических лучей (КЛ) (заряженных частиц, приходящих из Галактики). Проникая в атмосферу, КЛ взаимодействуют с молекулами воздуха и образуют каскад вторичных частиц. Высказывается мнение, что ионизация атмосферы под действием КЛ может оказывать влияние на образование облаков.

Важно знать, на какой высоте находится максимум выделения энергии КЛ, чтобы определить, могут ли там образовываться облака, и к какому типу они относятся. Вследствие отклонения заряженных частиц магнитным полем Земли возникает широтная зависимость потока КЛ. Важно определить в каких зонах атмосферы и насколько изменяется выделение энергии КЛ в зависимости от фазы солнечного цикла. Это позволит уточнить объекты анализа метеорологических данных.

Данная работа посвящена решению проблемы локализации основного ионизационного эффекта КЛ. Для этого был использован программный пакет для расчета прохождения каскада частиц высокой энергии через вещество **Geant** (версия 4.8.0) и с его помощью создана математическая модель прохождения КЛ через атмосферу Земли.

Результатом работы является зависимость выделения энергии КЛ от высоты и геомагнитной широты для периодов солнечного минимума и максимума, позволяющая определить области, соответствующие максимальному эффекту солнечной модуляции потока КЛ. Также в работе осуществляется переход от геомагнитных координат к географическим, и найденные области отмечаются на географической карте для совместного анализа наших результатов с метеорологическими данными.

Оказывается, что наибольшее влияние КЛ возможно на геомагнитных широтах  $55\text{--}75^{\circ}$  с максимумом вблизи  $65^{\circ}$ . Для этих широт толща, где разница потерь энергии максимальна, составляет  $70\text{--}80 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ , что соответствует высоте около 20км. На этой высоте облака уже почти не образуются. Однако, если считать существенной разницу энергопотерь, составляющую не менее 10% от максимальной на данной широте, области, которые следует принять во внимание, лежат на толще от 0 до  $350 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}$ , то есть на

---

\*\* Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

высотах более 8 км. Если существует корреляция между солнечными циклами и облачностью, то это касается в первую очередь облаков, расположенных на высоте 8-10 км и выше в области  $\lambda=65\pm10^\circ$ , где  $\lambda$  – геомагнитная широта.

*E-mail: juliett.k@gmail.com*

#### Литература:

- 1) Brun, R., Caillat, M., Maire, M., Patrick, G.N. and Urban, L. GEANT3 User's Guide. European Report DD/EE/84-1. CERN, 1987.
- 2) Foukal P., Frohlich C., Spruit H., Wigley T. M. L. Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate // Nature. V. 443. P. 161-166. 2006.
- 3) Marsh N., Svensmark H. Solar influence on the Earth's climate // Space Sci. Rev. V. 107. № 1. P. 317-325. 2003.
- 4) Masarik J., Beer J. Simulation of particle fluxes and cosmogenic nuclide production in the Earth's atmosphere // J. Geophys. Res. V. 104. No D10. P. 12099-12111. 1999.
- 5) Seinfeld J. H. Clouds, contrails and climate // Nature. V. 391. P. 837-838. 1998.
- 6) Tanaka H.K.M. Cosmogenic ion production rate in the high-middle-low altitude troposphere and its influence on the terrestrial cloud properties // J. Atmospheric Solar-Terrestrial Physics. V. 67. P. 1544-1558. 2006.
- 7) Usoskin I.G., Alanko-Huotari K., Kovaltov G.A. Mursula K. Heliospheric Modulation of cosmic rays: Monthly reconstruction for 1951-2004 // J. Geophys. Res. V. 110. A12108. P. 1-10. 2005.
- 8) Usoskin I.G., Gladysheva O.G., Kovaltsov G.A. Cosmic ray-induced ionization in the atmosphere: spatial and temporal changes // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 66. P. 1791-1796. 2004.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРОДСКОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Курбатов Г.А., Юшков Е.В.

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

На физическом факультете МГУ в течение нескольких лет проводятся наблюдения за изменчивостью ветра в городском атмосферном пограничном слое (АПС) методом акустического зондирования. Наблюдения проводятся с помощью моностатического доплеровского акустического локатора ЛАТАН-3, разработанного в ИФА РАН [1]. Рост скорости ветра с высотой зависит от типа стратификации (устойчивости) атмосферы. Температурную стратификацию атмосферы можно косвенно оценить по интенсивности сигнала обратного рассеяния.

Стратификацию атмосферного пограничного слоя можно в целом разделить на 3 типа: устойчивая, характеризующаяся наличием слоя с инверсионным распределением температуры (проявляется в основном в ночные часы), неустойчивая, характеризующаяся хорошо развитыми конвективными течениями (проявляется как правило в часы дневного прогрева) и нейтральная, характеризующаяся изотермической структурой (проявляется в основном в вечерние и утренние часы). Для анализа в данной работе были выбраны интервалы с устойчивой стратификацией.

В работе представлены результаты измерений на физическом факультете МГУ вертикального профиля температуры с помощью СВЧ температурного профилемера МТП-5 [3] и сопоставления их с профилями скорости ветра по данным акустического зондирования в АПС. Приведены временные хода температуры на различных высотах, распределение градиентов температуры и средние профили температуры. Проведено

сравнение высот слоя отражения по данным акустического зондирования и градиент температуры в приземном слое АПС. Сопоставлены вертикальные профили температуры и скорости ветра. Отмечены особенности профиля ветра при различных подтипах устойчивой стратификации АПС.

Проведение исследований поддержано грантом РФФИ 07-05-13610

E-mail [gavriy@mail333.com](mailto:gavriy@mail333.com)

#### Литература

1. Юшков В.П., Каллистратова М.А., Караваева Е.В., Кузнецов Р.Д., Курбатов Г.А., Перепелкин В.Г., Тарасова О.А., Шурыгин Е.А. Измерение поля ветра над городом методом акустического зондирования. Вестник МГУ, 2003, Сер. 3, № 5, 47-52.
- 2 Кузнецов Р.Д. Акустический локатор ЛАТАН-3 для исследований атмосферного пограничного слоя. *Оптика атмосферы и океана*, 2007, 20, № 8.
3. Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., Голицын Г.С. Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных. Доклады Академии Наук, 2002, том 385, № 4, с.541-548.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ АССИМИЛЯЦИИ ИОНОСФЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (GAIM) С РЕЗУЛЬТАТАМИ ЛУЧЕВОЙ РАДИОТОМОГРАФИИ В РАЙОНЕ АЛЯСКИ

Леонтьева Е.А.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет*

Для исследования динамики и структурных особенностей ионосферной плазмы на протяжении последних 15 лет успешно применяется спутниковая радиотомография (РТ) [1-2]. С другой стороны, для получения необходимой или недостающей информации об ионосфере многие научные группы используют непрерывно развивающуюся модель Глобальной Ассимиляции Ионосферных Измерений GAIM (Global Assimilation of Ionospheric Measurements), поэтому задача сопоставления модельных данных с РТ-реконструкциями ионосферы, представляет особый интерес для многих радиофизических и геофизических приложений. Данные модели GAIM представляют собой 4D распределения (три пространственные координаты и время) электронной концентрации. Модель GAIM использует в качестве основы для ассимиляции различного вида измерений физическую модель ионосферы IFM (Ionospheric Forecast Model) и фильтр Кальмана [3-6].

В данной работе проведен сравнительный анализ модельных данных с экспериментальными РТ-сечениями ионосферы над Аляской с 26 октября по 1 ноября 2003 года. Исследуемый период интересен тем, что магнитные бури 29-31 октября 2003г. относятся к классу исключительно больших ( $K_p=9$ ). Кроме того, подобных систематических исследований ранее не проводилось. Целью сопоставления было выяснить применимость исследуемых моделей для прогнозирования состояния ионосферы в периоды низкой и экстремально высокой геомагнитной возмущенности.

Результаты исследований показали, что наблюдаемое методом радиотомографии поведение ионосферы в спокойных и слабо возмущенных геомагнитных условиях адекватно описывается моделью глобальной ассимиляции GAIM и неудовлетворительно физической моделью IFM (значения модели IFM, как правило, завышены). Погрешности данных модели GAIM относительно РТ-сечений варьируются от 8% до 40%, для модели IFM - от 15% до 100%. Исследования показали, что в период сильнейшей магнитной бури ( $K_p = 9$ ) модель GAIM, в отличие от IFM, удовлетворительно описывает

уровень и область максимума электронной концентрации, однако не воспроизводит квазиволновые, волновые, «стеночные» структуры, провалы ионизации, наблюдающиеся в РТ-сечениях. Таким образом, модели IFM и GAIM описывают усредненную сглаженную ионосферу. Проведено сопоставление критических частот ( $f_0F2$ ), вычисленных по РТ-реконструкциям, по данным модели GAIM и по данным ионозонда в Гаконе. Работа выполнена при поддержке РФФИ (№07-05-01120).

*leon-03@bk.ru*

#### Литература

1. Куницын В.Е, Терещенко Е.Д, Андреева Е.С. (2007) Радиотомография ионосферы. М.: Наука.
2. Kunitsyn V.E. and E.D.Tereshchenko. Ionospheric Tomography. Springer-Verlag. 2003.
3. Schunk R.W., Scherliess L., Sojka J.J., and Thompson D., Global Assimilation of Ionospheric Measurements (GAIM), Radio Science, 39, 2004.
4. Scherliess L., Schunk R.W., Sojka J.J., and Thompson D.C., Development of a Physics-Based Reduced State Kalman Filter for the Ionosphere, Radio Science, 39, 2004
5. Zhu L., Schunk R.W., Jee G., Scherliess L., Sojka J.J., and Thompson D.C., Validation study of the Ionospheric Forecasting Model (IFM) using TOPEX TEC Measurements, Radio Science, 2006.
6. <http://ccmc.gsfc.nasa.gov> (Community Coordinated Modeling Center)

## ДИНАМИКА ВОД И ПЕРЕНОС ПРИМЕСЕЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ТЕЧЕНИЯ И ВНУТРЕННИХ ВОЛН

\*\* Литвинов Е.А.

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

Стратифицированные течения с термической, суспензионной и соленостной стратификацией, относятся к числу основных форм переноса растворенных и взвешенных примесей в водохранилищах, озерах и морях. Для прогноза распространения этих течений и распределений концентраций примесей необходимо проведение комплексных натурных и теоретических исследований структур термогидродинамических полей в стратифицированных потоках. В данной работе представлены результаты таких исследований, экспериментальная часть которых выполнялась в экспедиции физического факультета МГУ в сентябре 2007 г. на Онежском озере.

Цели работы: 1. Выявление механизмов развития течений в Петрозаводской губе и закономерностей воздействия этих потоков на перенос примесей. 2. Проверка методов математического моделирования стратифицированных потоков в губе глубокого озера.

Применявшийся комплекс аппаратуры включал следующие приборы. Зонд RCM 9 LW (Aanderaa Instruments) с датчиками для измерений распределений скорости течения, температуры, электропроводности, мутности и содержания растворенного кислорода. Фотоэлектрический прозрачномер, сконструированный на физическом факультете МГУ. Регистраторы концентрации кислорода и электропроводности воды фирмы «Эксперт». Зонд CTD90M (Sea-Sun) позволявший измерять профили концентрации хромофила-а.

В верховых губы зарегистрированы плотностное течение в придонном слое, промежуточная струя и приповерхностное течение. Все эти потоки направлены пре-

---

\*\* Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

имущественно от устья р. Шуя в сторону открытого озера. Придонное плотностное течение распространялось на 13 километров у дна практически по всей длине губы. На границе губы и открытого озера этот поток отрывался от дна, сливался с вышележащей промежуточной струёй и уходил в открытое озеро в виде промежуточного течения над водами большей плотности как по жидкому грунту. Гидродинамическая устойчивость увеличивалась в области формирования придонного течения, а затем резко спадала на вертикали, соответствующей выбросам облаков мутности к открытой поверхности. Для выяснения природы появления облаков проведены оценки скорости их подъёма двумя методами: 1) по скорости течения, длине участка и высоте подъема, 2) по стандарту вертикальной компоненты пульсаций скорости придонного течения. Эти оценки не плохо согласуются между собой. Сравнение продольного распределения скорости течения с полученным по математической модели, показало что: 1. теоретическое распределение пригодно для описания данного потока до его отрыва от дна, 2. методики расчёта толщины течения и его скорости в зоне перехода этого потока в струю нуждаются в дальнейшей разработке.

Основные результаты 1. Обнаружен придонный плотностной поток в Петрозаводской губе, прослежено его развитие и преобразования распределений параметров течения и состава воды. 2. Установлено, что течение обусловлено впадением вод р. Шуя и гравитационным потоком холодных вод, поступивших в губу из открытого озера в предшествующий период усиления ветра. 3. Измеренные распределения скорости течения согласуются с теоретическими, полученными по математической модели плотностного потока. 4. Установлено, что данное течение обеспечивало вынос примесей из губы в открытое озеро. 5. Обнаружены выбросы облаков мутности из придонного потока к открытой поверхности и предложена гипотеза о природе этого явления, связанной с боковой адvectionи взвеси и снижением устойчивости течения.

*E-mail: sea251@phys.msu.ru*

## ВАРИАЦИИ ВСЕСТОРОННЕГО ДАВЛЕНИЯ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Лукьянов И.В.

*Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Москва, Россия*

В настоящее время, для прогноза землетрясений используются модели, основанные на применении косвенных предвестниковых аномалий. Под косвенными предвестниками следует понимать величины, не являющиеся параметрами нагрузления среды, но опосредованно связанными с процессом разрушения горных пород. К таким параметрам относятся, например, электропроводность и скорость сейсмотектонических деформаций.

Данная работа предлагает строить прогноз сильных землетрясений, в рамках модели хрупкого разрушения среды, на основе анализа эволюции прямых предвестников, а именно параметров напряженного состояния.

Фактически, разрушение горных пород будет определяться величиной внутреннего сцепления  $\tau_c$  и сопротивлением, создаваемым силами трения  $k_c p^*$ . Наблюдение за эволюцией уровня касательных напряжений, с целью прогноза сильных землетрясений, и составляет основную задачу настоящего исследования.

Выражение, определяющее зависимость максимальных касательных напряжений от вида напряженного состояния, определяемого коэффициентом Лоде-Надаи  $\mu_\sigma$ , имеет следующий вид [Ребецкий, 2007]

$$\tau = \frac{(\tau_c + k_c p^*)}{\operatorname{cosec} 2\alpha_c - k_c ((1 - \mu_\sigma) l_{1z}^2 - (1 + \mu_\sigma) l_{3z}^2 + \mu_\sigma)}$$

Где  $\tau_c$  - сцепление горных пород,  $\alpha_c$  - угол между нормалью к площадке, совпадающей с плоскостью внутреннего скола, и осью алгебраически максимального напряжения,  $p^*$  - эффективное напряжение, которое представляется как разность литологического напряжения и давления флюида. Таким образом. Оценка всестороннего давления может быть произведена по следующей формуле:

$$p^* = \rho g_z H + \tau ((1 - \mu_\sigma) l_{1z}^2 - (1 + \mu_\sigma) l_{3z}^2 + \frac{2}{3} \mu_\sigma)$$

В работе была проведена также проверка экспериментальных результатов [Byerlee, 1967] согласно которым, максимальные касательные напряжения связаны со всесторонним давлением линейной зависимостью.

Анализ эволюции уровня всестороннего давления был произведен по данным гарвардского каталога землетрясений, для очаговых зон сильнейших землетрясений 2000-07 гг. Для каждой очаговой зоны были построены зависимости всестороннего давления от времени и моментной магнитуды от времени. Анализ этих зависимостей позволяет говорить о том, что перед сильными землетрясениями значения всестороннего давления резко снижаются, что может быть использовано как прогностический признак.

Экспериментальная проверка результатов Байерли, для очаговых зон сильнейших землетрясений показало справедливость применения этих положений для геофизической среды.

*E-mail: Lukyanov@bk.ru*

### Литература

1. Ребецкий Ю.Л. Напряженно – деформированное состояние и механические свойства природных массивов по данным о механизмах очагов землетрясений и структурно – кинематическим характеристикам трещин: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., ОИФЗ, 2003, 56с.
2. Byerlee J.D. Frictional Caracteristics of granite under hidt confining pressure // J. Geoph. Res. 1967. V.72, N 14. P. 3639-3648

## САМООБРАЩЕНИЕ ТЕРМООСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ НИКЕЛЯ

Максимочкина А.В.

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

Самообращением намагниченности называется намагничивание ферримагнитных материалов антипараллельно намагничающему полю. Изучение эффекта самообращения намагниченности в магнитоупорядоченных веществах имеет большое значение с точки зрения понимания физики явления и получения информации об особенностях обменного взаимодействия между атомами в реальных кристаллах. Эффект самообращения интересен также для геофизики, так как он является альтернативным по отношению к инверсиям геомагнитного поля механизмом образования обратной намагниченности горных пород.

Известно, что при нагреве до точки Кюри и охлаждении образца ферромагнетика в поле меньшем, чем поле насыщения наблюдается магнитный гистерезис. Несовпадение кривых  $I_H(T)$  при охлаждении и при нагреве обусловлено тем, что образуется дополнительная намагниченность, которая называется термоостаточной ( $I_{rT}$ ). В данной

работе исследовалось явление самообращения термоостаточной намагниченности в поликристаллическом никеле, подвергнутом пластической деформации.

Эксперименты показали, что при нагреве никеля до  $T=370^{\circ}\text{C}$  и его последующем охлаждении до комнатной температуры в слабом магнитном поле ( $B<1$  мТл) действительно наблюдается термомагнитный гистерезис, причем, кривая охлаждения  $I_{\text{H}}(T)$  идет выше кривой нагрева за счет образования термоостаточной намагниченности, которая также образуется по направлению действующего магнитного поля. Если внешнее магнитное поле действует не во всем интервале температур при охлаждении образца, то образуется так называемая парциальная термоостаточная намагниченность ( $I_{\text{ptT}}$ ).

Было обнаружено, что если внешнее магнитное поле действует на образец в температурном интервале  $\Delta T=(365-355)^{\circ}\text{C}$ , то при последующем охлаждении образца до  $T=T_{\text{комн}}$  образуется остаточная намагниченность, направление которой противоположно направлению действовавшего магнитного поля (см. рис.1). Последующий нагрев образца в  $H=0$  также показал обращение полученной парциальной термоостаточной намагниченности при  $T>350^{\circ}\text{C}$ .

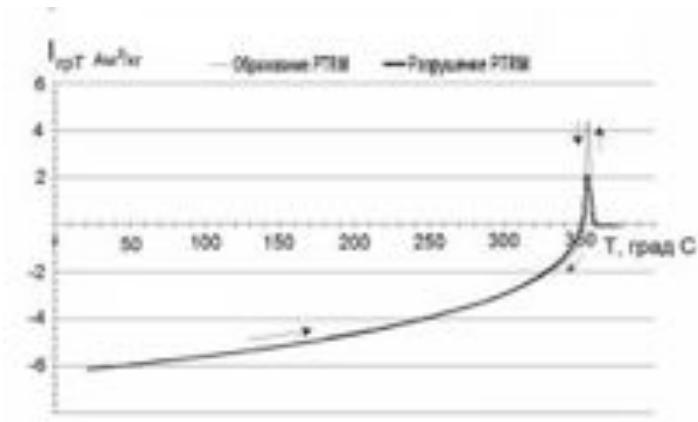


Рис 1. Образование PTRM в поле  $B=0.1$  мТл в интервале  $T=(365-355)^{\circ}\text{C}$

поля эффект самообращения термоостаточной намагниченности уменьшается и при  $B>0.35$  мТл в результате охлаждения образуется  $I_{\text{ptT}}$ , совпадающая с направлением магнитного поля.

Остается открытым вопрос о природе самообращения намагниченности в никеле. Возможно, наличие явления связано с возникновением слабой магнитной подрешетки образующейся в ферромагнетике в результате пластической деформации и появления дополнительно магнитоупругой энергии.

Автор выражает признательность профессору Трухину В.И. за помощь в подготовке тезисов.

Было также установлено, что если в процессе охлаждения магнитное поле было включено при  $T<350^{\circ}\text{C}$ , то образовывалась  $I_{\text{ptT}}$  по направлению действовавшего поля, причем ее величина линейно зависит от поля в интервале  $B=(0.05-0.7)$  мТл. При нагреве образцов в  $H=0$   $I_{\text{ptT}}$  разрушалась только при достижении температуры  $T=355^{\circ}\text{C}$  независимо от температурного интервала ее образования. Зависимость  $I_{\text{ptT}}$ , образованной в температурном интервале  $\Delta T=(365-355)^{\circ}\text{C}$  от поля нелинейна, причем при увеличении

## ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕЧЕНИЯ В УФ ДИАПАЗОНЕ ПОД РАДИАЦИОННЫМИ ПОЯСАМИ ЗЕМЛИ В РАЙОНЕ ЭКВАТОРА

\*\* Малышкин Ю.М.

*ННИЯФ им. Д.В. Скobel'цына, МГУ им. М.В. Ломоносова*

В последних работах по исследованию свечения в ультрафиолетовом и видимом диапазонах на высотах низкоорбитальных космических аппаратов (~500 км) (Хренов

\*\* Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

Б.А. и др. по данным научно-образовательного спутника МГУ «Университетский-Татьяна»), вблизи геомагнитного экватора обнаружена полоса всплесков потоков гамма-квантов, происхождение которой пока достоверно не объяснено.

Ближнее ультрафиолетовое излучение (УФ) было обнаружено с помощью аппарата на борту спутника, который активно существовал в течение 2005-2006 гг. Высота орбиты была приблизительно круговой с высотой 950 км, наклонение 82°. Детектор был направлен в nadir и имел поле зрения 15° (диаметр 250 км на уровне Земли). На входном окне детектора использовался фильтр УФС-1, который непрозрачен для длин волн более 400 нм. Аппаратура позволяла проводить измерения при изменении сигнала от минимальных значений интенсивности свечения ночной атмосферы ( $\sim 10^7$  фотонов/( $\text{см}^2$  с ср)) до значений  $\sim 10^{13}$  фотонов/( $\text{см}^2$  с ср) рассеянного света на дневной стороне и при этом наблюдать слабые сигналы с высокой точностью.

Существует возможность, что эти гамма-кванты порождаются при ионизационных потерях в атмосфере какими-то заряженными частицами, которых достаточно много в этой приэкваториальной области. Однако, как известно, радиационные пояса Земли не простираются до области геомагнитного экватора на этих высотах. Одним из возможных источников этого свечения могут служить так называемые приэкваториальные протоны (Storm-time equatorial belt) с энергией от десятков кэВ до нескольких МэВ, которые наблюдаются в узкой приэкваториальной области  $L < 1.15$  и являются продуктом двойной перезарядки протонов радиационного пояса и кольцевого тока [1]. Другим возможным источником свечения могут служить спорадические всплески потока электронов, которые наблюдаются на  $L < 1.2$  [2]. Представляется интересной оценка числа гамма-квантов, которые эти протоны могут породить.

Для оценки потока гамма-квантов, которые порождаются приэкваториальными протонами или электронами была проведена оценка их пробега, после чего было рассчитано количество гамма-квантов, порождаемых одной частицей, и умножено на их энергетический спектр.

Заряженная частица при своем движении в атмосфере, как было отмечено, теряет энергию на ионизацию окружающих ее молекул. Ионизационные потери рассчитывались по формуле Бете-Блоха

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion} = \frac{4\pi}{m_e c^2} \frac{nz^2 e^4}{\beta^2} \left( \ln\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)}\right) - \beta^2 \right)$$

Для нахождения длины пробега частицы, т.е. пройденного пути до момента полной потери энергии на ионизацию, использовался численный метод Эйлера. Далее был оценен поток фотонов, рождающихся при ионизации от всех протонов и электронов при  $L < 1.2$  вблизи экватора. Энергетический спектр электронов показан на Рис. 1. Протоны вносят существенно меньший вклад в свечение и, в конечном счете, ими можно пренебречь.

Число фотонов, которое протон успеет высветить на некоторой длине  $L$ , определяется формулой:

$$N_\gamma = 0.011(dE/dx)L$$

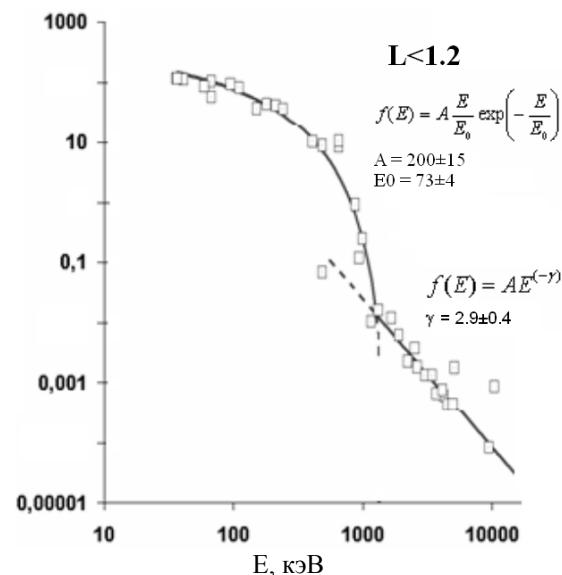


Рис. 1. Энергетический спектр электронов на  $L < 1.2$

где 0.011 – доля энергии, которая уходит на флюоресценцию от протонов (коэффициент взят из расчетов для числа фотонов в широких атмосферных ливнях).

Число фотонов, которое высвечивается от электронов на  $L < 1.2$  получилось равным  $2.9 \cdot 10^7 /(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср})$ , а от протонов на  $L < 1.15$  составил  $3.1 \cdot 10^6 /(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср})$ . Однако, в эксперименте наблюдался поток фотонов порядка  $10^9 /(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср})$ .

Кроме того, было рассчитано высотное распределение интенсивности свечения, порожденного электронами (Рис. 2). На высоте порядка 50-60 км наблюдается максимум, объясняющийся тем, что низкоэнергичные частицы не долетают до меньших высот, что исключает их вклад в интегральный поток высвечиваемых фотонов.

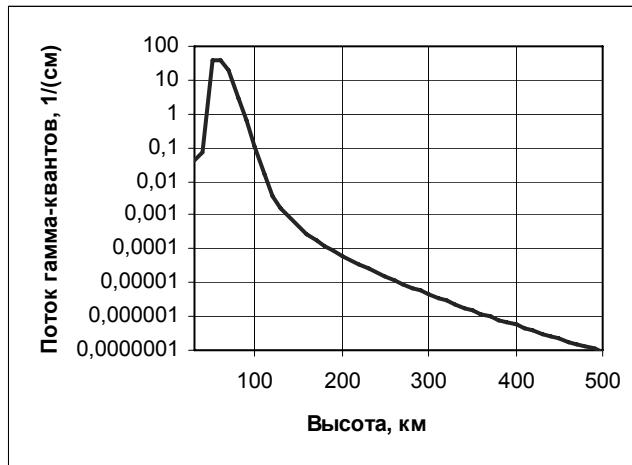


Рис. 2 Распределение интенсивности свечения на единицу длины от высоты.

Потоки протонов на  $L < 1.15$  и электронов на  $L < 1.2$  могут объяснить около 3% потока гамма-квантов, наблюдаемых в приэкваториальной области.

E-mail: na3gul@mail.ru

### Литература

- Petrov A.N., Grigoryan O.R., Panasyuk M.I., Energy spectrum of proton flux near geomagnetic equator at low altitudes, Adv. Space Res., doi:10.1016/j.asr.2007.08.007.
- Grigoryan O.R., Panasyuk M.I., Petrov V.L., Sheveleva V.N., Petrov A.N., Spectral characteristics of electron fluxes at  $L < 2$  under the Radiation Belts, Adv. Space Res., doi:10.1016/j.asr.2007.12.009.

## ПРОЦЕСС ГЕНЕРАЦИИ УЕДИНЕННЫХ ВОЛН В КОЛЬЦЕВОМ АЭРОГИДРОКАНАЛЕ.

Мочулин П.В.

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

Процесс формирования ветровых уединенных волн проходит следующие стадии: развитие капиллярных (длина волн  $\lambda$  до 0,2 см), гравитационно-капиллярных ( $0,2 \text{ см} < \lambda < 20 \text{ см}$ ), гравитационных волн ( $\lambda > 20 \text{ см}$ ), в том числе трохоидальных и кноидальных волн. Поэтому при исследовании уединенных волн необходимо учитывать влияние всех предыдущих этапов развития поверхностного волнения.

Известно, что кроме сейсмических волн цунами имеют место метеоцунами [1], то есть волны, возникающие под действием метеорологических факторов, в том числе ветра. Как правило, метеоцунами слабее наиболее мощных сейсмических цунами. Тем не менее, они также представляют серьезную опасность. При распространении волн цунами, в определенных условиях, когда нелинейность становится сопоставимой с дисперсией, возможно формирование уединенной волны. Для определения профиля таких волн может быть использована теория Кортевега - де Вриза. В этом случае уравнение КДВ [2] имеет два стационарных решения, соответствующих кноидальным и уединенным волнам.

Исследование ветровых уединенных волн в лабораторных условиях [3] является важным для понимания механизма развития метеоцунами, поскольку в природных условиях их наблюдение сопряжено с большими техническими трудностями.

Эксперименты проводились нами в кольцевом аэрогидроканале с помощью соответствующей аппаратуры регистрации волнения и видеосъемки.

Наиболее интересным и важным этапом является взаимодействие нескольких уединенных волн между собой, в результате чего формируется один единственный солитон. Параметры этого солитона зависят как от скорости ветра, так и от глубины жидкости. Нами показано, что при глубине жидкости в канале 10 см высота солитона составляла 6 см, его длина 40 см, а скорость распространения 1,4 м/с. Кроме того, на параметры солитона существенное влияние оказывают поверхностно-активные вещества и флотация на поверхности жидкости. Согласно полученным данным время формирования солитона в этих условиях увеличивается, его амплитуда уменьшается, а длина увеличивается. Особый интерес представляет зависимость параметров солитона от угла атаки ветра. По нашим данным с его увеличением время формирования солитона существенно возрастает.

При избыточной подачи энергии ветра в кольцевой канал, при определенных условиях вместо солитона может сформироваться ударная волна. На этом этапе происходит интенсивная диссипация энергии за счет турбулизации. Это конечная стадия развития ветрового волнения в аэрогидроканале.

E-mail: mochulin@phys.msu.ru

### Литература

1. А Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. ИПФ РАН, Ниж. Новгород, 1996г.
2. Левин Б.В. Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. М: «Янус-К», 2005.
3. Kortevég D.J., de Vries G. “On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal and on a new type of long stationary waves”, Philos. magazine and J. of Scienc. 1895. V. 39. Ser. 5 p. 422—443.
4. Шелковников Н.К. Вынужденный солитон в жидкости // Письма в ЖЭТФ, 2005 г. том 82, вып. 10, с. 720-723.

## ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ

Финогенов С.А.

*Муромский институт (филиал) Владимирского гос. универ., Муром, Россия*

В современных условиях часто возникает проблема вероятного воздействия карста на объекты жизнедеятельности человека, поэтому важное значение имеет детальное

изучение развития карста при планировании строительства и эксплуатации данных объектов. Причем в некоторых случаях необходима геофизическая оценка устойчивости объектов в условиях карстовой опасности, исходя из того, что использование объектов на подобных территориях является экономически выгодным.

Объектом данного научно-практического исследования было выбрано Озеро Святое Дедовское, расположенное в Навашинском районе Нижегородской области, которое является самым крупным озером карстового происхождения в регионе и играет немаловажную водоохранную роль, так как во время половодья в него впадают три ручья и вытекает река Исток, впадающая в реку Оку. На его берегах расположены базы отдыха промышленных предприятий Нижегородской и Владимирской областей [1]. Непосредственно, само исследование проводится на территории оздоровительного комплекса «Буревестник», принадлежащего МИ ВлГУ.

Для достижения поставленной задачи используется эквипотенциальный метод геомониторинга, принцип которого заключается в измерении временных вариаций удельного сопротивления поверхности Земли над местом их дислокации с использованием измерительных электродов, расположенных по касательной к эквипотенциальной линии создаваемого электрического поля [2]. Также необходимо отметить влияние температурного фактора, имеющего место при проведении работ на открытом воздухе. Поэтому, во избежание получения недостоверных результатов, принимается во внимание модифицированный метод геоэлектрического мониторинга, представленный в работе [3], где проанализирована возможность выделения температурных деформаций в геодинамических изменениях для исследуемых объектов.

Результаты исследования показывают, что относительная чувствительность предложенного эквипотенциального метода к геодинамике карстовой области является высокой и составляет  $K = 1$  и  $K = 0,7$  для продольной и поперечной составляющей смещения воронки. На основании данных можно сделать вывод о целесообразности его использования для геофизической оценки объектов оздоровительного комплекса. Он позволяет осуществить круговое зондирование и круговое профилирование при использовании многополюсной установки, что дает возможность разобраться в общих вопросах геологического строения района и определить наиболее опасные участки.

### Литература

1. Баканина Ф.М., Воротников В.П., Лукина Е.В., Фридман Б.И. Озера Нижегородской области. – Нижний Новгород: Издание ВООП, 2001.
2. Волкова Е.Н, Камшилин А.Н., Кравченко В.Б. Способ измерения временных вариаций удельного сопротивления Земли: А.с. СССР №10484396, 1983.
3. Камшилин А.Н., Кузичкин О.Р., Калинкина Н.Е., Финогенов С.А. Метод обработки данных геоэлектрического мониторинга с учетом температурного фактора. В сб. “Методы и устройства передачи и обработки информации”. Вып.4 / Под ред. В.В. Ромашова, В.В. Булкина. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. С. 147-153

*E-mail: finiasm@mail.ru*

**МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА**

**Председатель подсекции  
проф. Ягола Анатолий Григорьевич**

**ДИАГНОСТИКА ХАОСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПО  
ЗАШУМЛЕННОЙ ВРЕМЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ**

Астахов С.В.

*Саратовский гос. университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия*

На сегодняшний день проблема анализа временных рядов весьма актуальна [1, 2]. При этом, исследуемая система не редко демонстрирует крайне сложное поведение и возникает задача определения природы таких движений – существует ли в ее фазовом пространстве хаотический аттрактор, или это зашумленные регулярные колебания. В таком случае, как правило, прибегают к анализу сигнатуры спектра характеристических показателей Ляпунова. Однако, если не известны уравнения исследуемой системы, вычисление даже одного старшего показателя Ляпунова связано с рядом сложностей. Метод, предлагаемый в данной работе дает возможность, используя временную реализацию, определить наличие хаотического аттрактора в системе, в том числе и находящейся под действием шума. Данный метод базируется на понятии относительной метрической энтропии [3].

Зависимость величины относительной метрической энтропии от характерного размера разбиения фазового пространства в случае хаотических колебаний (даже в присутствие шума) имеет важную особенность – наличие плато (что объясняется наличием перемешивания в самой динамике системы), которого нет в случае зашумленных регулярных колебаний.

В данной работе на примере осциллятора Дуффинга, находящегося под действием белого гауссова шума [4] демонстрируется возможность диагностирования возникновения хаоса при превышении величины интенсивности шумового воздействия некоторого порогового значения. Анализ спектра характеристических показателей Ляпунова подтверждает достоверность полученных результатов.

Предложенный метод может быть использован в целях реконструкции динамических систем по зашумленной временной реализации и скрытой передачи информации.

Автор выражает глубокую признательность проф. Т.Е. Вадивасовой за полезные обсуждения относительно рассмотренной проблемы.

Работа выполнена при поддержке гранта в рамках программы Министерства Образования и Науки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы на 2006-2008 годы».

*E-mail: [astakhovsv@chaos.ssu.runnet.ru](mailto:astakhovsv@chaos.ssu.runnet.ru)*

**Литература**

1. Boettcher F., Peinke J., Kleinhans D., Friedrich R., Lind P.G., Haase M. Reconstruction of Complex Dynamical Systems Affected by Strong Measurement Noise// Phys. Rev. Lett. 2006. V. 97.
2. Verdes P.F., Granitto P.M., Navone H.D., Ceccatto H.A. Nonstationary Time-Series Analysis: Accurate Reconstruction of Driving Forces// Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87.

3. Анищенко В.С., Астахов С.В. Относительная энтропия как мера степени перемешивания зашумленных систем// Письма в ЖТФ. Т. 33. Вып. 21. С. 1.
8. Schimansky-Geier L., Herzl H. Positive Lyapunov exponents in the Kramers oscillator// J. Stat. Phys. 1993. V. 70. P.

## О ЗАДАЧЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДИФРАКЦИИ В КОНУСЕ

\*\*Баланцев И.А.

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

Среди современных способов исследования задач электромагнитной дифракции основными являются численное моделирование и различные асимптотические методы. Однако зачастую возникает необходимость в строгом обосновании основных свойств изучаемых этими методами математических моделей. К таким свойствам следует отнести существование решения, его единственность, гладкость и другие.

Методика решения подобного рода вопросов существенно опирается на парциальные условия излучения [1], поскольку они позволяют свести задачу в неограниченной области к задаче в ограниченной области. Далее, как и при исследовании задачи дифракции в цилиндре и в свободном пространстве в [2]-[4], вводится специальное векторное функциональное пространство, в рамках которого осуществляется слабая постановка задачи, и с помощью аппарата теорем вложения проводится ее анализ. При этом как постановка парциальных условий излучений, так и доказательство теорем вложения, опирается на возможность представлять векторные поля в виде разложений по ортогональным системам функций, в качестве которых взяты функции Боргниса.

В результате проведенного исследования были доказаны некоторые теоремы вложения, и это позволило свести поставленную задачу к фредгольмово разрешимой.

Автор выражает признательность профессору, д.ф.м.н. Делицыну А.Л. за предложенную тему исследования и помочь в подготовке тезисов.

*E-mail: laktan86@mail.ru*

### Литература

1. Ильинский А.С., Кравцов В.В., Свешников А.Г. Математические модели электродинамики. – М. “Высшая школа”, 1991.
2. Делицын А.Л. О дискретном спектре оператора Лапласа в цилиндре с локально возмущенной границей. – Дифференциальные уравнения, т. 40, №2, 2004, с. 198-207.
3. Делицын А.Л. О постановке краевых задач для системы уравнений Максвелла в цилиндре и их разрешимости. – Известия РАН, серия математическая, т. 71, №3, 2007, с. 61-112.
4. Делицын А.Л. Задача дифракции электромагнитного поля в свободном пространстве. – Дифференциальные уравнения, т. 41, №8, 2005, с. 1-7.
5. Бирман М.Ш., Соломяк М.З. Главные особенности электрической составляющей электромагнитного поля в областях с экранами. – Алгебра и анализ, 1993, т. 5, вып. 1, с. 143-159.
6. Бирман М.Ш., Соломяк М.З. Самосопряженный оператор Максвелла в произвольных областях. – Алгебра и анализ, 1989, т. 1, вып. 1, с. 96-110.

---

\*\* Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

## АЛГОРИТМ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОСТРОЕННЫЙ НА ОСНОВЕ КУРВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Волохов В.А., Сергеев Е.В.

*Ярославский гос. университет им. П.Г.Демидова, Ярославль, Россия*

Задача шумоподавления на сегодняшний день является одной из самых распространенных в области цифровой обработки сигналов и изображений. Шум в изображениях, как правило, возникает на этапе их перевода в цифровой вид.

Схема алгоритма фильтрации, рассматриваемая в настоящей работе, представляет собой совокупность блока искажения, в который входит только аддитивный белый гауссов шум и блока восстановления, в который входит схема прямого и обратного кодирования с преобразованием, а также блок обработки коэффициентов, полученных в результате преобразования.

Идея работы блока восстановления достаточно проста и представляет собой совокупность трех основных этапов:

- вычисление прямого преобразования изображения (вейвлет-преобразования [1], риджлет-преобразования [2], курвлет-преобразования [2] или их аналогов);
- изменение полученных коэффициентов преобразования по определенному правилу;
- вычисление соответствующего обратного преобразования от области измененных коэффициентов.

Рассмотрим более подробно основные моменты, затрагивающие работу выше указанных блоков схемы восстановления.

Во-первых, обратимся к блоку обработки коэффициентов. Его основой является использование пороговых функций различной формы [1, 2]. В настоящей работе использовались наиболее распространенные функции жесткой и мягкой пороговых оценок. Основной сложностью использования пороговых методов обработки является выбор порогового значения [1].

Во-вторых, рассмотрим блоки прямого и обратного преобразования изображения. Зачастую, в основе этих блоков лежит схема классического вейвлет-преобразования. Однако использование подобного рода схем приводит к следующим недостаткам схемы фильтрации:

- плохая аппроксимация линейных и криволинейных участков на изображении, связанная с формой базисных вейвлет-функций, изначально предназначенные для аппроксимации точечных областей на изображении;
- появление дополнительных артефактов на восстановленном изображении, обусловленных возникающим эффектом наложения спектров.

Последние проблемы могут быть решены с использованием в основе схемы преобразования курвлет-преобразования, хорошо подходящих для аппроксимации линий и кривых, соответственно, и устраниющих артефакты, указанные выше. Курвлет-преобразование, подобно вейвлет-преобразованию, является кратномасштабным преобразованием со структурными элементами, зависящими от параметров масштаба и сдвига (коэффициенты риджлет-преобразования). Исследования показывают, что данный вид преобразования дает наилучший результат для изображений с большим количеством деталей в виде кривых линий, перепадов, границ и т.п.

E-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

### Литература

1. Mallat S. A wavelet tour of signal processing. Academic Press. 1999.
2. Starck J.-L., Emmanuel J., Candès E., Donoho D. The curvelet transform for image denoising // IEEE Trans. on image proc. 2002. V. 11, № 6. P. 670-684.

## ТЕОРЕМА О ТЕНЗОРНОЙ СВЕРТКЕ В ПРОИЗВОЛЬНОМ ПСЕВДОРИМАНОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Вшивцева П.А.

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

В современной теоретической и математической физике для описания гравитационных и электромагнитных явлений широко используются тензорные полевые функции в произвольных  $N$ -мерных пространствах. Эти функции входят в нелинейные алгебраические и дифференциальные уравнения, непосредственные преобразования которых приводят к чрезвычайно громоздким вычислениям.

Поэтому для успешного исследования математических моделей нелинейной теории поля большую роль играют алгебраические тензорные соотношения.

**Теорема 1.** В произвольном псевдоримановом пространстве  $R_{P,N-P}^N$  с метрическим тензором  $g_{ik}$  справедливо следующее тензорное соотношение:

$$\left| \begin{array}{cccccc} \psi_{i_1}^{i_1} & \psi_{i_2}^{i_1} & \dots & \psi_{i_Q}^{i_1} & \psi_{k_1}^{i_1} & \dots & \psi_{k_{N-Q}}^{i_1} \\ \psi_{i_1}^{i_2} & \psi_{i_2}^{i_2} & \dots & \psi_{i_Q}^{i_2} & \psi_{k_1}^{i_2} & \dots & \psi_{k_{N-Q}}^{i_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{i_1}^{i_Q} & \psi_{i_2}^{i_Q} & \dots & \psi_{i_Q}^{i_Q} & \psi_{k_1}^{i_Q} & \dots & \psi_{k_{N-Q}}^{i_Q} \\ \psi_{i_1}^{m_1} & \psi_{i_2}^{m_1} & \dots & \psi_{i_Q}^{m_1} & \psi_{k_1}^{m_1} & \dots & \psi_{k_{N-Q}}^{m_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{i_1}^{m_{N-Q}} & \psi_{i_2}^{m_{N-Q}} & \dots & \psi_{i_Q}^{m_{N-Q}} & \psi_{k_1}^{m_{N-Q}} & \dots & \psi_{k_{N-Q}}^{m_{N-Q}} \end{array} \right| = Q ! \cdot \left| \begin{array}{cccc} \delta_{k_1}^{m_1} & \delta_{k_2}^{m_1} & \dots & \delta_{k_{N-Q}}^{m_1} \\ \delta_{k_1}^{m_2} & \delta_{k_2}^{m_2} & \dots & \delta_{k_{N-Q}}^{m_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{k_1}^{m_{N-Q}} & \delta_{k_2}^{m_{N-Q}} & \dots & \delta_{k_{N-Q}}^{m_{N-Q}} \end{array} \right| \cdot \det \left\| \psi_j^i \right\|, \quad (1)$$

где целое число  $Q$  заключено в пределах  $0 \leq Q \leq N$ , а  $\det \left\| \psi_j^i \right\|$  – определитель матрицы, элементами которой являются компоненты ковариантного тензора второго ранга  $\psi_j^i$ .

**Доказательство.** Для доказательства соотношения (1) рассмотрим равенство:

$$E_{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N} \psi_{j_1}^{i_1} \psi_{j_2}^{i_2} \dots \psi_{j_Q}^{i_Q} \psi_{k_1}^{i_{Q+1}} \dots \psi_{k_{N-Q}}^{i_N} = E_{j_1 j_2 \dots j_Q k_1 \dots k_{N-Q}} \det \left\| \psi_j^i \right\|, \quad (2)$$

где  $E_{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N}$  — абсолютно антисимметричный аксиальный тензор Леви-Чивиты.

Умножим равенство (2) на  $E^{j_1 j_2 \dots j_Q m_1 \dots m_{N-Q}}$ . В результате получим:

$$E_{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N} E^{j_1 j_2 \dots j_Q m_1 \dots m_{N-Q}} \psi_{j_1}^{i_1} \psi_{j_2}^{i_2} \dots \psi_{j_Q}^{i_Q} \psi_{k_1}^{i_{Q+1}} \dots \psi_{k_{N-Q}}^{i_N} = E^{j_1 j_2 \dots j_Q m_1 \dots m_{N-Q}} E_{j_1 j_2 \dots j_Q k_1 \dots k_{N-Q}} \det \left\| \psi_j^i \right\|. \quad (3)$$

Рассмотрим произведение двух аксиальных тензоров Леви-Чивиты  $E^{i_1 i_2 \dots i_N} E_{j_1 j_2 \dots j_N}$ , которое может быть выражено через произведения тензоров Кронекера по формуле:

$$E^{i_1 i_2 \dots i_N} E_{j_1 j_2 \dots j_N} = (-1)^{N-P} \left| \begin{array}{cccc} \delta_{j_1}^{i_1} & \delta_{j_2}^{i_1} & \dots & \delta_{j_N}^{i_1} \\ \delta_{j_1}^{i_2} & \delta_{j_2}^{i_2} & \dots & \delta_{j_N}^{i_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{j_1}^{i_N} & \delta_{j_2}^{i_N} & \dots & \delta_{j_N}^{i_N} \end{array} \right|. \quad (4)$$

Методом математической индукции можно доказать, что свертка  $Q$  индексов у ковариантного аксиального тензора Леви-Чивиты с соответствующим числом индексов контравариантного аксиального тензора Леви-Чивиты дает:

$$E^{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N} E_{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N} = (-1)^{(N-P)} Q ! \begin{vmatrix} \delta_{j_Q+1}^{i_Q+1} & \delta_{j_Q+2}^{i_Q+1} & \dots & \delta_{j_N}^{i_Q+1} \\ \delta_{j_Q+1}^{i_Q+2} & \delta_{j_Q+2}^{i_Q+2} & \dots & \delta_{j_N}^{i_Q+2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{j_Q+1}^{i_N} & \delta_{j_Q+2}^{i_N} & \dots & \delta_{j_N}^{i_N} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Поэтому в выражении (3) произведение  $E_{i_1 i_2 \dots i_Q i_{Q+1} \dots i_N} E^{j_1 j_2 \dots j_Q m_1 \dots m_{N-Q}}$  двух аксиальных тензоров Леви-Чивиты, преобразуем по формуле (4), а произведение  $E^{j_1 j_2 \dots j_Q m_1 \dots m_{N-Q}} E_{j_1 j_2 \dots j_Q k_1 \dots k_{N-Q}}$  – по формуле (5). Сокращая в полученном выражении общий множитель и используя свойства определителей в дальнейшем преобразовании соотношение (3) дает соотношение (1). **Теорема доказана.**

В произвольном псевдоримановом пространстве  $R_{P,N-P}^N$  из соотношения (1) можно получить и другие тензорные равенства. Так, например, после опускания индексов при  $Q = 0$  приходим к соотношению:

$$\det \begin{vmatrix} \psi_{i_1 j_1} & \psi_{i_1 j_2} & \dots & \psi_{i_1 j_N} \\ \psi_{i_2 j_1} & \psi_{i_2 j_2} & \dots & \psi_{i_2 j_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{i_N j_1} & \psi_{i_N j_2} & \dots & \psi_{i_N j_N} \end{vmatrix} = (-1)^N Y^N \det \begin{vmatrix} g_{i_1 j_1} & g_{i_1 j_2} & \dots & g_{i_1 j_N} \\ g_{i_2 j_1} & g_{i_2 j_2} & \dots & g_{i_2 j_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{i_N j_1} & g_{i_N j_2} & \dots & g_{i_N j_N} \end{vmatrix}.$$

При  $Q = N - 1$  из соотношения (1) можно получить тензорное равенство

$$\psi_{lm}^{(N)} = -\frac{1}{Y^{(0)}} \sum_{s=1}^N \psi_{lm}^{(N-s)} Y^{(s)},$$

где коэффициенты  $Y^{(s)}$  определяются рекуррентным уравнением:

$$Y^{(s)} = -\frac{1}{s} \sum_{t=0}^{s-1} \psi^{(s-t)} Y^{(t)}, \quad s \geq 1,$$

причем  $Y^{(N)} = (-1)^N \det \|\psi_j^i\|$ , а  $Y^{(0)}$  – любое, не равное нулю, число.

Доклад основан на материалах исследований, проведенных в рамках гранта РФФИ (грант №08-02-01160).

E-mail: polina@genphys.phys.msu.ru

## РАСЧЕТ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР КУСОЧНО-ПОСТОЯННОГО РАДИУСА

Ерохин А.И.

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

При современных условиях развития технологий по созданию электродинамических резонаторов практически исчезли сложности в конструировании их элементов. Существует возможность создания электродинамических структур любых форм и размеров, диэлектриков с произвольной диэлектрической проницаемостью. Поэтому в настоящее время на передний план выходит задача предварительного математического моделирования таких систем с целью выбора их наиболее оптимальных параметров как в конструктивном плане, так и для уменьшения экономических затрат при производстве. Важной характеристикой резонаторов, определяющей технико-экономические пока-

затели устройств, в которых они используются, является его добротность. В настоящее время ведется большое количество исследований, посвященных оптимизации электродинамических и геометрических параметров резонаторов с целью повышения их добротности.

Данная работа посвящена расчету резонансных частот аксиально-симметричных диэлектрических структур кусочно-постоянного радиуса. Подобные конструкции экспериментально исследуются на кафедре колебаний физического факультета МГУ. Предполагается, что они могут найти применение при создании проводящих систем с малыми потерями. В данной работе предложен алгоритм расчета резонансных частот таких структур, применимый для произвольного слоистого аксиально-симметричного диэлектрического заполнения. Рассмотрены случаи частичного покрытия структуры идеальным проводником.



Рис. 1. Разрез аксиально-симметричной структуры кусочно-постоянного радиуса, принимающего два значения, для 11 секций

На основе предложенного алгоритма написана компьютерная программа, с помощью которой определялся спектр резонансных частот исследуемых структур. С ее помощью обнаружен ряд интересных эффектов. Например, рассчитана открытая аксиально-симметричная структура кусочно-постоянного радиуса, принимающего всего два значения, состоящая из одиннадцати секций (рис. 1). Вычислено, что существуют частоты, на которых электромагнитное поле сосредоточено только в диэлектрике. При металлизации нескольких секций такой структуры поле может быть сосредоточено только в нескольких из них, при этом необязательно металлизированных. Этот эффект также наблюдался и при экспериментальном исследовании подобных структур.

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

#### Литература

- [1]. А.С. Ильинский, В.В. Кравцов, А.Г. Свешников “Математические модели электродинамики”, М.: изд-во “Высшая школа”, 1991.
- [2]. Ф. Съярле “Метод конечных элементов для эллиптических краевых задач”, М.: изд-во “Мир”, 1980.
- [3]. Roberts J.E., Thomas J.-M. Mixed and Hybrid Methods. in: Handbook of Numerical Analysis, vol.2 ed. Ciarlet P.G., Lions J.L., North-Holland, 1991, 523-639.

## ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОГО ТЕЧЕНИЯ КУЭТТА НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Ильин О.В.

*Вычислительный центр им. А.А.Дородницына РАН, Москва, Россия*

Рассматривается вопрос устойчивости распространения газа между двумя параллельными пластинами, движущимися с одинаковыми по модулю скоростями в противоположных направлениях (течение Куэтта). Асимптотическая устойчивость плоского течения Куэтта для несжимаемого вязкого газа в трехмерной области для уравнения Навье-Стокса в линейном приближении была доказана в [1] для любых чисел Рейнольдса. Современными работами, посвященными задаче, являются [2-3].

Однако эксперименты показывают, что течение становится турбулентным при числах Рейнольдса в пределах 300–500 [4]. Одним из возможных путей преодоления про-

тиворечия между теорией и экспериментом является рассмотрение течения Куэтта между двумя цилиндрами при стремлении радиусов к бесконечности. При этом считая, что такая задача переходит плоскую задачу Куэтта, можно получить неустойчивость [5]. Другими возможностями является учет нелинейных эффектов или рассмотрение других подходов. В данной работе анализ осуществляется упрощенной моделью БГК [6], которая конечноразмеризуется в пространстве скоростей и координат. Следует отметить, что кинетический подход уже применялся для рассмотрения устойчивости других задач [7-8].

В качестве базиса в пространстве скоростей выбираются обобщенные полиномы Эрмита, затем оставляются лишь несколько первых из них, считающиеся наиболее значимыми, затем аналогичная процедура производится в пространстве координат, где в качестве базиса выбираются полиномы Лежандра. Такой метод носит название проекции Галеркина и является инструментом качественного рассмотрения динамических систем. Например, таким способом получается система Э.Лоренца, обладающая странным аттрактором.

Поставленная задача сводится к анализу зависимости положения нулей определителя однородной линейной системы, являющихся спектром возмущений, от числа Кнудсена. При уменьшении числа Кнудсена на положительной части вещественной оси появляются точки спектра, свидетельствующие о неустойчивости, причем они сдвигаются в сторону плюс бесконечности при уменьшении числа Кнудсена. Это свидетельствует об ускорении развития возмущений. Такой факт вполне физически обоснован, так как уменьшению числа Кнудсена соответствует рост числа Рейнольдса.

E-mail: [oleg\\_ilyin82@mail.ru](mailto:oleg_ilyin82@mail.ru)

### Литература

1. Romanov V.A. Functional Analysis and it's Applications, 1973, 7, 137-146.
2. Кадченко С. И.// Решение проблемы устойчивости плоского течения Куэтта.// Вестник МАГУ, 2003, 4, 80-99.
3. Скороходов С. Л. Численный анализ спектра задачи Оппа-Зоммерфельда.// ЖВМ и МФ, 2007, Т.47, 10, 1672-1692.
4. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск. "Наука", 1999.
5. Sone Y., Doi T., in Proc. of 24th Intern. Symp. on RGD, New York, 258-263, 2005.
6. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. Москва. "Наука", 1967.
7. Аристов В.В. Решения уравнения Больцмана при малых числах Кнудсена.// ЖВМ и МФ, 2004, Т.44, 6, 1127-1140.
8. Ильин О.В. Изучение существования решений и устойчивости кинетической системы Карлемана.// ЖВМ и МФ, 2007, Т.47, 12, 2082-2093.

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПОЛЯРОНА

Музрафов Д.З.

*ОИЯИ, Лаб. информ. технологий, г. Дубна, Россия*

Изучение динамики полярона представляет большой интерес для понимания механизмов переноса заряда и энергии в различных физических, химических и биологических структурах. Модель эволюции произвольного начального состояния квантово-механической системы в однородной среде описывается системой связанных квантово-

классических динамических уравнений. Стационарные решения этой системы определяются нелинейным уравнением Шрёдингера.

Поскольку проведение натурных экспериментов в этой области сопряжено с большими трудностями, а в некоторых случаях технически просто невозможно, особенно важную роль приобретает проведение вычислительных экспериментов. В настоящей работе исследуются численные схемы, разработанные для изучения эволюции полярона в однородной среде.

В работе [1] предложена система нелинейных уравнений для описания эволюции полярона. В частном случае, при учете сферической симметрии и для неподвижного полярона, с учетом трения эта система записывается в следующем виде:

$$\begin{cases} \left[ i2\bar{m}\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} + 2\bar{m}\frac{\varphi}{x} \right] \psi = 0, \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = \Theta, \\ \left[ \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial}{\partial t} + \omega^2 \right] \Theta = -\frac{\omega^2}{\tilde{\varepsilon}} \frac{|\psi|^2}{x}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\psi$  – волновая функция,  $\varphi$  – потенциал,  $\bar{m}$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $\tilde{\varepsilon}$  – безразмерные коэффициенты системы. Система (1) дополняется следующими начальными и граничными условиями:

$$\psi_0(x, t)|_{t=0} = \psi_n(\cos \lambda_n \tau + i \sin \lambda_n \tau),$$

$$\Theta(x, t)|_{t=0} = -\frac{1}{\tilde{\varepsilon}} \frac{\psi_n^2}{x}, \quad \frac{\partial}{\partial t} \Theta(x, t)|_{t=0} = 0, \quad (2)$$

$$\varphi(0) = 0, \quad \varphi(\infty) = 0.$$

Здесь  $\lambda_n$  и  $\psi_n$  собственные значения, и собственные функции соответствующей стационарной задачи [2].

Для решения системы (1)-(2) будем использовать следующую неявную конечно-разностную схему порядка аппроксимации  $O(h_t + h_x^2)$ :

$$\begin{cases} \frac{\psi_m^{n+1} - \psi_m^n}{h_t} = i \left\{ \sigma \left[ \frac{\psi_{m+1}^{n+1} - 2\psi_m^{n+1} + \psi_{m-1}^{n+1}}{2mh_x^2} + \varphi_m^{n+1} \psi_m^{n+1} \right] + \right. \\ \left. + (1-\sigma) \left[ \frac{\psi_{m+1}^n - 2\psi_m^n + \psi_{m-1}^n}{2mh_x^2} + \varphi_m^n \psi_m^n \right] \right\} \\ \frac{\varphi_{m+1}^{n+1} - 2\varphi_m^{n+1} + \varphi_{m-1}^{n+1}}{h_x^2} = \Theta_m^{n+1} \\ \frac{\Theta_m^{n+1} - 2\Theta_m^n + \Theta_m^{n-1}}{h_t^2} + \gamma \frac{\Theta_m^{n+1} - \Theta_m^n}{h_t} + \omega^2 \Theta_m^{n+1} = -\frac{\omega^2}{\tilde{\varepsilon}} \frac{|\psi_m^n|^2}{mh_x}, \end{cases} \quad (3)$$

$$\psi_m^0 = \Psi(\cos \lambda \tau + i \sin \lambda \tau); \quad \Theta_m^0 = -\frac{1}{\tilde{\varepsilon}} \frac{|\psi_m^0|^2}{mh_x}; \quad \Theta_m^1 = \Theta_m^0; \quad \varphi_0^n = 0; \quad \varphi_l^n = 0, \\ m = 1, 2, K, l; n = 1, 2, K$$

Для решения задачи (1)-(2) по схеме (3) можно использовать следующий алгоритм:

1. Решается третье уравнение при известном  $\psi$ ;
2. Решается второе уравнение для найденного  $\Theta$ ;
3. Решается первое уравнение и находится  $\psi$  на следующем временном слое;
4. Повторяется весь алгоритм.

Проверка сходимости численной схемы для первого уравнения, т.е. для уравнения Шредингера, проводилась на модельной задаче с кулоновскими потенциалами. Этот подход обусловлен тем, что в этом случае для уравнения Шредингера можно написать точные аналитические решения и произвести сравнительный анализ с численными результатами. С другой стороны, физическая постановка задачи требует решать систему (1) для безразмерных значений  $t$  из интервала  $0 < t < 10^5$ , т.е. учет накопления ошибок с возрастанием  $t$  также играет немаловажную роль. По результатам проведенного сравнительного анализа численных и точных решений уравнения Шредингера, выбирались значения шагов сетки  $h_x = 0,01$  и  $h_x = 0,001$ . При таком выборе шагов сетки максимальная абсолютная разность точной и численной решений не превышает значения  $10^{-4}$  для  $0 < t < 10^5$ .

Проверка численной схемы (3) по приведенному алгоритму для решения системы (1) в случае, когда в качестве начального условия для первого уравнения системы выбирались решения соответствующей стационарной задачи показали, что если при  $t = 0$  полярон находился в одном из состояний (нулевой или возбужденной), то до значений  $t < 10^5$  он сохраняется в этом состоянии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 06-01-00228 и № 05-01-00645-а.

muzafarov@jinr.ru

### Литература

- [1] Давыдов А.С., Энольский В.З. Трехмерный солитон в ионном кристалле. //ЖЭТФ, т. 81, вып. 3(9), 1981, стр. 1088-1098.
- [2] И. В. Пузынин и др. Обобщенный непрерывный аналог метода Ньютона для численного исследования некоторых нелинейных квантово-полевых методов. //ЭЧАЯ, т. 30, вып. 1, 1999, стр. 210-262.

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОГО КЛАССА АПОСТЕРИОРНЫХ ОЦЕНОК

Панин А.А.

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

### Введение

В процессе приближённого решения задач математической физики большую роль играет оценка погрешности [1]. Одним из наиболее общих методов такой оценки для эллиптических уравнений с коэрцитивной билинейной формой является предложенный С. И. Репиным метод двойственных мажорант [2]. Целью настоящей работы являлось экспериментальное изучение эффективности метода в применении к приближённому решению краевой задачи методом конечных элементов.

### Задача

В применении к задаче Дирихле для уравнения Пуассона

$$\Delta u = -f, u|_{\partial\Omega} = 0$$

метод двойственных мажорант позволяет получить оценку вида

Здесь  $u$  — точное,  $v$  — приближённое решение,  $C_\Omega$  — константа в неравенстве Пуан-

$$\|\nabla(u-v)\|^2 \leq (1+\beta)\|\nabla v - y\|^2 + C_\Omega(1+1/\beta)\|divy + f\|^2 \equiv M^2(v, \beta, y)$$

каре—Фридрихса,  $\beta > 0$  — произвольное число,  $y$  — произвольная функция из  $H(\Omega, div)$ . Достоинство оценки в том, что она содержит лишь одну подлежащую определению константу, применима для любой функции  $v$ , удовлетворяющей граничному условию, и достигает точного значения ошибки при минимизации по  $\beta$  и  $y$ . Недостаток — необходимость упомянутой минимизации.

В нашей работе были проведены 3 серии численных экспериментов для одномерного аналога уравнения Пуассона  $u'' = -f$ . Во всех сериях отрезок разбивался на  $N$  частичных отрезков, при этом  $v$  разыскивалось как непрерывная функция, полиномиальная на каждом отрезке разбиения. Для  $y$  использовалось более мелкое разбиение, получающееся делением каждого из  $N$  отрезков ещё на  $n \geq 1$  отрезков, и  $y$  выбиралась непрерывной и полиномиальной на каждом из отрезков мелкого разбиения функцией. Степени полиномов выбирались так: I серия соответственно 1 и 1, II — 3 и 2, III — 3 и 3. Номера таблиц ниже соответствуют номерам серий. Во всех случаях функционал  $M^2$  после дискретизации по  $y$  представлялся в виде квадратичного функционала на конечномерном евклидовом пространстве. Для минимизации этого функционала использовался метод сопряжённых градиентов.

По результатам экспериментов можно сделать следующие наблюдения.

1. Предложенный в [2] метод действительно позволяет найти гарантированную оценку ошибки сверху.
2. В случае, когда правая часть может быть *точно* приближена производной функции  $y$ , оценка практически точно приближает ошибку уже при  $n=1$ .
3. При усложнении вида правой части (использовались полиномы различной степени и тригонометрические функции) эффективность оценки при тех же затратах несколько уменьшается, но сходимость оценки при  $n \rightarrow \infty$  к точному значению ошибки не исчезает.
4. Требование, чтобы степень  $y$  была не меньше степени конечных элементов, выбранных для  $v$ , существенно для эффективности, как показывает сравнение II серии с I и III. Исключение — случай, описанный в п. 2.

В таблицах приведены значения т. н. показателя эффективности, равного  $\frac{M^2(v, \beta_{onm}, y)}{\|u'-v\|^2}$ , где функция  $y$  выбиралась вышеописанной конечномерной минимизацией, а  $\beta_{onm}$  находилось отдельной процедурой минимизации по  $\beta$  ([3], формула (48) и далее). В графах под шапкой вида  $f = \dots$  указаны нормы невязки  $\|u'-v\|^2$  для данной правой части. Ограниченный объём текста не позволил привести все результаты расчётов.

Таблица I.

$N$	$n$	$f = 2$	$I_{\text{эфф}}$	$\beta_{onm}$	$f = x^2$	$I_{\text{эфф}}$	$\beta_{onm}$
10	1	$3,3333 \cdot 10^{-3}$	1,0003	$2,66 \cdot 10^{-4}$	$1,6574 \cdot 10^{-4}$	3,3129	$8,31 \cdot 10^{-1}$
	5		1,0003	$3,19 \cdot 10^{-4}$		1,3553	$1,66 \cdot 10^{-1}$
	10		1,0005	$3,69 \cdot 10^{-4}$		1,1708	$8,29 \cdot 10^{-2}$
20	1	$1,4977 \cdot 10^{-5}$	1,0000	$3,37 \cdot 10^{-5}$	$4,1609 \cdot 10^{-5}$	3,3176	$8,24 \cdot 10^{-1}$
	5		1,0000	$4,47 \cdot 10^{-5}$		1,3557	$1,65 \cdot 10^{-1}$
	10		1,0000	$4,67 \cdot 10^{-5}$		1,1711	$8,24 \cdot 10^{-2}$

Таблица II.

$N$	$n$	$f = x^2$	$I_{\phi\phi}$	$\beta_{onm}$	$f = \sin 3\pi x$	$I_{\phi\phi}$	$\beta_{onm}$
10	1	$1,1918 \cdot 10^{-10}$	$4,8425 \cdot 10^2$	$9,21 \cdot 10^1$	$7,9395 \cdot 10^{-4}$	$5,6026 \cdot 10^2$	$5,80 \cdot 10^1$
	5		3,4914	$8,72 \cdot 10^{-1}$		3,7572	$9,42 \cdot 10^{-1}$
	10		1,4814	2,18		1,5244	$2,35 \cdot 10^{-1}$
20	1	$1,9645 \cdot 10^{-12}$	$1,8078 \cdot 10^3$	$2,42 \cdot 10^2$	$1,4977 \cdot 10^{-5}$	$1,8390 \cdot 10^3$	$2,01 \cdot 10^2$
	5		7,2495	1,70		7,3429	1,71
	10		2,0253	$4,23 \cdot 10^{-1}$		2,0377	$4,28 \cdot 10^{-1}$

Таблица III.

$N$	$n$	$f = x^2$	$I_{\phi\phi}$	$\beta_{onm}$	$f = \sin 3\pi x$	$I_{\phi\phi}$	$\beta_{onm}$
10	1	$1,1918 \cdot 10^{-10}$	1,0001	$5,10 \cdot 10^{-5}$	$7,9395 \cdot 10^{-4}$	7,9743	1,90
	5		1,0001	$5,67 \cdot 10^{-5}$		1,0301	$1,50 \cdot 10^{-2}$
	10		1,0001	$5,74 \cdot 10^{-5}$		1,0037	$1,87 \cdot 10^{-3}$
20	1	$1,9645 \cdot 10^{-12}$	1,0000	$6,75 \cdot 10^{-6}$	$1,4077 \cdot 10^{-5}$	7,2390	1,71
	5		1,0003	$1,33 \cdot 10^{-5}$		1,0274	$1,36 \cdot 10^{-2}$
	10		1,0002	$8,87 \cdot 10^{-5}$		1,0034	$1,70 \cdot 10^{-3}$

E-mail: a-panin@yandex.ru

### Литература

- Самарский А. А. (1982) Введение в численные методы. М., Наука, 1982.
- Репин С. И., Фролов М. Е. (2002) Об апостериорных оценках точности приближённых решений краевых задач для уравнений эллиптического типа. // ЖВМиМФ, том 42, № 12, с. 1774—1787.
- Repin S., Sauter S., Smolianski A. (2005) Two-sided a posteriori error estimates for mixed formulations of elliptic problems. // Institut für Mathematik der Universität Zürich. Препринт 21-05. Доступен по адресу <http://www.math.unizh.ch/fileadmin/math/preprints/21-05.pdf>.

Автор благодарит проф., д. ф.-м. н. Боголюбова А. Н., и к. ф.-м. н. Малых М. Д. и проф., д. ф.-м. н. Яголу А. Г. за многочисленные консультации в процессе работы.

## ОПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИЯ НА ФРАКТАЛЬНЫХ РЕШЕТКАХ

Петухов А.А.

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

Теория фракталов активно используется в различных областях науки, в том числе и в физике. С одной стороны, построение фрактальных моделей различных явлений и систем позволяет дать их математическое описание, объяснить наблюдаемые свойства. С другой стороны, использование фрактальных распределений вместо классических позволяет выявить новые, зачастую уникальные свойства многих объектов.

К настоящему времени обнаружено большое число физических объектов, имеющих «фрактальный профиль», а также процессов, приводящих к появлению подобных объектов [1]. Фундаментальной характеристикой фрактала является его размерность [2], [3]. Эффективным методом определения фрактальной размерности объек-

та является метод оптического преобразования Фурье [4], основанный на изучении дифракционных картин, полученных в результате дифракции света на фрактальных решетках. Как показано в [5]-[6], при дифракции на фрактальных решетках образуется самоподобная картина, причем, анализируя распределение интенсивности на ней, можно определить фрактальную размерность решетки. Этот метод распространяется на произвольные детерминированные и случайные фракталы [7].

В процессе работы было создано программное обеспечение, моделирующее дифракцию на решетках, построенных на основе фрактала Кантора. Результаты моделирования хорошо согласуются с результатами теоретических и экспериментальных исследований, представленных в [5].

В настоящее время ведутся работы по уточнению алгоритма расчета фрактальной размерности по дифракционной картине. Кроме того, изучаются свойства плоских волноводов с фрактальным распределением диэлектрической проницаемости.

*E-mail: andrew.pet@mail.ru*

### Литература

1. Потапов А.А. *Фракталы в радиофизике и радиолокации: топология выборки*. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Университетская книга, 2005.
2. Б. Мандельброт *Фрактальная геометрия природы*. – Ижевск: РХД, 2001.
3. Яновский В. В. *Фракталы. Возникновение новой парадигмы в физике..*
4. Боголюбов А.Н., Петухов А.А., Шапкина Н.Е., ВМУ. Физика. Астрономия. №2, 2008.
5. C. Allain and M. Cloitre, Phys. Rev. B **33**, 3566 (1986).
6. Bo Hou, Gu Xu, Weija Wen and George K. L. Wong, Appl. Phys. Lett. **85**, 6125 (2004).
7. К. Аллен, М. Клуатр *Экспериментальное исследование двумерной агрегации//Фракталы в физике*: Пер. с англ.; Под ред. Я. Г. Синая и И. М. Халатникова. – М.: Мир, 1988. С. 395-398.

## ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СПИРАЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ДИНАМО ПАРКЕРА И СРАВНЕНИЕ С НАБЛЮДАЕМЫМИ ДАННЫМИ

\*Попова Е.П., Нефедов С.Н.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

Считается, что физической причиной 11-летнего цикла солнечной активности является самовозбуждение магнитного поля вследствие работы механизма гидромагнитного динамо. Этот механизм основан на совместном действии дифференциального вращения и т.н. альфа-эффекта, отражающего зеркальную асимметрию конвекции замагниченной солнечной плазмы. Мерами этой асимметрии являются т.н. гидродинамическая и магнитная спиральность. До недавнего времени астрономия не располагала прямыми наблюдениями этих величин, однако в последнее время некоторым научным группам удалось начать мониторинг по наблюдению магнитной спиральности в активных областях Солнца. В связи с этим становится актуальной задача предсказания на основе теории динамо поведения магнитной спиральности на протяжении солнечного цикла. В докладе мы решаем эту задачу в рамках известного подхода Паркера [1].

Мы провели построение баттерфляй-диаграмм для магнитной спиральности в нескольких приближениях, входящих в подход Паркера. Во-первых, мы построили эти

---

\* Доклад отмечен жюри как лучший на подсекции.

диаграммы для случая эффективной генерации магнитного поля (больших динамо-чисел), используя соответствующее асимптотическое решение уравнений солнечного динамо, полученное в работе [2]. Далее, используя то же решение, мы выяснили, как на вид интересующих нас диаграмм влияет меридиональная циркуляция. Наконец, на основе маломодового приближения, справедливого для умеренных динамо-чисел, мы построили баттерфляй-диаграммы и в этом приближении [3].

В докладе обсуждаются, какие черты баттерфляй-диаграмм оказываются общими во всех этих приближениях. Эти устойчивые черты можно надеяться сравнить с наблюдательными данными.

*E-mail: popovaelp@phys.msu.ru*

### Литература

1. Parker E.N. (1955) *Astrophys. J.*, 122, 293.
2. Попова Е.П., Решетняк М.Ю., Соколов Д.Д. Меридиональная циркуляция и распространение динамо-волн, Астрономический журнал, №1, 2008.
3. Соколов Д.Д., Нефедов С.Н. Маломодовое приближение в задаче звездного динамо, Вычислительные методы и программирование, 2007, 8, с. 195-204.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В СКРЕЩЕННЫХ МАГНИТНОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЯХ

Халин К.А.

*Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия*

Будем рассматривать тонкий слой жидкости (рис.1). Принимаем, что магнитное поле имеет неизменную индукцию  $\vec{B} = \text{const}$  внутри окружности радиуса  $R$ , на границе испытывает разрыв, а вне круга  $\vec{B} = 0$ .

Под действием электрического поля в жидкости идет электрический ток с плотностью, зависящей от напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и проводимости  $\gamma$ :  $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ .

На жидкость со стороны магнитного поля действует горизонтальная сила с удельной плотностью  $\vec{f} = \vec{j} \times \vec{B}$ . Считаем, что жидкость достаточно вязкая, поэтому инерционными свойствами жидкости можно пренебречь. Для тонкого слоя сила трения по горизонтали несущественна и главной оказывается сила трения по вертикали, а также прилипание жидкости к подложке, характерное для жидкого трения.

Первоначально рассматриваем состояние покоя. Равнодействующая силы тяжести и магнитной силы направлена под углом к вертикали. Соответственно, поверхность жидкости ортогональна указанной равнодействующей  $\vec{f}_\delta$  и направлена под углом к горизонту (рис. 2).

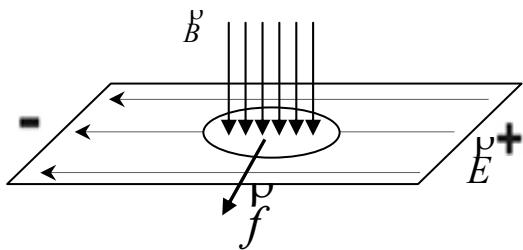


Рис. 1.

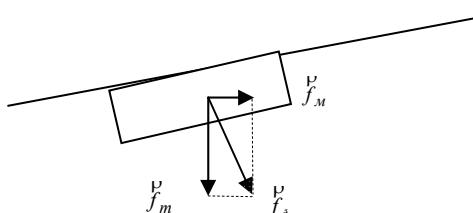


Рис. 2.

При  $\vec{B} = \text{const}$ , в первом приближении (не учитывая динамических процессов), поверхность просто наклоняется.

Если жидкость течет, следует учесть также вязкую силу  $f_d$ . В одномерном представлении  $f_i - f_d \sin \alpha - f_d = 0$ .

Если не учитывать вязкую силу ( $f_d = 0$ ), то  $f_i = f_d \sin \alpha$ . Выразим  $\sin \alpha$ :  $\sin \alpha = \frac{f_i}{f_d} = \frac{j \cdot B}{g \cdot \rho}$ , при малых углах  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ ,  $\alpha \equiv \frac{jB}{g\rho}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\rho$  – плотность жидкости. Зная  $\sin \alpha$  можно найти изменение высоты под действием магнитной силы от координаты  $x$ :  $\Delta h = \frac{xjB}{\rho g}$ .

Для упрощения задачи используем дипольное представление при расчете течения жидкости вне области воздействия магнитного поля. Представим слой жидкости, находящийся в поле действия силы, как распределенный механический диполь. Удельный

(на единицу длины) потенциал действующей силы равняется  $p_L = \rho g \Delta h = jBx$  (рис. 3).

Исходя из этого, находим интегральный потенциал действующей магнитной силы:  $P_L = I_L B \frac{2R^3}{3}$ .

Потенциал дипольного момента создает силовое поле, характеризующееся удельной силой  $f = \frac{3(\bar{P}_L \bar{r})\bar{r}}{r^5} - \frac{\bar{P}_L}{r^3}$ . В соот-

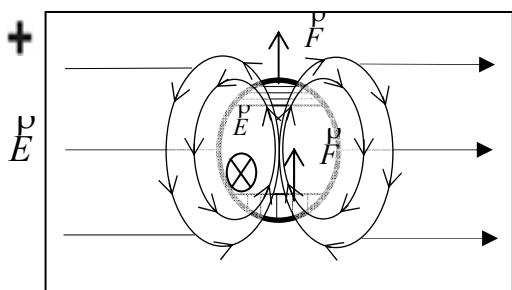


Рис. 3. Наблюдаемая система вихрей.

ветствии с вышесказанным, эта сила вызывает движение жидкости, представляющее собой систему вихрей, вращающихся в противоположные стороны и имеющие общую точку в месте расположения диполя. Скорость жидкости при этом зависит от приведенной вязкости жидкости  $\dot{\rho} = \dot{f} / \lambda$ .

Теоретические оценки были подтверждены экспериментом. Во время проведения эксперимента на поверхности жидкости наблюдалось образование противоположно вращающихся вихрей, имеющих общую точку в центре кюветы. Интенсивность вихревого движения прямо зависела от силы тока, проходящего через раствор, и также зависела от концентрации раствора. При изменении направления постоянного тока направление вихрей изменялось на противоположное.

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

#### Литература

- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., 2003.

## РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Эрский А.Ф.

Марийский гос. технический университет, Йошкар-Ола, Россия

В данной работе предлагается методика расчета геометрически нелинейных плит на упругом основании. Известно достаточно большое количество публикаций как по расчету геометрически нелинейных плит, так и плит на упругом основании. Учет геометрической нелинейности при расчете таких плит позволяет более точно оценить напряженно-деформированное состояние при перемещениях сравнимых с ее толщиной.

Рассматриваем прямоугольную пластину, лежащую на упругом винклеровском основании с коэффициентом постели  $k$ , при действии на нее равномерно распределенной нагрузки  $q$ . Вдоль всех кромок пластина опирается на абсолютно жесткие в своей плоскости диафрагмы и гибкие из нее (рис.1).

Решение находим исходя из уравнений равновесия и совместности деформаций для гибкой пластины [1]. Получаем систему двух нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{E\delta} \nabla^4 \Phi - \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2 + \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = 0 \\ & D \nabla^4 \omega - \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) = q - k\omega \end{aligned} \right\}$$

Используя граничные условия, ищем решение уравнений в рядах. Получаем следующее уравнение для прогиба (принимаем  $a/b=1$ ):

$$\frac{f}{\delta} + \frac{128(1-\mu^2)}{3\pi^4} \frac{f^3}{\delta^3} + \frac{Bkf\pi^2}{64q} = B,$$

$$\text{где } B = \frac{4qa^4}{\pi^6 D \delta}$$

Уравнение позволяет провести качественный анализ решения задачи об изгибе гибкой квадратной пластины на упругом основании.

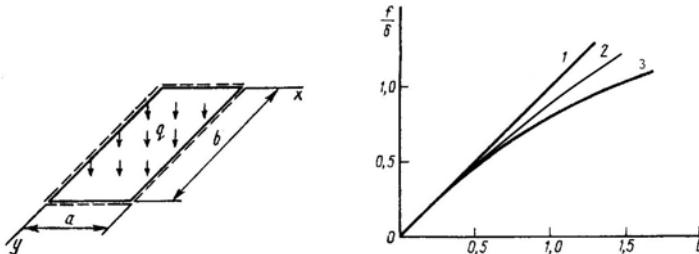


рис.1

рис.2

На рис. 2 представлены графики зависимости  $\frac{f}{\delta}(B)$ : 1 – для жесткой; 2 – для гибкой; 3 – для гибкой на упругом основании пластины.

### Литература

1. Александров А.В., Потапов В.Д. (1990) Основы теории упругости и пластичности // Высшая школа

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель подсекции  
проф. Чуличков Алексей Иванович

### К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ, ПОДОБНЫХ ТЕЧЕНИЮ КУЭТТА-ТЕЙЛORA, В ОБЛАСТИ КРИТИЧЕСКИХ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА

Балдин В.А.

*Объединённый инст. пробл. информатики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Проведено компьютерное моделирование течения вязкой жидкости, возникающего между коаксиальными цилиндрами, внутренний из которых вращается (течения Куэтта-Тейлора [1,2]) в области докритических и критических частот вращения внутреннего цилиндра (чисел Рейнольдса). Найденное в результате расчёта критическое число Рейнольдса, при котором образуются вихри Тейлора [1], согласуется с имеющимся в литературе [1]. Получены зависимости компонент поля скоростей образующегося вихревого движения от цилиндрических координат.

Рассмотрена модель в виде суперпозиции базисных функций (волн), описывающая малые возмущения, налагающиеся на основное течение произвольной формы. Рассмотрение проводилось на основе уравнений Навье-Стокса, неразрывности [1,3], а также предложенного выражения, описывающего зависимость давления текущей среды от скорости для случая нестационарного течения вязкой жидкости. При выборе в качестве базиса набора плоских волн получены ограничения, налагаемые на возможные конфигурации возмущения в случае малых чисел Маха (несжимаемой жидкости) и стационарных возмущений. Стационарность подразумевается в том смысле, что поле скоростей может изменяться лишь за счёт действия сил внутреннего трения, не изменяясь при этом по форме.

Из полученных результатов, в частности следует завихрённость первичных возмущений вокруг направления основного течения для системы Куэтта-Тейлора и ряда других систем, таких как течение вблизи вращающегося в жидкости диска [1,4], вблизи вогнутой поверхности [5,6] и др. Аналогичным образом возможно также исследовать вторичные возмущения и т.д.

*E-mail: delfinarium@tut.by*

#### Литература

1. Шлихting Г. (1974) Теория пограничного слоя. М.: Наука.
2. Балдин В.А., (2005) Аналитическое построение аттрактора, описывающего динамику слаботурбулентного течения Куэтта-Тэйлора // Информатика, №3(7), с. 8-24.
3. Ландау Л.Д., Либшиц Е.М. (1986) Гидродинамика. М.: Наука. Cadwallader, M.T. (1992) Migration and Residential Mobility: Macro and Micro Approaches. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.
4. Baldin, V., Krot, A. (2006) Analytical investigation of the flow near rotating disk in Reynolds number region close to turbulence onset using attractor and matrix decomposition methods // Proc. of EGU- 3<sup>rd</sup> General Assembly, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, vol.7, SRef-ID: 1607-7962/gra/ EGU05-A-01307.

5. Baldin, V.A., Krot, A.M., Minervina, H.B. (2006) The development of model for boundary layers past a concave wall with usage of nonlinear dynamics methods // Advances in Space Research, V. 37, № 3. p. 501-506.
6. Baldin, V.A., Krot, A.M. (2006) The attractor model for finite length Görtler whirlwinds // International Journal “Electromagnetic Waves and Electronic Systems”, №2-3, V.11, p. 33-40.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Барсуков Е.В., Анохина М.В.

*МИЭТ (техн. университет), Москва, Россия*

Контроль и измерение температуры является одной из наиболее часто встречающихся задач в науке и технике. В связи с этим, в настоящее время, данной проблеме уделяется большое внимание, как со стороны исследователей в области термодинамики, так и со стороны разработчиков и производителей средств измерения и контроля температуры. Трудно найти область жизнедеятельности человека, где бы ни требовалась измерения температуры. Согласно статистическим данным до 40% всех измерений, а в энергетике 70% - температурные измерения. Для исследования и калибровки электронных средств измерения температуры и температурных датчиков в интервале от минус 75<sup>0</sup>С до 400<sup>0</sup>С нами разработан автоматизированный измерительный комплекс.

С целью повышения эффективности работы нами реализована концепция построения измерительных комплексов с программно-изменяемой конфигурацией. Концепция базируется на системной интеграции технических и программных средств. В качестве среды для разработки управляющих программ измерительного комплекса предлагаются собственные программные продукты и пакет LabView фирмы National Instruments. К замечательным возможностям предлагаемой концепции необходимо отнести возможность удаленного управления процессом измерений через Internet. Последнее свойство особенно перспективно для системы образовательных учреждений в учебных целях.

Автоматизированный измерительный комплекс предназначен для поверки и калибровки средств измерения температуры в диапазоне от минус 75<sup>0</sup>С до + 400<sup>0</sup>С, с погрешностью измерения до 0,01<sup>0</sup>С. Комплекс оснащен аппаратно-программными средствами, которые позволяют: проводить сбор и хранение данных, осуществлять расчет параметров с использованием определенных математических моделей и отображать графически полученные результаты. Для управления процессом исследований создана микропроцессорная система. Взаимодействие с этой системой через ПК осуществляется при помощи программного обеспечения, реализованного в среде программирования LabVIEW.

Преимуществами рассматриваемого измерительного комплекса являются: высокая точность измерений, расширенный диапазон температур исследований, автоматизация процесса исследований, возможность проведения дистанционных исследований. Кроме того, реализованная в данной работе концепция построения измерительных комплексов, позволяет: создавать универсальные, быстро перестраиваемые измерительные системы на основе стандартных измерительных приборов; обеспечивать высокую степень автоматизации, воспроизводимости и объективности процесса исследований.

По результатам работы получено два свидетельства (№ 2008610055, № 2007614861) и оформлены две заявки на регистрацию программного обеспечения в Российском агентстве по патентам.

## УМЕНЬШЕНИЕ АРТЕФАКТОВ БЛОЧНОСТИ В JPEG-ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Голубев М.А., Шмаглит Л.А.

*Ярославский гос. университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия*

При проектировании телевизионной или компьютерной видеосистемы с цифровой компрессией возникает следующая основная задача. С одной стороны необходимо обеспечить высокую эффективность сжатия, с другой – сохранить качество изображения с минимальными искажениями. В настоящее время стандарт JPEG, основанный на дискретном косинусном преобразовании (ДКП), считается одним из наиболее эффективных методов кодирования статических изображений [1]. Анализ современных источников показывает, что наиболее заметным для зрительной системы человека искажением, проявляющимся при JPEG-сжатии изображения, является блочность [2]. В данной работе предлагается алгоритм эффективного неэталонного измерения и удаления артефактов блочности изображений сжатых с использованием ДКП.

Процесс реализации предлагаемого алгоритма можно разделить на три основных этапа: оценка значения блочности на границе двух соседних блоков, нахождение краевых блоков и классификация границ блоков на три типа с последующей постобработкой. Остановимся подробно на каждом из этапов.

1. Для вычисления значения блочности между соседними блоками  $8 \times 8$  декодированного изображения рассмотрим так называемый «смещенный» блок, сдвинутый вправо на четыре пикселя относительно верхнего левого угла изображения. Представим математическую модель данного блока в виде следующего уравнения:

$$\hat{b}(i, j) = \beta \cdot s(i, j) + \mu + r(i, j); i, j = 0, K, 7,$$

где  $\beta$  – амплитуда двумерной пороговой функции  $s(i, j)$ ,  $\mu$  – среднее значение интенсивности пикселей внутри блока,  $r(i, j)$  – элемент, характеризующий локальную статистику в смещенном блоке.

Значение блочности на вертикальной границе двух соседних блоков  $\eta$  определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{|\beta|}{(1 + A_v + \alpha A_h)(1 + (\mu/\mu_0)^\gamma)},$$

где  $A_h$  и  $A_v$  – факторы, характеризующие локальные статистики для горизонтальных и вертикальных границ:  $A_h = \sum_{u=1}^7 u \sum_{v=0}^7 |R(u, v)|$ ,  $A_v = \sum_{v=1}^7 v \sum_{u=0}^7 |R(u, v)|$ ,  $R(u, v)$  – ДКП от  $r(i, j)$ ,  $\alpha = 0,8$ ,  $\mu_0 = 150$  и  $\gamma = 2$ .

Для нахождения блочности на горизонтальной границе может быть применен аналогичный метод.

2. Для нахождения краевых блоков в изображении сформируем новое модифицированное изображение размером  $N/8$  ( $N$  – размер исходного изображения в пикселях). ДКП преобразование от каждого пикселя нового изображения представляет собой по-

стоянную составляющую соответствующего ДКП блока исходного изображения. Исходя из информации о соседях для каждого пикселя полученного изображения, определяем расположение краевых блоков в исходном декодированном изображении.

3. Опираясь на информацию, полученную на двух предыдущих этапах, производим классификацию всех границ с последующей постобработкой каждого класса.

Результаты работы алгоритма представлены на рис. 1. Видно, что эффект блочности был в значительной степени устранен, при этом произошло лишь незначительное размытие границ объектов изображения. Об улучшении качества изображения говорит и увеличение на 4 дБ пикового отношения сигнал/шум (ПОСШ) [3], значения которого также приведены на рисунке.



а) ПОСШ = 26,01 дБ



б) ПОСШ = 30,23 дБ

Рис. 1. Устранение артефактов блочности для JPEG-кодированного изображения Lenna:  
а) JPEG-изображение; б) обработанное изображение

Результаты работы алгоритма для различных изображений и коэффициентов сжатия приведены в табл. 1. Ее анализ говорит об эффективности данного алгоритма, что подтверждает увеличение значения ПОСШ. Этот факт свидетельствует о более высоком качестве обработанного изображения. Кроме того, применение алгоритма обеспечивает выигрыш с точки зрения временных затрат, при вычислительной сложности, сопоставимой с аналогичными алгоритмами. Данное преимущество обеспечивается за счет постобработки только части блоков, а не всего изображения. Все это указывает на актуальность проведения дальнейших работ в данной области исследований.

Таблица 1.

Демонстрация эффективности алгоритма удаления артефактов блочности

Изображение	Коэффициент сжатия	ПОСШ (дБ)	
		JPEG	Предлагаемый алгоритм
Лена	36.87	29.47	30.27
Золотой холм	35.24	27.90	28.40
Перцы	36.2	29.91	29.93
Самолет	33.33	28.72	29.33

E-mail: maksimgolubev@yandex.ru

### Литература

- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений – М.: Техносфера, 2005.

2. Сай С.В. Оценка четкости изображения в стандарте JPEG // Докл. 2-й межд. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение» (DSPA-2000). Москва. 2000. Т. 2, С. 93-97.
3. Приоров А.Л., Апальков И.В., Хрящев В.В. Цифровая обработка изображений: учебное пособие / Яросл. гос. ун-т. – Ярославль. 2007.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПАКОВОК ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Житков И.К.

*Владимирский гос. пед. университет, Владимир, Россия*

Задача прогнозирования (prediction) структур молекулярных кристаллов становится все более актуальной. Это объясняется возрастающим интересом к таким явлениям, как кристаллический полиморфизм и фазовые переходы, возникновение которых напрямую зависит от самой возможности существования различных кристаллических структур одного и того же химического соединения. Ранее нами предложен новый подход к генерации кристаллических структур, основанный на использовании метода дискретного моделирования упаковок [1].

Для химического соединения, описанного ранее в [2], проведено математическое моделирование кристаллической структуры методом дискретного моделирования упаковок. Модель молекулы по заданной структурной формуле была определена с помощью квантово-механических расчетов. В результате генерации структур выявлены 274 возможных моделей (фаз). Сравнительный геометрический и энергетический анализ, проведенный по алгоритму, предложенному в [3], показал возможность существования фазового перехода для кристаллической структуры данного химического соединения. На рис. 1. представлены проекции кристаллических структур высокотемпературной фазы соединения [2] вдоль оси *a*.

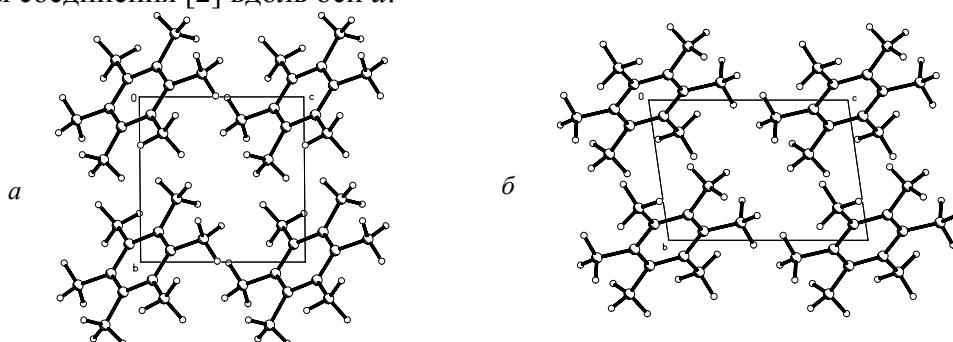


Рис.1. Проекции кристаллических структур вдоль оси *a*.  
(*a* – низкотемпературная фаза, *б* – высокотемпературная фаза).

В докладе представлены алгоритмы генерации структур гомо- и гетеромолекулярных соединений, комплекс компьютерных программ, созданный на основе предложенных алгоритмов, приведены примеры его апробации, а также показана возможность использования метода дискретного моделирования упаковок для предсказания фазовых переходов в молекулярных кристаллах.

*E-mail:* [zhitkov@vgpu.vladimir.ru](mailto:zhitkov@vgpu.vladimir.ru), [vzik2004@mail.ru](mailto:vzik2004@mail.ru)

### Литература

1. Малеев А.В., Рай В.Г., Потехин К.А. и др. (1990) Метод дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах. // Докл. АН СССР. Т.315. №6. С.1382.

2. John A. Stride (2005) Determination of the low-temperature structure of hexamethylbenzene. // *Acta Cryst.* B61, 200–206  
 3. Малеев А.В., Житков И.К., Потехин К.А. (2008) Математическое моделирование и рентгеноструктурное исследование кристаллической структуры 1-фенил-1-*трет*-бутил-3-метил-1,3-дигидроизобензофурана. // *Кристаллография*. Т.53. №3. С.463.

## О МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Журавлев А.В.

*Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия*

В работе [1] был предложен метод построения точно интегрируемых нелинейных уравнений в частных производных, которые линеаризуются с помощью обобщенных подстановок Коула-Хопфа. В данной работе показывается, что данный метод может быть перенесен на случай дискретных нелинейных моделей. В работе получен общий вид дискретных уравнений двух переменных, линеаризуемых с помощью подстановок и общий вид самих подстановок для двух случаев определения дискретной производной.

Следующая часть работы посвящена установлению общей связи между вспомогательными линейными дискретными моделями типа двумерной авторегрессии и нелинейными линеаризуемыми уравнениями. Указан метод вычисления формы линеаризуемой нелинейной модели по коэффициентам двумерной авторегрессии для вспомогательного линейного процесса. Приведены тестовые расчеты построения моделей на основе такой методики.

[1] Журавлев В.М., Никитин А.В. Нелинейный мир. // 2007. Т. 5. № 9. С. 603-611.

## ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД ФИТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ ЕЕ ВРЕМЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Калиновский А.А.

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*

В общем случае, динамическая система с непрерывным временем описывается следующим набором дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = v_i = f_i(t, x_1, x_2, \dots), \quad (1)$$

где  $x_i$  - координата вектора в фазовом пространстве состояний рассматриваемой системы. Часто, например, при проведении натурного эксперимента или моделировании, у нас имеются в распоряжении временные реализации исследуемых процессов:

$$x_i(t_k), \quad (2)$$

где  $t_k$  - дискретный момент времени, в который производилось измерение или запись результатов расчета модели на каком-то шаге итерации.

Исходя из данных временной выборки, изучаемой динамической системы, возникает задача восстановления внешнего вида системы [2,3] дифференциальных уравнений (1). Конечно, сделать это в общем случае невозможно, однако, поставленную задачу можно приближенно решить, если заранее предположить вид правой части системы (1). В статье [1] предлагается использование метода наименьших квадратов для реализации фитирования, однако авторы заранее знают вид правой части системы (1) для фитирующей временной реализации (2).

Принимается представление правых частей системы (1) в виде линейного разложения по заданному базису функций:

$$f_i = \sum_l c_{il} \cdot \varphi_{il}(\{x_m\}, t), \quad (3)$$

где  $c_{il}$  - неизвестная матрица параметров, а  $\varphi_{il}(\{x_m\}, t)$  - заранее задаваемая матрица функций, которыми мы аппроксимируем систему. Для нахождения матрицы параметров  $c_{il}$ , используется метод наименьших квадратов, для чего минимизируемые функционалы выбираются следующим образом:

$$\Phi_i = \sum_k (v_i^k - f_i^k(c_{il}, \{x_m\}, t))^2. \quad (4)$$

Используя условия экстремума  $\partial\Phi_i / \partial c_{ij} = 0$ , получается, что нахождение неизвестной матрицы коэффициентов  $c_{ij}$  сводится к следующей системе линейных алгебраических уравнений размера  $I \times J$ :

$$\sum_k (v_i^k \cdot \varphi_{ij}^k) - \sum_l c_{il} \cdot (\sum_k \varphi_{ij}^k \cdot \varphi_{il}^k) = 0, \quad (8)$$

Основную погрешность при восстановлении коэффициентов  $c_{il}$  вносит численное вычисление производных  $v_i^k$ , что особенно важно при исследовании быстроменяющихся фазовыми переменными (например, при выходе системы на хаотический режим).

E-mail: [akarak@newman.bas-net.by](mailto:akarak@newman.bas-net.by)

#### Литература

1. Baker G. L., Gollub J. P., Blackburn J. A. (1996) Inverting chaos: Extracting system parameters from experimental data // Chaos. Vol. 6.-P. 528-533.
2. Wolf A., Swift J.B., Swinney H.L. Vastano J.A. (1984) Determining lyapunov exponents from a time series // Physica D. Vol. 16. – P. 285-317.
3. Кузнецов С. П. (2001) Динамический хаос (курс лекций) / М.: Физматлит, 2006.

## АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ИНТЕГРАЛА

Козлов А.А.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

В последнее время методы, используемые в нелинейной динамике, все чаще находят свое применение в ряде прикладных задач. В частности, для работы с временными рядами любой природы (геофизика, метеорология, медицина, финансы) был развит целый раздел науки, объединенный названием «анализ временных рядов» и вовравший в себя методы как нелинейной динамики, так и фрактального анализа ([5], [6]). Появление этого раздела явились большим прогрессом в деле анализа структуры временных рядов, так как новые предложенные методы являются альтернативными по отношению

к уже известным статистическим методам анализа. Поэтому подобный анализ все чаще применяется в экономике для обработки информации в виде временных рядов котировок акций компаний.

Рынок ценных бумаг в общем нестабилен и хаотичен, поэтому предсказать ход котировок в будущем чрезвычайно сложно. В этих условиях любой способ получения дополнительной информации может принести пользу ее обладателю. В нелинейной динамике существует несколько методов, позволяющих решить задачу идентификации и задачу прогноза для практически любого временного ряда. Данный доклад посвящен решению первой задачи для финансовых временных рядов (в виде котировок акций) с помощью метода корреляционного интеграла (метод Грассбергера-Прокаччиа, [1], [2]). Причем здесь под задачей идентификации в общем смысле подразумевается нахождение параметров системы, породившей данный ряд.

Таким образом, было показано, как с помощью метода корреляционного интеграла находятся такие параметры как: размерность вложения (минимальное число динамических переменных, однозначно описывающих наблюдаемый процесс) и фрактальная размерность аттрактора системы, порождающий ряд. Несмотря на существование некоторых ограничений ([4]), применимость данного метода к реальным временным рядам котировок акций была засвидетельствована на конкретных примерах (котировки NYSE из источника [7]: Bank of America Corp., ConocoPhillips, Honda Motor Co. Ltd. и др.). Полученные значения размерности вложения (4 - 6) показывают, сколькими предыдущими значениями временного ряда определяется его следующее значение, то есть оказывают большую помощь в применении к задаче прогноза. Фундаментальность результатов состоит в том, что они косвенно указывают на хаотическую природу системы биржевой оценки цены акции ([3],[4]).

E-mail: [kozlov@polly.phys.msu.ru](mailto:kozlov@polly.phys.msu.ru)

#### Литература

- [1] P. Grassberger, I. Procaccia, "Characterization of Strange Attractors", Phys.Rev.Lett.,50,346, 1983
- [2] P. Grassberger, I. Procaccia,"Estimation of the Kolmogorov Entropy from a Chaotic Signal",Phys.Rev.A,vol.28,4,1983,p.2591-2593
- [3] С.П. Кузнецов, "Динамический хаос", 2001
- [4] Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов, "Современные проблемы нелинейной динамики", М: УРСС, 2002
- [5] А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов, "Введение в синергетику", М.:Наука, 1990
- [6] А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов, "Основы теории сложных систем", РХД, 2007
- [7] <http://finance.yahoo.com>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ НАКОПЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В МЕТАЛЛАХ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ

<sup>\*\*</sup>Костина А.А.

*Ульяновский государственный университет, филиал в г. Димитровграде*

Одной из важнейших задач современного радиационного материаловедения является создание материалов, устойчивых к действию нейтронного облучения. Решение данной задачи позволит продлить срок проектной службы, как корпусов реакторов, так и внутриструктурных устройств.

---

<sup>\*\*</sup> Доклад отмечен жюри как один из лучших на подсекции.

Под действием облучения в материалах возникают радиационные дефекты, приводящие к изменению микроструктурных параметров, которые влекут за собой изменение макропараметров: распухание, ползучесть и т.д. Для уменьшения эффекта распухания необходимо, прежде всего, уменьшать концентрацию вакансий и междуузельных атомов, возникающих в материале под действием облучения. Реализовать это возможно, создав в материале необходимое число стоков для данных точечных дефектов, в роли которых выступают линейные дислокации и дислокационные петли.

В работах [1,2] были получены квазистационарные решения, описывающие кинетику дефектов. Данная работа посвящена получению и изучению нестационарных решений системы дифференциальных уравнений, описывающих кинетику вакансий, междуузельных атомов и дислокационных петель:

$$\begin{cases} \frac{dC_v}{dt} = G - Z_v(\rho_l + \rho_d)D_v C_v - qD_i C_v C_i \\ \frac{dC_i}{dt} = G - Z_i(\rho_l + \rho_d)D_i C_i - qD_i C_i C_v \\ \frac{d\rho_l}{dt} = \frac{2\pi N_l}{b}(Z_i D_i C_i - Z_v D_v C_v) \end{cases}$$

где  $C_v$ ,  $C_i$  – концентрации вакансий и междуузельных атомов,  $G$  - скорость генерации дефектов,  $Z_v$ ,  $Z_i$ ,  $D_v$ ,  $D_i$  – факторы влияния и коэффициенты диффузии вакансий и междуузельных атомов,  $q$  – фактор рекомбинации точечных дефектов,  $\rho_l$  – плотность дислокационных петель,  $N_l$  – число петель,  $b$  – величина вектора Бюргерса дислокационных петель. Плотность линейных дислокаций  $\rho_d$  входит в эту систему уравнений в качестве свободного параметра.

Данная система уравнений представляет собой нелинейную динамическую систему. Результаты исследования этой системы показали, что она допускает существование притягивающих многообразий (аттракторов), положение которых определяется как начальными условиями, так и значением параметра  $\rho_d$ . Показано, что увеличение плотности линейных дислокаций приводит к снижению числа точечных дефектов в материале, что означает уменьшение величины радиационного распухания.

E-mail: [nyanik86@mail.ru](mailto:nyanik86@mail.ru)

#### Литература

1. Л.И.Иванов, Ю.М.Платов. Радиационная физика металлов и ее приложения. М.: Интерконтакт Наука, 2002. – 300 с.
2. V.A.Borodin, A.I.Ryazanov and D.G.Sherstennikov. Low-temperature swelling of metals and ceramics. Journal of Nuclear Materials. 202. 1993. 169-179.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СО СПЛОШНЫМИ И ПОРИСТЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ МИШЕНЯМИ НА УСТАНОВКЕ “PALS” (ПРАГА, ЧР).

Лебо А.И.<sup>1</sup>, Лебо И.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, РФ

<sup>2</sup> МИРЭА (техн. универ.), Москва, РФ

В докладе представлены результаты двумерных численных расчетов, моделирующих два вида экспериментов, выполненных на лазерной установке “PALS” в Физическом институте Чешской академии наук, г. Прага. Йодный лазер “PALS” является

одной из крупнейших доступных исследовательских установок в Европе, где проводятся эксперименты по взаимодействию мощных лазерных импульсов с мишенями различных типов. Лазерное излучение в экспериментах, преобразовывалось на третью гармонику (длина волны лазера 0,438 мкм). Расчеты были выполнены по двумерной лагранжевой программе «АТЛАНТ» в цилиндрической геометрии [1].

В первой серии экспериментов [2] изучалась скорость прохождения ударных волн через «ступенчатые» металлические мишени. В представленных расчетах показано, что программа «АТЛАНТ» с хорошей степенью точности воспроизводит данные экспериментов. На основании численных расчетов получены соотношения подобий, позволяющие определять зависимости скорости ударной волны и давления за ее фронтом от параметров лазерного импульса и вещества мишени. Показано, что геометрия облучения мишени (диаметр пятна фокусировки) влияет на полученные термодинамические параметры в сжатом веществе.

Во второй серии экспериментов [3] изучалась скорость распространения волны сжатия по пористому веществу со средней плотностью меньшей критической ( $\rho_{cr} = 18,2 \text{ г/см}^3$ ) Нами была предложена физико-математическая модель и проведены расчеты распространения волны для различных значений средней плотности такой среды. Экспериментальные мишени представляли собой полимерное «пена-образное» вещество с контролируемыми параметрами, помещенное на алюминиевую подложку. Получено хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных. Рассмотрено влияние преднагрева лазерным излучением алюминиевой подложки и ее разгрузки на распространение волны сжатия по пористому веществу.

### Литература

1. Лебо И.Г., Тишкин В.Ф. Исследование гидродинамической неустойчивости в задачах лазерного термоядерного синтеза. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2006
2. Batani D., Stabile H., Ravasio A et al. Laser and Particle Beams, v.21, 479-485, (2003)
3. Акунец А.А., Борисенко Н.Г., Клир Д. и др. Особенности прохождения лазерного излучения с длиной волны 0,438 мкм и с интенсивностью  $(3\text{-}7) \cdot 10^{14} \text{ Вт/см}^2$  через подкритическую плазму из полимерных аэрогелей. Препринт ФИАН №8, Москва, 2007

## АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТНЫХ ЧАСТОТНО-КОДИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Логвинов А.М.

*Белгородская гос. сельскохоз. академия, Белгород, Россия.*

В докладе рассматриваются алгоритмы определения мгновенной частоты, применяемые при демодуляции двоичных частотно-кодированных сигналов. Хотя эта проблема актуальна для многих приложений связи, здесь она рассматривается в ракурсе цифровой обработки сигналов беспроводных технологических датчиков. Датчики подобного типа используются в труднодоступных местах, в случае отсутствия внешнего питания, на опасных объектах, в нефтяных скважинах и т.д.

Описанные алгоритмы обладают простотой, легко реализуемы аппаратно и обеспечивают малые ошибки демодуляции. В качестве математического аппарата для них

взяты: преобразование Гильберта [1], вейвлет-преобразование Хаара [2] и метод обобщенного пучка функций [3].

Проведен сравнительный анализ трех указанных выше алгоритмов на основании смоделированных и экспериментальных данных, полученных от температурного датчика погружного насоса нефтяной скважины.

На основе данных сравнительного анализа делается вывод о превосходстве алгоритма, основанного на методе обобщенного пучка функций, над другими рассматриваемыми в докладе.

*E-mail: scre4m@yandex.ru*

#### Литература

1. J.C. Goswami, A.K. Chan, *Fundamentals of Wavelets: Theory, Algorithms, and Application*, Wiley, New York, 1999.
2. J.G. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, New York, 1995, pp. 152–157.
3. Y. Hua, T.K. Sarkar, Generalized pencil-of-function method for extracting poles of an EM system for its transient response, *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 37 (1989), pp. 229–234.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА ПО ЕГО ОПТИЧЕСКОМУ ОБРАЗУ

Малышев Д.А., Захаров А.С.

*Владимирский государственный университет, Владимир, Россия*

В решении прикладных информационных задач важную роль имеет методология распознавания образа, с целью идентификации объекта - носителя образа. Существует большой круг задач, прямо или косвенно связанных с распознаванием сигналов. В локации при обнаружении цели, в медицинской диагностике, в работах по созданию искусственного интеллекта и т.д. Методы распознавания базируются на получении прогностических признаков образов, алгоритмов принятия решения, и эти методы широко представлены, например [1-3].

Рассмотрена и реализована в виде программного продукта задача идентификации объектов по их оптическому образу. Оптический образ движущегося объекта трансформируется в электрический сигнал приемниками излучения детектора, содержащего два пространственно разнесенных канала. Работа по регистрации оптических образов проводилась в реальных условиях эксплуатации транспортных средств, на Федеральной трассе М-7 (Москва – Уфа). Задача решалась для совокупности оцифрованных данных, которые содержали наряду с полезной информацией в виде последовательных во времени сигналов и помеху различной физической природы. Разработанная методология предусматривает фильтровку помехи и визуализацию информации. В режиме просмотра информации выделяется оптический образ, принадлежность которого предстоит определить. Используя корреляционный анализ, вычислялась скорость движения объекта, что позволяло анализируемый сигнал из временного формата трансформировать в пространственный формат. В этом формате сигнал нормировался, квантовался по двум параметрам с заданным шагом и уровнями квантования, что позволяло иметь заданное количество данных, анализируемого сигнала. По этим данным вычислялся прогностический признак, который сравнивался с подобным, полученным для различных оптических образов предварительно классифицированных объектов, находящихся в библиотеке сигналов. Программа обеспечивает получение различных прогностических признаков, что позволяет повысить вероятность правильного обнаружения до необходимого уровня. Прогностическим признаком может служить протяжен-

ность объекта, площадь оптического образа, крутизна переднего и заднего фронтов сигнала, характерные для определенного класса объектов “выступы” и “провалы” на сигналах и другие фрагменты сигнала. На основе проведенных исследований отработана методология идентификации автотранспортных средств по сигналам -оптическим образом, полученным с передвижного диагностического комплекса, разработанного в Владимирском государственном университете.

Научный руководитель работ доцент кафедры Общей и прикладной физики Владимирского государственного университета Плещивцев В.С.

*E-mail: mlt0z@bk.ru*

### Литература

1. Фор А. Восприятие и распознавание образов. – М.: Машиностроение, 1989. – 271 с.
2. Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. Васильев В.И. Принципы простоты в проблеме обучения распознаванию образов. Вып.3.– М.: Наука, 1992. – 320 с
3. Шаталова В.А., Ястребков А.Б. Адаптивный алгоритм распознавания сигналов различных объектов, принимаемых на фоне помех.// Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. Том 45, №11, 2002. С. 46-54.

## О РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ И СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Побегайло П.А.

*Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

Как известно «время это деньги». Разумное его использование всегда занимало людей [1]. Не избежали этой участи и те, кто занимается организацией строительства в крупных мегаполисах. Это отразилось в активном применении ими методов управления проектами, сетевого планирования и управления (СПУ) и пр.

Для этого, в настоящее время, используется большое количество разнообразного программного обеспечения (ПО), реализующего «как бы» стандартные алгоритмы (что это за алгоритмы на самом деле и как они реализованы, чаще всего не известно, т.к. это является коммерческой тайной). Это вызывает массу проблем, так как это ПО не заточено под решение конкретных производственных задач, неизвестно как получаются итоговые результаты (псевдо «черный ящик»). Все это заставляет искать новые решения и подходы, разрабатывать собственное программное обеспечение. Пример этому – работа [2].

При этом, с научной точки зрения город как система образует особый класс динамических систем, в которых детерминированный характер наблюдаемых процессов сочетается с их стохастической природой [3 – 6 и др.].

Дополнительно к этому «город является одним из высших проявлений цивилизации; он заключает в себе непреходящие ценности и уникальный опыт человеческой культуры. С древнейших времен, в условиях смены различных общественных формаций и политических систем, город всегда был колыбелью почти всех высших достижений человеческого гения. Город – не только ценнейший памятник материальной и духовной культуры, помогающий осмыслить и объективно оценить современность, но и генератор новых тенденций в развитии человечества и общества, на основе которых идет непрерывный отбор новых культурных и общественных форм» [3].

Все это подчеркивает актуальность исследования различных задач организации строительства в городе и указывает на необходимость рассмотрения этих задач в рамках физики и информатики (кибернетики).

В части гражданского строительства при его планировании важное место занимает процесс «переселение – снос» (П – С) [7 и др.]. Успешность осуществления данного процесса прямо отражается на итогах ввода нового жилья.

Для указанного процесса можно записать:

$$T_{\text{ПС}} \rightarrow \min, \quad (1),$$

что позволяет поставить здесь задачу линейного программирования (условие оптимизации – минимизация времени процесса).

С другой стороны, учитывая большое число не формализуемых на сегодняшний момент особенностей этого процесса, его можно представить как отображение вида:

$$f : P \rightarrow C, \quad (2),$$

осуществляемое по следующим правилам:

$$\left. \begin{array}{l} OK_{\phi} \geq OK_m \\ DK_{\phi} \geq DK_m \\ TK_{\phi} \geq TK_m \\ CK_{\phi} \geq CK_m \\ T_{\text{сн}} \approx T_{\text{сн}} \\ T_{\text{прост}} \leq T_{\text{прост}} \end{array} \right\}, \quad (3),$$

где первые четыре условия указывают на необходимость обеспечения требуемого числа квартир по отношению к фактическому их числу (соответственно одно-, двух-, трех- и четырехкомнатных), пятое условие указывает среднее время сноса; последнее условие отмечает тот факт, что уже введенное в строй здание не может простоять без заселения более полугода.

Представленные выше правила составлены при следующих ограничениях предполагаемого подхода:

- рассматриваемый процесс осуществляется в пределах района;
- готовность инженерного обеспечения не учитывается;
- заранее назначенные связи не учитываются;
- «денежный» вопрос не рассматривается;
- рассматривается схема переселения «дом в дом». (Рассмотрение иных схем переселения требует введения дополнительных условий в правила (2), а также большого числа вспомогательных исходных данных.)

Для указанного подхода (а также и при расширении этой модели, т.е. при снятии ряда ограничений модели) создана программа для ЭВМ. С ее помощью проанализирован большой массив данных по процессу «переселение – снос». Удовлетворительное совпадение реальных и полученных при моделировании схем изучаемого процесса подтвердило адекватность предложенного подхода.

#### Литература

1. Мазаева И.В. и др. Пространственно-временной календарный план в автоматизированных системах составления расписания // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2006». Секция Физика. Подсекция Информатика. Сборник тезисов. / МГУ имени М.В. Ломоносова. М., 2006. с. 81 – 83.
2. Зорина М.В. Оптимальное распределение ресурсов в системах управления проектами // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2006». Секция Физика. Подсекция Информатика. Сборник тезисов. / МГУ имени М.В. Ломоносова. М., 2006. с. 87 – 89.
3. Дарховский Б.С., Попков Ю.С., Ресин В.И. Вероятностные технологии в управлении развитием города. М.: Едиториал УРСС, 2004.

4. Попков Ю.С., Ресин В.И. Развитие больших городов в условиях переходной экономики. М.: УРСС, 2000.
5. Попков Ю.С. и др. Системный анализ и проблемы развития городов. М.: Наука, 1983.
6. Вайдлих В. Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках. М.: Едиториал УРСС, 2005.
7. Развитие города: сборник научных трудов / Под ред. Проф. Киевского Л.В. М.: СвР-АРГУС, 2005.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Романовский Р.В., Гуриков О.В.

*Томский политехнический университет, Томск, Россия*

### **Введение**

В наши дни образование в России играет одну из ключевых ролей. Одно из важнейших преимуществ нашей страны – высококвалифицированные кадры. Поэтому особенно важно поддерживать образование на высоком уровне, иметь возможность анализировать и прогнозировать качество обучения в различных учебных заведениях. Благодаря таким прогнозам можно существенно повысить эффективность работы вузов, втузов и других образовательных институтов.

Каждый университет участвует в конкурентной борьбе с другими университетами – это борьба за уровень знаний поступающих абитуриентов, за уровень уже обучающихся студентов, за уровень жизни выпускников. Поэтому все руководители образовательных учреждений заинтересованы в повышении качества своих услуг и в использовании самых прогрессивных путей достижения успеха.

### **Методы**

Нами предлагается использование хорошего, но достаточно редкого метода оценки и прогноза уровня обучения в учебном заведении - физической модели.

Так, за уровень знаний (абитуриента, студента) принят такой параметр как температура. Несложный анализ статистики показывает, что распределение, к примеру, выпускников школ, по уровню знаний подобно распределению частиц газа по скоростям (распределение Максвелла). В процессе обучения «газу» (студентам) сообщается энергия (обучение в течение семестра), газ нагревается, это распределение изменяется, температура (общий уровень подготовки) возрастает. Здесь к модели подключается использование элементов теории автоматического управления. Рассмотрим обучение студентов в вузе начиная с выпуска из школы и заканчивая выпуском из университета. Положим, уровень знаний при поступлении – это входной параметр  $x(v)$ , а на выпуске – выходной  $y(v)$ . Очевидно, в процессе обучения входной параметр претерпевает некоторое количество преобразований  $W_i$ , включая изменения в процессе обучения, сдачи экзаменов. А также будут иметься обратные связи - влияние уровня жизни выпускников на распределение по уровню знаний поступающих молодых людей, кураторство как помошь студентам младших курсов старшими. На совместном использовании законов физики и элементов автоматического управления и построена наша модель.

### **Результаты**

С помощью модели уже достигнуты достаточно объективные результаты. При правильном подборе (калибровке) воздействий модель даёт результаты, хорошо нала-

гающиеся на статистические данные (рассмотрен Томский политехнический университет). Смысл построения модели в том, что ее можно использовать для повышения эффективности многих процессов внутри университета, например установления оптимального вступительного испытания для абитуриентов. Оптимальное – это такое, при котором будут отобраны молодые люди с наилучшими знаниями и перспективами. Также модель можно использовать как дополнительный параметр оценки качества образования в вузах.

Грамотное использование модели может значительно способствовать повышению уровня университета, и как следствие – победе в конкурентной борьбе.

Авторы выражают признательность профессору, д.ф.н. Вайсбурду Д. И. за помощь в подготовке модели.

E-mail: [ravix@sibmail.com](mailto:ravix@sibmail.com)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕНЗОРОВ КОНЦЕНТРАЦИЙ НАПРЯЖЕНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ АРМИРОВАНИЯ

<sup>\*\*</sup>Соколов А.П.

*Московский гос. технический универ. им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

Настоящая работа является развитием работ по исследованию механических свойств композитов (КМ) с периодическими структурами армирования [4, 5].

В работе рассматривается методика вычисления тензоров концентраций напряжений и эффективных тензоров модулей упругости на примере многоуровневого КМ с периодической структурой армирования. Исследуются механические свойства материала, которые моделируются в рамках линейной теории упругости. Все основные определения могут быть найдены в работах [1-3].

Для реализации указанных вычислений был разработан конечно-элементный метод решения специального класса задач механики композитов «на ячейке периодичности» (ЯП). Формулировка этого класса задач впервые была предложена Н.С. Бахваловым, Б.Е. Победре [1]. В работе разработана МКЭ процедура, численный метод и программное обеспечение (ПО), что позволило провести следующую последовательность вычислений: а) моделирование ЯП, б) генерация конечно-элементной сетки, в) решение задачи «на ЯП», г) расчет микронапряжений и микродеформаций, д) автоматизированный расчет эффективных характеристик, е) расчет тензоров концентрации напряжений, ж) визуализация вычислений.

Некоторые результаты представлены на рис. 1 ниже.

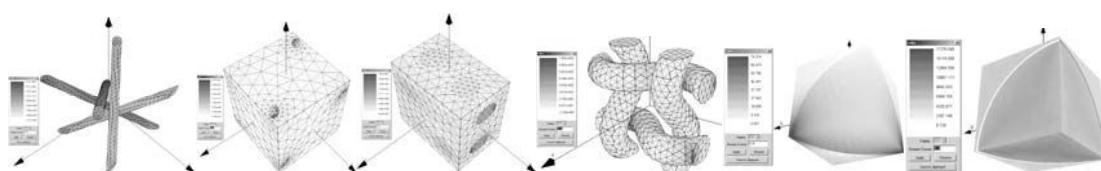


Рис.1. Распределения полей напряжений в ЯП и концентраций напряжений (последний рисунок), для различных задач Жрд. Слева направо, по две иллюстрации для разных структур ЯП:

4D армированный КМ, тканевый КМ, гранулированный многоуровневый КМ

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

## Литература

<sup>\*\*</sup> Доклад отнесен жюри как один из лучших на подсекции.

1. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. - М.:МГУ, 1984. – 336 с.
2. Димитриенко Ю.И., Кацаров А.И. Расчет эффективных характеристик композитов с периодической структурой методом конечного элемента // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки» – 2001.
3. Сендецки Дж. Механика композиционных материалов. Том 2. – М.:Мир, 1978.
4. Димитриенко Ю.И., Макашов А.А., Кацаров А.И., Соколов А.П., Ничеговский Е.С. Конечно-элементное моделирование эффективных физико-механических характеристик пространственно-армированных композитов // Труды конференции, посвященной 90-летию В.И. Феодосьева. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
5. Соколов А.П., Макашов А.А., Ничеговский Е.С. Конечно-элементное моделирование в механике композиционных материалов // Материалы XIV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». Том 2. – М.: СП «Мысль», МГУ, 2007.

## ЭЛЕКТРОННОЕ СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

Темченко К.А., Семин А.В.

*Владимирский государственный университет, Владимир, Россия*

Физика, как фундаментальная дисциплина, изучается на многих специальностях вузов страны, поскольку является базовой дисциплиной для большого числа общеинженерных и специальных дисциплин. Пути развития любой отрасли современного производства весьма тесно переплетаются с физикой, поэтому специалист любого профиля должен владеть физикой в такой степени, чтобы быть в состоянии активно и со знанием дела применять научные достижения и новые технологии в своей деятельности. Последовательное изучение физики вырабатывает специфическое мышление, физическую интуицию, которые оказываются весьма плодотворными в различных науках. Снижение количества издаваемой печатной учебной продукции и их высокая цена привели к обветшанию библиотечных фондов вузов и, как следствие, к ухудшению эффективности образовательного процесса. В тоже время компьютеризация страны расширила возможности доступа к электронным изданиям, которых пока явно недостаточно.

Разработана структура и некоторые разделы справочного пособия по физике в электронном формате. Предлагаемое справочное пособие по Физике рассматривается авторами, как содержательный курс, который в рамках существующих компьютерных технологий поможет быстро получить пользователю информацию и освоить методы познания по изучаемому вопросу. При создании данного справочника широко использовались методические разработки и сведения, содержащиеся в классических учебниках и справочниках по физике, а также работы некоторых зарубежных авторов.

Справочное пособие составлено в виде блоков определенной информационной направленности, а именно:

1. программа по физике, составленная на основе Госстандарта и применяемая в ВлГУ;
2. теоретический материал, систематизированный по разделам физики;
3. блок задач, предлагаемых на экзаменах;
4. блок задач для самостоятельного решения;
5. примеры решения некоторых типовых задач;
6. справочные материалы включающие: фундаментальные физические константы; единицы физических величин, как в системе СИ, так и в других системах; числовые параметры различных физических величин, необходимые для решения задач; таб-

лицу Менделеева; перечень литературы по разным разделам физики, некоторые сведения из разделов математики.

Содержание пособия по разделам отображено в левой части данной страницы и позволяет осуществить быстрый переход к различным разделам справочника. Возможности справочника обеспечивают быстрый поиск некоторой информации по гиперссылкам и с использованием поискового окна.

Пособие не претендует на полноту сведений и содержит лишь ту информацию, которая рассматривается в рамках программ общей физики на нефизических специальностях университетов.

Возможности справочника и способ отображения информации позволяют наращивать его потенциал.

Научный руководитель работ доцент кафедры Общей и прикладной физики Владимирского государственного университета Плещивцев В.С.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Ткаченко М.С.

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

### Введение

Исследования движения заряженных частиц в магнитных и электрических полях представляют интерес в связи с развитием технологий создания устройств для удержания плазмы и компактных ускорителей частиц, которые являются одним из основных инструментов современной физики. Решение научно-практических проблем в этой области позволит добиться высоких результатов в развитии медицины, микроэлектроники и многих других отраслей промышленности.

В целях проектирования подобных устройств разработана инструментальная среда, позволяющая моделировать поведение частиц в электрических и магнитных полях, в частности, резонансные взаимодействия заряженных частиц со сверхвысокочастотным электромагнитным полем в магнитных ловушках, снабжённая средствами динамической визуализации и анализа полученных результатов.

### Методы

В результате проектирования системы создан внутрипрограммный межплагинный стандарт, который предоставляет пользователю практически неограниченные возможности настройки: любой математический или графический модуль может быть легко заменён более подходящим. Для достижения универсальности, быстродействия и гибкости системы задействован широкий ряд средств разработки программ. С помощью Borland Delphi построен интуитивно понятный и простой в использовании интерфейс. Все математические вычисления реализованы при помощи Microsoft Fortran, так как трансляторы для этого языка обеспечивают высочайший уровень оптимизации кода. Модули визуализации разработаны в среде Microsoft Visual Studio C++ с использованием OpenGL.

### Результаты

Инструментальная среда позволяет

- задавать конфигурации магнитного и электрического полей, а так же визуализировать их трехмерные образы;

- осуществлять вычисление параметров движения заряженных частиц (координаты, импульс) в магнитном и высокочастотном электрических полях, на основе физико-математической численной модели;
- производить визуализацию (3D-траектории движения частиц, энергетический спектр частиц, сечения в разных плоскостях траекторий движения частиц и т.д.) и диагностику изучаемого явления;
- а также сочетает в себе универсальность, компактность, интуитивно-понятный интерфейс, высокую производительность и возможность дальнейшей модернизации.

Применение разработанной среды значительно повышает эффективность работы ученого-физика. Кроме того, в силу своей универсальности, эта среда может быть использована в лабораторных практикумах специальных курсов физики, а также для демонстрации физических процессов и явлений в научно-образовательных программах.

Email: makseq@gmail.com

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫДЕЛЕНИЯ СЕПАРИРОВАННЫХ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ ПРОЦЕССА

\*\*Токмачев М.Г.

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

Ионный обмен является обратимым процессом. Поэтому среди различных процессов умягчения отдельное место занимает циклический самоподдерживающийся ионообменный процесс, являющийся основой безреагентного метода умягчения воды. Кроме того, большой интерес представляет собой создание эффективных безреагентных методов концентрирования и разделения компонентов водных растворов различного состава. Разработка методов, не требующих использования дорогостоящих реагентов, важна для создания основ экономически целесообразных и экологически привлекательных технологий промышленного выделения ценных минеральных компонентов, в частности, соединений калия.

Методами математического моделирования показано, что циклический самоподдерживающийся ионообменный процесс обладает дополнительными возможностями (по сравнению с тем, что предполагалось ранее), поэтому в работе проведено дальнейшее исследование процесса. Главным образом, это касается реализации самоподдерживающегося процесса на нескольких слоях различных сорбентов не только для "безреагентного" умягчения, но также и с целью разделения компонентов морской воды или других многокомпонентных растворов. Это целесообразно для повышения эффективности безотходной переработки растворов и получения чистых минеральных продуктов.

В настоящей работе разработана математическая модель и программное обеспечение, которые позволяют моделировать циклический самоподдерживающийся процесс, обеспечивающий разделение и концентрирование компонентов исходного раствора.

Модель была верифицирована по результатам экспериментальных исследований, а программа проверена с помощью тестовых расчетов, которые были выполнены параллельно с аналогичными программами, написанными ранее на других языках про-

---

\*\* Доклад отмечен жюри как лучший на подсекции.

граммирования. Кроме того, было проведено сравнение результатов численного моделирования с аналитическими решениями для некоторых частных случаев.

В задаче разделения элементов основная проблема заключается в оценке объема раствора, который необходимо оставлять после каждого этапа отбора для того, чтобы обеспечить регенерацию остальных сорбентов. Получено, что такой многоколоночный процесс идет лишь в ограниченном диапазоне параметров. Оценка оптимального объема раствора, соответствующего имеющемуся числу сорбционных колонок, а также концентраций компонентов в выводимых из колонок растворах выполнена в работе путем проведения вариантовых расчетов.

В настоящей работе получены следующие результаты путем численного моделирования:

1) Найден наилучший режим работы очистительной установки, включающей три сорбционные колонки. Проведено исследование предложенной схемы очистки морской воды от набора катионов, и обоснована ее работоспособность при заданных параметрах.

2) Показана возможность отделения порций, содержащих концентрированный раствор отдельных катионов. Исследована эффективность процесса в зависимости от распределения потоков раствора, направляемых на отбор (вывод концентрированного раствора катиона после сорбента) и регенерацию последующих сорбентов.

### Литература

1. Klein G., Cherney S., Rudick E.J., Vermeulen T. Calcium removal from sea water by fixed-bed ion exchange // Desalination, 1968, v. 4, p. 158-166.
2. Гельферих Ф. Ионы, Москва; Иностр. Лит., 1962, с. 490 (Helfferich F. // Ionenaustauscher, Verlag Chemie, GMBH. Weinheim, 1959).
3. Хамизов Р.Х., Мясоедов Б.Ф., Тихонов Н.А., Руденко Б.А. Об общем характере явления изотермического пересыщения в ионном обмене // Доклады Академии Наук, 1997, т. 356, №2, с. 216—220.
4. Токмачёв М.Г., Тихонов Н.А., Хамизов Р.Х. Математическое моделирование циклического «самоподдерживающегося» ионообменного процесса умягчения-опреснения морской воды // Сорбционные и хроматографические процессы, 2004, т. 4, №5, с. 529-540.
5. Токмачёв М.Г., Тихонов Н.А., Хамизов Р.Х. Изучение безреагентного циклического ионообменного процесса обработки природных вод // Математическое моделирование, Москва, 2008, т. 20, №3, с. 59-76.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАМЕНИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Федоров П.А.

Чувашский гос. пед. университет им. И.Я. Яковлева, Чебоксары, Россия

Излучение пламен конденсированных систем складывается из излучения химически реагирующих молекул, газообразных продуктов сгорания, имеющих высокую температуру и конденсированных частиц. Если в состав исходного продукта входит металлическое горючее, то в этом случае излучение пламени пополняется излучением паров металла и его соединений (в основном хлоридов, фторидов, нитридов и окислов). В пламени содержатся также конденсированные частицы: это исходные частицы металла или оболочки частиц, состоящие из окиси металла и вновь образованные частицы из

продуктов сгорания. Доля излучения дисперсных частиц превалирует излучение газов и хемилюминесценцию.

Процесс горения конденсированных систем является нестационарным процессом, по этой причине излучение пламени меняется во времени, и имеются пространственные неоднородности. Экспериментально можно получить распределение яркости на определенных сечениях пламени. Математическое описание экспериментальных результатов является задачей трудной.

Излучение реальных пламен можно представить как суперпозицию излучений отдельных осесимметричных пламен, математическая модель последних вполне можно описать. Основными параметрами осесимметричного пламени являются температура  $T$ , радиус потока  $R$ , концентрация дисперсных частиц  $n$  и излучательная способность частиц  $\varepsilon$ . Аналогичными параметрами описываются остальные осесимметричные пламена. Оси этих пламен могут не совпадать.

Математическое моделирование реализовано в среде Maple, в которой можно представлять трехмерные модели излучения осесимметричных пламен, их комбинаций при различных параметрах. Вращая полученную трехмерную графику профиля излучения можно рассмотреть любой участок пламени. При необходимости имеется возможность просмотра графика распределения яркости вдоль любого поперечного сечения пламени.

Разработанная программа позволяет моделировать излучение как оптически прозрачных пламен, так и пламен обладающих определенной поглощательной способностью. Если поглощение велико, то излучение от отдельных участков не достигает до регистрирующего прибора. Если концентрация дисперсных частиц в каком-то пламени уменьшается почти до нуля, то уменьшается распределение яркости пламени определенным образом и одновременно увеличивается прозрачность участков пламени.

Введение режима анимации позволяет перемещать пламена вдоль заданной траектории и следить за изменением распределения яркости вдоль выбранного сечения. Покадровая анимация позволяет подобрать такую комбинацию излучений отдельных моделей, которая ближе всего подходит к излучению реального пламени. Восстанавливая трехмерную картину профиля излучения, можно проследить за изменением излучения по поперечному сечению факела, за распределением концентрации дисперсных частиц и температуры в факеле.

Применение режима анимации позволяет ускорить процедуру идентификации излучения реальных пламен, что в других математических средах несколько затруднительно.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ВЛОЖЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Хаханов Ю.М.

*Физический факультет, МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

Подход к анализу нелинейностей финансовых данных, основанный на теории детерминированного хаоса, предлагает поразительное объяснение нерегулярного поведения и аномалий в системах, которые не являются стохастическими. Теория хаоса предлагает совершенно новые концепции и алгоритмы для анализа временных рядов, анализа, который может привести к более полному пониманию природы процессов, порождающих данные временные ряды.

При совершении сделок на фондовой бирже возникает ряд трудностей, которые сводятся к следующему. Зачастую на рынке ценных бумаг складывается нестабильная

ситуация, сопровождаемая высокой волатильностью. В такой ситуации чрезвычайно сложно предсказать, что будет происходить с котировками в ближайшем будущем. Более того, котировки в каждый последующий момент времени могут меняться хаотическим образом, поэтому строить прогнозы в подобной ситуации и планировать дальнейшие действия практически невозможно.

Одним из успешных методов, используемых в экономических приложениях, является метод определения минимального числа динамических переменных, однозначно описывающих наблюдаемый процесс. Это минимальное число называется размерностью вложения. В данной работе расчет размерности вложения для котировок акций западных компаний, производится функциональным методом. Несмотря на существование некоторых ограничений применимости метода, подобный анализ позволил определить размерности вложения для котировок акций многих западных компаний, имеющих длительную историю свободного обращения на фондовых биржах.

В настоящее время анализ финансовых временных рядов представляет собой популярный и активно развивающийся раздел математического моделирования. Это связано с тем, что описание рядов наблюдений, образованных на финансовых рынках, позволяет выявить некоторые закономерности, присущие экономическим процессам, как правило глубоко скрытые и неявные. С математической точки зрения такое моделирование представляет собой достаточно сложную задачу, тем более, что длина некоторых экономических рядов не удовлетворяет условиям сходимости алгоритмов для вычисления инвариантных характеристик.

Полученные в данной работе результаты свидетельствуют о возможности определения размерности вложения для финансовых временных рядов с достаточной долей достоверности. Это позволяет извлечь из общедоступных данных скрытую информацию. В частности, определить число главных факторов на рынке, которые определяют динамику системы. Этот важный результат является существенным для моделирования динамики системы и прогноза ее будущего поведения.

e-mail: khakhanov@polly.phys.msu.ru

#### Литература

1. А.Ю.Лоскутов, А.С.Михайлов, "Введение в синергетику", М.:Наука, 1990.
2. А.Ю.Лоскутов, А.С.Михайлов, "Основы теории сложных систем", РХД, 2008.
3. Г.Г.Шустер, "Детерминированный хаос", М.:Мир, 1988.
4. Peters E.E. Chaos and Order in Capital Market, John Wiley and Sons, 1996.
5. Т.Пу. Нелинейная экономическая динамика. УРСС, 2002.
6. W.-B.Zhang. Synergetic Economics. Springer, Berlin, 1997.
7. Я. Б. Песин. "Теория размерности и динамические системы: современный взгляд и приложения", Институт компьютерных исследований, Москва-Ижевск, 2002.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОЦЕНОК ОСОБЕННЫХ ТОЧЕК МОДЕЛЕЙ СИГНАЛА

Хуан Сюй

МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

**Главное содержание:** Рассматриваются оценки амплитуды особенных точек сигнала в вэйвлет-преобразованном пространстве и разработка алгоритма для оценки местоположения и количества локальных особенных точек модели сигнала.

**1. Введение** В настоящей работе рассматривается выделение особенных точек полезного сигнала при шуме(ВОТ), являющееся обширно обсуждаемой важной задачей

в сфере анализа сигнала. В общем случае для решения проблемы ВОТ в настояще время применяются два подхода: использование характеристики амплитуды особенных точек сигнала в вейвлет-преобразованном пространстве, и подавление шума с помощью вейвлет-регрессии. Фундаментальные работы D.L.Donoho и I.M.Johnstone [2][3][4][5][6], S.Mallat [1][7], и многих других ученых, решавших общие задачи, подготовили обширную теоретическую базу для решения многих конкретных проблем ВОТ.

## 2. Использование характеристики амплитуды особенных точек сигнала в вейвлет-преобразованном пространстве.

В настоящей работе доказывается, что с помощью вейвлет-базиса, имеющего п нулевых моментов, локальная гладкость сигнала характеризуется уменьшением амплитуды вейвлет-преобразования с увеличением масштабной степени  $j$ . локальная разрывность сигнала характеризуется повышением амплитуды вейвлет-преобразования с увеличением масштабной степени  $j$ . локальная остроность сигнала характеризуется повышением амплитуды вейвлет-преобразования с увеличением масштабной степени  $j$ . и шум характеризуется уменьшением амплитуды вейвлет-преобразования с увеличением масштабной степени  $j$ . Рассматривается модель схемы измерения

$$\zeta = f + v \quad (2.1)$$

Измеряемый сигнал  $f$ -выходной сигнал.  $v$  - устойчивая последовательность шума с нулевым средним значением и дисперсии  $\delta^2 (0 < \delta^2 < \infty)$ .  $f(x_i)$  есть разрывных и острых точек на  $[0,1]$  и разбивается на три части:

$$f(x) = C(x) + D(x) + S(x) \quad (2.2)$$

$C(x)$ -непрерывная функция, есть  $q$  острых точек, находящихся в точках  $s_i$ ,  $D(x)$ -прерывная функция, есть  $p$  разрывных точек, находящихся в точках  $d_i$ , Мы получим вейвлет-преобразование  $\zeta(x)$ .

$$T_{j_n, k}^{w a v} \zeta(x) = T_{j_n, k}^{w a v} C(x) + T_{j_n, k}^{w a v} D(x) + T_{j_n, k}^{w a v} S(x) + T_{j_n, k}^{w a v} v(x) \quad (2.3)$$

При вейвлет-преобразования с увеличением масштабной степени  $j$ .

$$T_{j_n, k}^{w a v} \zeta(x) = T_{j_n, k}^{w a v} C(x) \downarrow + T_{j_n, k}^{w a v} D(x) \uparrow + T_{j_n, k}^{w a v} S(x) \uparrow + T_{j_n, k}^{w a v} v(x) \downarrow$$

На практике мы можем предзадать порог, если бы было более чем порог, мы считали, что эта точка является особенной точкой.

## 3. Подавление шума с помощью вейвлет-регрессии.

Немногие коэффициенты вейвлета сигнала  $f$ , загрязненного шумом, действуют на исходный сигнал. Мы используем пороговую функцию исправить коэффициенты вейвлета зашумленного сигнала, "убивая" высокочастотные коэффициенты вейвлета, считаемый шум, в то же время "держать" низкочастотные коэффициенты вейвлета, которые используются, чтобы получить сигнал  $f$  после реконструкции в базисе  $G = \{g_m\}_{0 \leq m \leq N}$  оценка  $\hat{f}$  по  $y=f+x$  может быть записана как

$$\hat{f} = D y = \sum_{m=0}^{N=1} d_m (y_G[m]) g_m, \quad (3.1)$$

здесь  $d_m$  – пороговые функции. Оценка с жестким порогом выполняется в (3.1) помошью

$$d_m(y) = \begin{cases} y, & \text{если } |y| \geq T \\ 0, & \text{если } |y| < T \end{cases}, \quad T - \text{порог} \quad (3.2)$$

Так как  $y_G[m] = f_G[m] + \varepsilon_G[m]$ , то

$$|d_m(y_G[m] - f_G[m])|^2 = \begin{cases} |\varepsilon_G[m]|^2, & \text{если } |y_G[m]| \neq T \\ |f_G[m]|^2, & \text{если } |y_G[m]| = T \end{cases} \quad (3.3)$$

Оценка с мягким порогом выполняется в (3.1) с помощью

$$d_m(y) = \begin{cases} y - T, & \text{если } y \neq T \\ y + T, & \text{если } y = T \\ 0, & \text{если } |y| \leq T \end{cases} \quad (3.4)$$

Оценка  $\hat{f}$  дается  $\hat{f}(x) = \sum_k \hat{\delta}_{j_0,k} \varphi_{j_0,k}(x) + \sum_{j=j_0}^{j_1} d_j \sum_k \hat{\beta}_{j,k} \psi_{j,k}(x)$

$$\hat{\delta}_{j_0,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_{j_0,k}(x_i) f(x_i) \quad \hat{\beta}_{j,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \psi_{j,k}(x_i) f(x_i)$$

После подавления шума с помощью вейвлет-регрессии, мы получим оценки местоположения и количества особенных точек модели сигнала.

#### 4. Заключение

На практике применяются два подхода: использование характеристики амплитуды особенных точек сигнала в вейвлет-преобразованном пространстве, и подавление шума с помощью вейвлет-регрессии. Можно получить хороший результат для выделения особенных точек полезного сигнала при шуме.

#### 5. Литературы

1. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигнала.-М.:Мир,671с,2005г.
2. Donoho,D., Johnstone,I., Kerkyacharian,G., Picard,D. density estimation by wavelet thresholding. Annals of statistics 24:508-539,1996.
3. Donoho, D. L. and Johnstone, I. M., Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage, Biometrika, 81,425-455,1994.
4. Donoho, D. L. and Johnstone, I. M., Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage, J. Amer. Statist. Assoc., 90, 1200-1224, 1995.
5. Donoho, D. L. and Johnstone, I. M., Kerkyacharian, G. and Picard, D., Wavelet shrinkage: Asymptopia?. J. Roy. Statist. Soc. B, 57, 301-369, 1995.
6. Donoho, D. L. and Johnstone, I. M., Minimax estimation via wavelet shrinkage, Technical report No. 402, Department of Statistics, Stanford University. 1992.
7. Mallat ,S.and W. L. Hwang,W.L., Singularity detection and processing with wavelets. IEEE Trans. Inform. Theory, 2, 617 - 643.1992.

E-mail:hx101888@mail.ru tel:89235118192