

Физическое образование в вузах

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 019360 от 2 ноября 1999 г.

119991, Москва В-333,

Телефоны: (499)132-66-51

Ленинский пр. 53,

Факс: (499)132-66-51

Издательский дом МФО

(499)132-64-11 Татьяна Валерьевна

E-mail: kalachev@sci.lebedev.ru

Уважаемые коллеги!

Издательский дом Московского Физического общества продолжает подписку на журнал «Физическое образование в вузах». Учредителями журнала являются Министерство образования и науки РФ, Московское Физическое общество и МАРПУТ. Редколлегия журнала составили видные ученые-специалисты в области физического образования России и Минобороны РФ. Наш журнал двуязычный (принимаются статьи на русском и английском языках) и распространяется в странах СНГ.

Главный редактор журнала — академик Российской академии наук, профессор МИФИ, научный руководитель Высшей школы им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ О.Н. Крохин.

Web страница журнала в сети Интернет: <http://pinhe.lebedev.ru>.

Основные разделы журнала

1. Концептуальные и методические вопросы преподавания общего курса физики в вузе, техникуме, колледже.
2. Вопросы преподавания курса общей физики в технических университетах.
3. Современный лабораторный практикум по физике.
4. Демонстрационный лекционный эксперимент.
5. Информационные технологии в физическом образовании.
6. Вопросы преподавания общего курса физики в педвузах и специальных средних учебных заведениях.
7. Текущая практика маломасштабного физического эксперимента.
8. Связь общего курса физики с другими дисциплинами.
9. Интеграция Высшей школы и Российской Академии наук.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Стоимость подписки на год с 1 января 2012 г. — 2100 рублей (включая НДС).

Банковские реквизиты ООО «Издательского дома МФО»:

р/с № 40702810038280100249 в Московском банке, Сбербанк России ОАО,

г. Москва. к/с № 30101810400000000225, БИК 044525225, ИНН № 7736045853, КПП 773601001.

В платежке указать назначение платежа «За подписку на журнал» и точный адрес для рассылки.

Физическое образование в вузах

Приложение

Труды конференции—конкурса молодых физиков

Москва, 10 декабря 2012 г.

Под редакцией Н.В. Калачева и М.Б. Шапочкина

Издательский Дом Московского Физического общества

Журнал «Физическое образование в вузах»

URL: <http://pinhe.lebedev.ru>

Совет журнала

Крохин Олег Николаевич – главный редактор, академик РАН, проф. МИФИ
Гладун Анатолий Деомидович – заместитель главного редактора, проф. МФТИ
Калашников Николай Павлович – заместитель главного редактора, проф., зав. каф. НИЯУ МИФИ
Николаев Владимир Иванович – заместитель главного редактора, проф. МГУ им. М.В. Ломоносова, директор ЦПНПК при МГУ
Шапочкин Михаил Борисович – заместитель главного редактора, проф., председатель Правления МФО
Колесников Юрий Леонидович – проф., проректор НИУ СБИТМО
Кудрявцев Николай Николаевич – проф., ректор МФТИ (ГУ)
Стриханов Михаил Николаевич – ректор НИЯУ МИФИ, проф., доктор физико-математических наук
Сысоев Николай Николаевич – проф., декан физфака МГУ им. М.В. Ломоносова
Хохлов Дмитрий Ремович – проф., зав. каф. МГУ им. М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН

Редакционная коллегия

Гороховатский Юрий Андреевич – проф., зав. каф. РГПУ им. А.И. Герцена
Завестовская Ирина Николаевна – директор Института магистратуры НИЯУ МИФИ, декан Высшей школы физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ, ведущий научный сотрудник ФИАН
Лебедев Владимир Сергеевич – проф., зав. каф. МФТИ (ГУ)
Лебедев Юрий Анатольевич – зам. Председателя Правления Объединённого физического общества РФ
Морозов Андрей Николаевич – проф., зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
Песоцкий Юрий Сергеевич – проф., ген. дир. ассоциации «Марпут»
Пурьшева Наталия Сергеевна – проф., зав. каф. МПГУ
Салецкий Александр Михайлович – проф., зав. каф. МГУ им. М.В. Ломоносова
Спирин Геннадий Георгиевич – проф., каф. МАИ
Стефанова Галина Павловна – проф., первый проректор Астраханского госуниверситета
Рудой Юрий Григорьевич – проф. РУДН
Чернышев Виктор Викторович – проф., каф. ВА им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

Ответственный секретарь

Калачев Николай Валентинович – ст.н.с. ФИАН, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана и Финуниверситета

Техническая редакция

Березин Павел Дмитриевич – руководитель РИИС ФИАН.
Алексеева Татьяна Валерьевна – инженер РИИС ФИАН.
Алексеева Татьяна Викторовна – редактор РИИС ФИАН.

КОНФЕРЕНЦИЯ-КОНКУРС МОЛОДЫХ ФИЗИКОВ

10 декабря 2012 г. Московское физическое общество, Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук и НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана проводят в Колонном зале Физического института конкурс-конференцию научных работ студентов, аспирантов и молодых специалистов (в возрасте до 26 лет) учебных и научно-исследовательских институтов по различным разделам физики.

В отборочный комитет конференции-конкурса поступили тезисы 33 докладов, присланные авторами, представляющими более 20 вузов и НИИ из 11 городов Российской Федерации. В итоговой сессии планируется участие более 30 конкурсантов, представивших доклады со своими соавторами и руководителями конкурсных работ. Среди них будут представлены 12 устных и около 20 стендовых докладов.

В жюри конференции-конкурса работали:

1. *Гладун А.Д.*, кафедра общей физики МФТИ, профессор, д.ф.-м.н. председатель.
2. *Грибков В.А.*, Президент Московского физического общества, профессор, д.ф.-м.н.
3. *Бульженок И.Э.*, проректор МФТИ, профессор, д.ф.-м.н.
4. *Калачев Н.В.*, ученый секретарь конкурса, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, ст.н.с. ФИАН
5. *Михайлин В.В.*, д.ф.-м.н., проф., зав каф. оптики и спектроскопии, физ. факультет МГУ
6. *Морозов А.Н.*, заведующий кафедрой физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, профессор, д.ф.-м.н.
7. *Очкин В.Н.*, заместитель директора ФИАН, профессор, д.ф.-м.н.
8. *Шапочкин М.Б.*, председатель Правления Московского физического общества, профессор, д.ф.-м.н.

Программа работы Конференции-конкурса

9-30–10-30 – **регистрация** участников и вывешивание стендовых докладов

10-30–13-00 – **пленарное заседание** (ведущий проф. М.Б. Шапочкин)

Приветствие от ФИАН – проф. В.Н. Очкин,

Приветствие от жюри – проф. А.Д. Гладун,

Заседание секции «Прикладная физика» (сопредседатели проф. А.Н. Морозов и проф. В.Н. Очкин), 6 докладов по 15 минут.

1. К.А. Брызгин «ЭЛВ-4-6: Электрические и магнитные характеристики», ИЯФ СОРАН.
2. А.Ю. Грабовский, А.С. Мустафаев «Зондовые исследования анизотропной плазмы: на пути к созданию нового поколения управляемых плазменных приборов», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

3. А.О. Литвинова «Распознавание молекулярных объектов при помощи комбинационного рассеяния», МГТУ им. Н. Э. Баумана.
4. С.А. Матвеев «Фотолюминесценция гетероструктур со слоями $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$:Ег на подложках Si(100) и сапфира», Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ).
5. А.А. Настулявичус, О.С. Баруздина «Моделирование движения полимерной цепи вблизи металлической поверхности», Череповецкий государственный университет.
6. А.Ю. Пятыхев «Фотолюминесценция фармацевтических препаратов при ультрафиолетовом возбуждении», МГТУ им. Н. Э. Баумана.

13-00–14-00 – перерыв, ознакомление со стендовыми докладами, **кофе**

14-00–16-00 – **заседание секции «Фундаментальная физика»** (сопредседатели проф. А.Д. Гладун и проф. В.В. Михайлин), 6 докладов по 15 минут.

1. А.Р. Байджанов, Е.В. Проуторов «Исследование проводимости сегнетоэлектриков методами компьютерного моделирования», Череповецкий государственный университет.
2. Е.О. Киктенко «Исследование аномального разрушения запутанности в «квантово-классических» состояниях», МГТУ им. Н.Э. Баумана.
3. Н.С. Смирнова «Изучение и исследование процессов теплового переноса в замагниченной плазме с тормозными и магнитно-тормозными потерями», МГТУ им. Н.Э. Баумана.
4. С.С. Сугак «Взаимодействие закрученных течений с газоразрядной плазмой», СГАУ им. ак. С.П. Королёва.
5. И.С. Тимофеев, В.Н. Юфа «Взаимодействие мощного лазерного излучения с многокомпонентными поликристаллическими породами», Московский физико-технический институт.
6. Л.Р. Шихмуратова, И.С. Оленин, Р.А. Браже «Полиэдры, фуллерены и супрафуллерены: структура, устойчивость, физические свойства и возможности применения», ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет.

16-00–17-00 – **подведение итогов, вручение дипломов победителям.**

По итогам конференции-конкурса предусмотрены премии:

- в номинации «Лучшая работа по фундаментальной физике» призовой фонд 25 тысяч рублей,
- в номинации «Лучшая работа по прикладной физике» призовой фонд 25 тысяч рублей,

– в номинации «Лучший стендовый доклад» призовой фонд 10 тысяч рублей.

Финансируют премиальный фонд ГОУВПО НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана и РФФИ.

Памятными дипломами будут также награждены молодые физики, занявшие вторые и третьи места.

В сборнике, выпущенном до начала конкурса, публикуются тезисы работ всех участников конкурса-конференции. Сборник является приложением к журналу «Физическое образование в вузах», который является реферируемым и входит в список ВАК Российской Федерации. Все участники конференции получают твердую копию и, по желанию, электронную версию этого сборника.

Редакция журнала «Физическое образование в вузах» и МФО благодарят всех участников конференции-конкурса и желает им дальнейших успехов в научной работе.

Ученый секретарь конкурса, член правления МФО,
доцент, к.ф.-м.н.

Н.В. Калачев

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА

Устные доклады

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Р. Байджанов, Е.В. Проуторов

Череповецкий государственный университет; e-mail: houk05@yandex.ru

Ключ для выяснения природы большинства макроскопических природных явлений лежит в знании закономерностей процессов, происходящих на атомно-молекулярном уровне. Целью данной работы является создание компьютерной программы для симуляции процессов микропробоя в сегнетоэлектрике с учетом всех особенностей его протекания. Были поставлены следующие задачи:

- Рассчитать конфигурацию положения диполей в сегнетоэлектрике в зависимости от температуры, внутреннего строения (констант потенциала межмолекулярного взаимодействия), внешнего электромагнитного поля.
- Изучить движение заряженных частиц внутри рассчитанной молекулярной системы, которые возникают в результате инжекции из электродов.
- Получить зависимости проводимости от внешних и внутренних характеристик.

Расчеты проводились с помощью динамического метода Монте-Карло. В качестве модели сегнетоэлектрика принималась трехмерная решеточная модель Гейзенберга. Проводимость вычислялась как величина, пропорциональная количеству заряженных частиц, прошедших через заданную ячейку за определенное время. При расчетах учитывались энергии взаимодействия электрона с внешним электрическим полем и ближайшими восемью диполями сегнетоэлектрика, а также взаимодействия диполей между собой.

Показано, что зависимость проводимости от температуры имеет максимум вблизи точки фазового перехода. Зависимости, полученные при помощи моделирования, согласуются с экспериментальными данными, приведенными в работах В.В.Кочервинского, С.Н.Дрождина и др.

Работа выполнена и поддержана в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (грант №14.В37.21.0075).

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЗАПУТАННОСТИ В «КВАНТОВО- КЛАССИЧЕСКИХ» СОСТОЯНИЯХ

Е.О. Киктенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: evgeniy.kiktenko@gmail.com

Процесс декогеренции квантовых состояний является ключевой проблемой, стоящей на пути построения полноценных квантовых компьютеров. Именно поэтому, исследование механизмов разрушения запутанности представляет большой интерес с точки зрения физики квантовой информации. В работе [1] ставится вопрос о влиянии асимметрии запутанного состояния на его устойчивость под воздействием различных вариантов декогеренции. В качестве асимметричной системы рассматривалось двухкубитное запутанное состояние AB , энтропии подсистем которого удовлетворяют неравенству $S_B < S_{AB} < S_A$. В связи с тем, что неравенство $S_{AB} < S_A$ может выполняться исключительно для квантовых систем, кубит A был назван «квантовым», а кубит B , в противоположность ему, – «классическим». Авторы [1], исследуя устойчивость данной системы при воздействии окружающей среды на одну из подсистем, обнаружили, что в случае влияния деполяризующего канала запутанность может разрушаться медленнее, когда воздействию подвергается именно «квантовая» подсистема. Данное явление, противоречащее пониманию «квантовой» системы как более «чувствительной» к процессу декогеренции, было названо *аномальным разрушением запутанности* («anomalous entanglement decay»).

Для исследования данного явления нами был использован квантовый причинный анализ [2-3] – математический аппарат, разработанный специально для изучения асимметричных систем, дающий формальное определение понятиям «причина» и «следствие», а также количественную меру силы причинной связи: ход времени c_2 . Знак c_2 определяет направление причинности ($c_2 > 0$ при $A \rightarrow B$ и $c_2 < 0$ при $B \rightarrow A$), модуль – силу причинной связи: чем сильнее связь, тем меньше $|c_2|$.

Для исследования процесса декогеренции нами использовались упрощенные модели диссипации и деполяризации [4,5]. В результате вычисления поведения меры причинности – хода времени c_2 (рис. 1) и меры запутанности – согласованности C [6] (рис. 2) в зависимости от степени декогеренции p ($p \in [0, 1]$) в случае диссипации и деполяризации частиц A и B (всего четыре случая) были получены следующие результаты:

- 1) причинность в исходном состоянии направлена от A к B ;
- 2) диссипация и деполяризация по-разному влияют на причинность: в случае

диссипации частица, подвергаясь декогеренции, становится следствием, а в случае деполяризации – причиной;

3) запутанность всегда разрушается быстрее в случае изменения исходного направления причинности в ходе декогеренции: в случае деполяризации более уязвимой становится подсистема А (случай аномального разрушения запутанности).

Таким образом, применение причинного анализа позволяет эффективно предсказывать поведение запутанности в асимметричных системах в ходе декогеренции и дает простое объяснение «аномальным» эффектам.

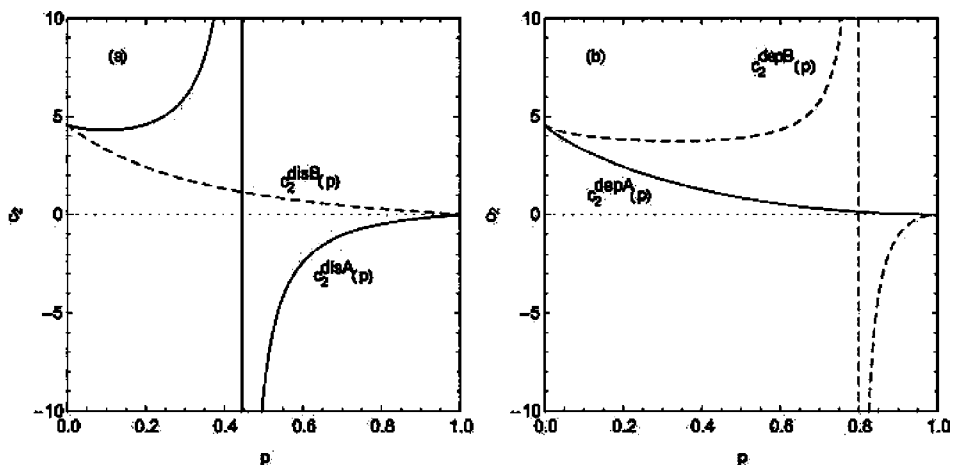


Рис. 1. Поведение причинности C_2 при диссипации (а) и деполяризации (б) частиц А и В.

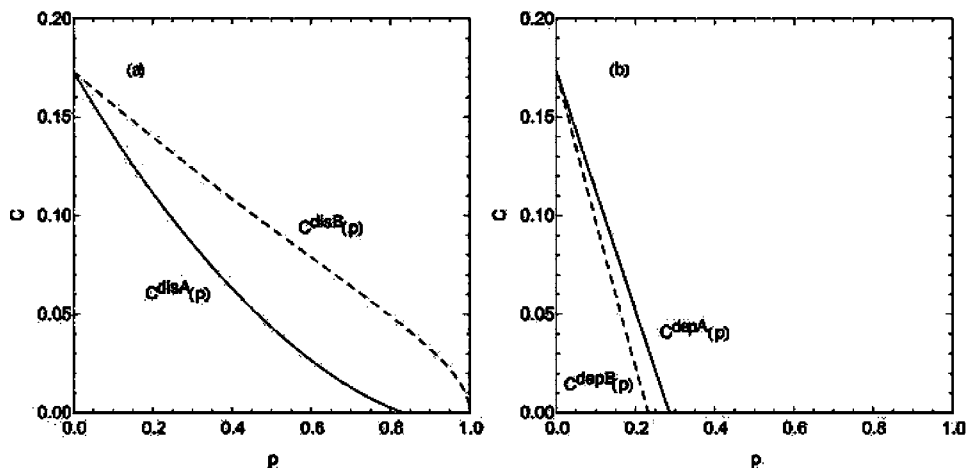


Рис. 2. Поведение согласованности C при диссипации (а) и деполяризации (б) частиц А и В.

Литература

1. K. Zyckowski, P. Horodecki, M. Horodecki et al., Phys. Rev. A (2001) **65**, 012101.
2. Kiktenko E.O., Korotaev S.M. Phys. Lett. A. (2012) **376**, 820.
3. Коротаев С.М., Киктенко Е.О. Вестник МГТУ Естественные науки (2011) **3**. 90.
4. S.S.Jang, Y.W. Cheong, J. Kim et al., Phys. Rev. A (2006) **74**, 062112.
5. W. Song, Z.-B. Chen, Phys. Rev. A (2007) **76**, 014307.
6. W.K. Wooters, Phys. Rev. Lett. (1998) **80**, 2245.

ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОГО ПЕРЕНОСА В ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ С ТОРМОЗНЫМИ И МАГНИТНО- ТОРМОЗНЫМИ ПОТЕРЯМИ

Н.С. Смирнова

МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: rolandina19@gmail.com

Работа посвящена анализу нелинейного процесса распространения тепла в замагниченной термоядерной плазме с потерями на тормозное и магнитно-тормозное излучение. Аналитически было показано [1], что в условиях замагниченной электронной теплопроводности эти потери способствуют появлению в плазме горячих областей, характерный размер которых определяется универсальными постоянными и начальным энергосодержанием. Найденные аналитические решения являются асимптотическими. Решение задачи с произвольными начальными условиями возможно только методами численного моделирования, причем наиболее интересные частью таких исследований является процесс выхода решения на асимптотику [1].

Целью данной работы являлось математическое моделирование переходного процесса распространения тепла при произвольных начальных условиях и выход его на асимптотический, автомодельный режим в рамках нелинейного уравнения теплопроводности вида: $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{\sqrt{T}} \frac{\partial T}{\partial x} - \sqrt{T} - T$. Решение позволяет оценить размеры и время существования локализованных перегретых областей плазмы при произвольных начальных условиях, а также время выхода на асимптотический режим.

Решение начальной задачи для нелинейного уравнения теплопроводности с потерями, указанного вида получены впервые.

Литература

1. В.В. Горев, С.Ф. Григорьев. Об охлаждении высокоэнергичной электронной компоненты в замагниченной плазме // ДАН СССР, Том 4, 1982.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАКРУЧЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ С ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМОЙ

С.С. Сугак

СГАУ им. ак. С.П. Королёва; e-mail: sugakss@gmail.com

В экспериментальной работе [1] проводились наблюдения высокочастотного емкостного разряда в закрученном потоке воздуха. Электрод устанавливался у открытого конца воздушной трубки. Наблюдения проводились при варьируемом массовом расходе воздуха, подаваемом в завихритель в аксиальном и тангенциальном направлениях.

На основе условий проведения экспериментов для пакета Ansys FLUENT 12.1 построена трехмерная модель. Модель представляет из себя конечно-элементную сетку (1,4 млн элементов) в виде трубы 400x36x36мм с открытым в атмосферу ($P = 1$ атм) выходом. Вход имитирует завихритель с регулируемой подачей газа (воздуха) в аксиальном и тангенциальном направлениях. Так же моделируется источник тепла, имитирующий выделение тепла разрядом.

Для модели на всем объеме, с естественными граничными условиями прилипания и температуры на границах, решались уравнения Навье-Стокса и уравнение энергии. Результаты вычислений при различных режимах подачи воздуха показали что при повышении показателя закрутки в приосевой области потока возникают зоны обратного течения, имеющие винтовую структуру.

Так же получено аналитическое решение задачи об устойчивости закрученного течения с разрывом скорости и температуры потока на поверхности цилиндра радиусом R . Для того чтобы избавиться от уравнения энергии, скачок температуры был заменен скачком плотности.

Получено дисперсионное соотношение. Получено, что отношение плотностей внутреннего и внешнего потоков Q падает с ростом мощности источника. Таким образом, частота возмущения растет с ростом мощности источника.

1. Klimov A., Fortov V. Longitudinal Plasmoid in High-Speed Vortex Gas Flow Created by Capacity HF Discharge // ISTC Project No. 3794P. 2010.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОРОДАМИ

И.С. Тимофеев, В.Н. Юфа

Московский физико-технический институт, e-mail: i.s.timofeev@gmail.com

На данный момент, благодаря исследованиям программе ЛТС достаточно хорошо изучено взаимодействие лазерного излучения с металлами и диэлектриками в широком диапазоне плотностей мощности. Однако вопросы взаимодействия лазерного излучения с многокомпонентными поликристаллическими породами при $q \sim 10^{10} - 10^{13} \text{ Вт/см}^2$ мало изучены, а это представляет отдельный интерес, как для моделирования сверхскоростного метеоритного удара [1], так и для различных технологических применений.

Эксперименты проводились на лазерной установке «Сатурн». Установка «Сатурн» представляет собой мощную многокаскадную лазерную систему на неодимовом фосфатном стекле, в состав которой входит автоматизированная система накачки активной среды, вакуумная камера взаимодействия и диагностический комплекс.

Для исследования продуктов разлета вещества мишени был проведен рентгеноспектральный анализ образывавшегося, на специальные подложки из химически очищенного кремния, напыления.

Исследована зависимость параметров образовавшихся кратеров от интенсивности облучения мишеней из Al и андезита. Проведенное сравнение данных эксперимента с расчётами теоретических моделей трансформации энергии лазерного импульса в энергию ударной волны при абляционном процессе на поверхности мишени в режиме гидродинамического воздействия [2,3] позволило определить характер взаимодействия. Методами рентгеновской диагностики измерена температура плазмы, которая не превышала 200 эВ. Проведены оценки скоростей. Космические пылинки при лазерном моделировании с использованием установки «Сатурн» имеют скорости 2–35 км/с.

Литература

1. Мангадзе Г.Г. Плазма метеоритного удара и добиологическая эволюция - Москва Физматлит 2009.
2. Mora P. Theoretical model of absorption of laser light by a plasma // Phys. Fluids. – 1982. – V. 25. – P. 1051-1056.
3. К.С. Гуськов, С.Ю. Гуськов, Эффективность абляционного нагружения и предельная глубина разрушения материала под действием мощного лазерного импульса // Квантовая электроника, 31, № 4(2001) с. 307-310.

ПОЛИЭДРЕНЫ, ФУЛЛЕРЕНЫ И СУПРАФУЛЛЕРЕНЫ: СТРУКТУРА, УСТОЙЧИВОСТЬ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Л.Р. Шихмуратова, И.С. Оленин, Р.А. Браже

ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет
432027 Ульяновск, ул. Северный венец, 32; e-mail: olenin.ilya@gmail.ru

Полиэдрические молекулы и фуллерены известны с конца XX века [1-4]. Нами исследованы возможности устойчивого существования при комнатной температуре фуллереноподобных молекулярных кластеров с каркасом в виде тел Платона и Архимеда, а также не вполне правильных многогранников, названных нами супрафуллеренами (рис.1).

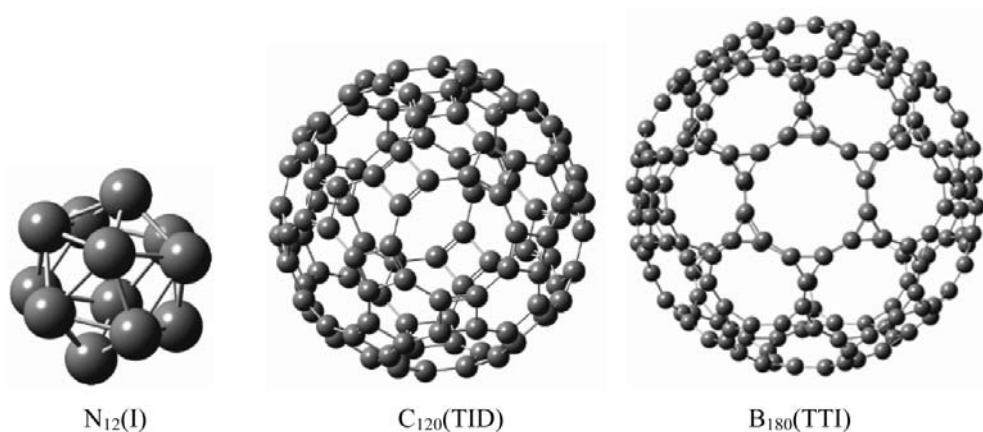


Рис. 1. Примеры фуллереноподобных макромолекул: икосаэдрический полиэдрена зота $N_{12}(I)$, усеченный икосододекаэдрен углерода $C_{120}(TID)$, супрафуллерен $B_{180}(TTI)_{63(12)}$.

С использованием программных пакетов NanoEngineer и Abinit на основе метода DFT и набора базисных функций 6-311 G рассчитаны длины и энергии связей во всех допустимых по симметрии 24 типах таких молекул, а также возможности их гидрирования до фуллереноподобных кластеров. Результаты расчета длины межатомных связей, диаметра исследуемых полиэдрических молекул, их полной энергии E_t и энергии связи атомов E_{Xa} для икосаэдрического полиэдрена азота $N_{12}(I)$, усеченного икосододекаэдрена углерода $C_{120}(TID)$, супрафуллерена

$V_{180}(TPI)_{63(12)}$ представлены в табл.1. Рассчитана сорбционная емкость исследуемых молекул по молекулярному водороду при физической сорбции и возможности их кристаллизации с образованием фуллеритоподобных 3D структур.

Показано, что новые фуллереноподобные молекулы найдут применение в водородной энергетике, биотехнологии, медицине, строительной индустрии и машиностроении.

Таблица 1. Геометрические и энергетические характеристики фуллереноподобных полиэдрических молекул

Обозначение	Длина связи, Å		Диаметр, nm	E_t , eV	$E_{\text{Хв}}$, eV/atom
	$l_{\text{X-X}}$	$l_{\text{X=X}}$			
$N_{12}(I)$	1.39	–	0.27	-17793	8.42
$C_{120}(TID)$	1.51	1.35	1.12	-123512	6.91
$V_{180}(TPI)$	1.74	-	1.64	-121036	5.27

Работа поддержана ФЦП «Научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (соглашение № 14.В37.21.1083).

Литература

1. Зефилов Н.С. Каркасные и полиэдрические соединения. Молекулярный дизайн на основе принципа изоморфного замещения. В кн. Итоги науки и техники. Сер. Органическая химия. Т.3 / Н.С. Зефилов, С.С. Трач, О.С. Чижов. – М.: ВИНТИ, 1979. – 87с.
2. Минкин В.И. Полиэдрические органические молекулы и ионы – структурные аналоги металлоорганических кластеров / В.И. Минкин, Р.М. Миняев // Успехи химии. – 1982. – Т.51. – С. 586-624.
3. Kroto H.W. C60: Buckminsterfullerene / H.W. Kroto, J.R. Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl, R.E. Smalley / Nature. – 1985. – V. 318. – P. 162-163.
4. Prinzbach H. Gas-phase production and photoelectron spectroscopy of the smallest fullerene, C20. / H. Prinzbach, A. Weiler, P. Landenberger, F. Wahl, T. Würth, L.T. Scott, M. Gelmont, D. Olevano, B. von Issendorff // Nature. – 2000. – V. 407. – P. 60-63.

Стендовые доклады

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР В ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ЛАЗЕРАХ

Д.А. Анчиков, А.А. Кренц, Н.Е. Молевич, А.В. Пахомов

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН;
Самарский государственный аэрокосмический университет (национальный
исследовательский университет); e-mail: swadimaz@mail.ru

Работа посвящена теоретическому исследованию оптических структур, возникающих в поперечном сечении выходного излучения широкоапертурных лазеров, которые интенсивно изучаются сегодня в связи с расширением области практического применения широкоапертурных лазерных систем, прежде всего миниатюрных твердотельных и полупроводниковых лазеров, и необходимостью построения классификации и систематизации разнообразных регулярных и нерегулярных режимов генерации, присущих этим системам, для прикладных нужд.

На основе двумерной полной системы уравнений Максвелла-Блоха рассмотрена динамика и устойчивость основных стационарных оптических структур (собственные поперечные моды резонатора, решетки вихрей, однородный профиль интенсивности) при положительной и отрицательной частотных отстройках излучения.

Аналитически показано, что для случая положительной отстройки поперечные моды плоскопараллельного резонатора являются неустойчивыми структурами при любых значениях накачки. Решетки оптических вихрей устойчивы при значениях накачки близких к порогу генерации. Построены диаграммы устойчивости решеток вихрей при различных параметрах лазерной системы. Установлено, что выводы, сделанные в данной работе для полной системы Максвелла-Блоха, согласуются и в предельных случаях лазеров класса А и В могут быть сведены к ранее полученным результатам для упрощенных моделей.

При отрицательной отстройке была изучена устойчивость однородного профиля интенсивности по отношению к модулированным по пространству возмущениям. Аналитически построены бифуркационные диаграммы для однородного решения, качественно и количественно подтверждаемые численным моделированием. Выделены области параметров лазерной системы, при которых на выходной апертуре могут появляться нелинейные оптические структуры автоволнового и вихревого типов.

Работа была частично поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (контракты №№ 14.740.11.1140, 14.740.11.0999, 14.132.21.1423), контрактом № 2.560.2011 Минобрнауки РФ и НИР ГР 01201156352.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ САМОГРАВИТИ- РУЮЩЕЙ ДИСКООБРАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ CUDA

В.Е. Баранов

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Самарский Государственный Аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева; e-mail: valyok.baranov@gmail.com

В данной работе рассматривается динамика эволюции дискообразной самогравитирующей системы из N частиц в поле тяжести неподвижного массивного центра. С целью увеличения размера исследуемой системы была использована технология Nvidia CUDA [1], являющаяся на данный момент наиболее современным, мощным и доступным средством компьютерного моделирования.

Благодаря распараллеливанию вычислительного алгоритма, удалось смоделировать трехмерное кольцо, фрагмент которого изображен на рисунке 1. Кроме того, именно в случае трехмерной модели наблюдалось кратковременное формирование системы двух колец, показанной на рисунке 2.

Таким образом, показана принципиальная возможность формирования кольцеобразной системы из равномерного диска малой (но конечной) толщины при отсутствии столкновений. Кроме того, показана применимость и эффективность использования технологии CUDA для моделирования систем описанного класса.

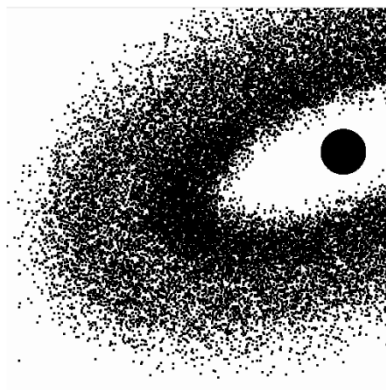


Рисунок 1. Фрагмент трехмерного кольца.

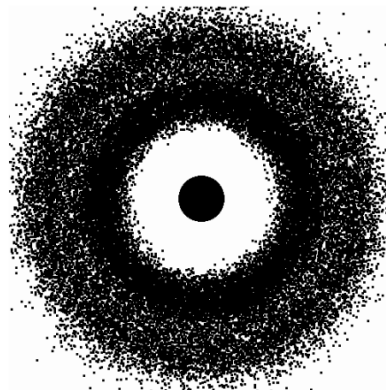


Рисунок 2. Бесстолкновительная
кольцеобразная структура.

Литература

1. NVIDIA CUDA C Programming Guide, Version 3.2, 9/8/2010.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИДЕАЛЬНОЙ КЛАСТЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Р.Г. Быстрый

ОИВТ РАН; e-mail: broman.meld@gmail.com

Облучение мощным ультракоротким лазерным импульсом атомных кластеров нанометрового размера приводит к быстрой ионизации вещества, образованию так называемой «лазерной плазмы» и последующему разлету ионов (кулоновскому взрыву). В данной работе рассмотрен вопрос о колебаниях электронов в кластерной плазме, который представляет интерес как для фундаментальной задачи построения теории неидеальной плазмы, так и для интерпретации результатов конкретных экспериментов. В работе [1] экспериментально показано, что при облучении кластеров двумя фемтосекундными импульсами, следующими с определенным интервалом (порядка 1 пс), для второго импульса наблюдается резонансное поглощение, что может быть использовано для повышения эффективности генерации рентгеновского излучения или потоков частиц. Однако, в указанной работе лишь высказаны качественные предположения о физике этого эффекта.

Авторами была написана программа для МД моделирования ионизированных лазером кластеров с применением графических ускорителей (GPU – Graphics processing unit). Эта программа позволяет исследовать системы с размерами от 50 до 100 000 атомов, что позволило рассмотреть весь диапазон практически интересных размеров кластеров, а также исследовать переход от кластерной плазмы к пространственно однородной неидеальной плазме. Так же в данной работе изучен характер колебаний электронного облака на малых временах и указаны условия для возникновения резонансов.

1. *T. Doppner, S. Teuber, M. Schumacher, et al. // Appl. Phys. B, V. 71, P. 357 (2000).*
2. *M. Belkacem, F. Megi, P.-G. Reinhard, E. Suraud, G. Zwicknagel // Phys. Rev. A 73 (2006).*

ТЕРМОДИНАМИКА СИСТЕМЫ НАГРУЖЕННЫХ КВАНТОВЫХ АНГАРМОНИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

А.А. Ведерников

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: vedernikovandrey@list.ru

Простейшей моделью твёрдого тела является модель ансамбля ангармонических осцилляторов, выступающих в роли элементов динамической системы.

В литературе имеется достаточно много данных по исследованию собственных функций и собственных значений квантовых ангармонических осцилляторов с потенциалами различного порядка ангармонизма. Кроме того, проводились исследования резонансных явлений при воздействии на нелинейный квантовый осциллятор периодической внешней силы. В то же самое время практически отсутствуют работы, посвящённые изменению спектра ангармонического осциллятора под воздействием постоянной внешней силы.

В ходе работы получена оценка сдвига энергетических уровней для ангармонического осциллятора, находящегося под воздействием постоянной внешней силы. Также были найдены термодинамические потенциалы для системы частиц в среде с конечной температурой.

Силовое воздействие, описываемое линейным потенциалом, приводит к линейному по силе сдвигу всех энергетических уровней ангармонического осциллятора, и, следовательно, к линейному (по силе) сдвигу всех характеризующих систему термодинамических потенциалов, что существенно отличает свойства рассматриваемой системы от свойств ансамбля гармонических осцилляторов.

Полученные выражения для энтропии системы, ее свободной энергии и большого термодинамического потенциала, а также оценка для теплоёмкости системы, могут быть использованы в задачах теплопереноса.

Оценка сдвига энергии системы при включении внешней силы, а также найденные волновые функции и уровни энергии нагруженного осциллятора могут быть использованы при дальнейшем изучении упругих и термических свойств твёрдого тела.

Полученные результаты могут быть использованы при описании термодинамических характеристик макро- и мезоскопических твердых тел, а также твердотельных наночастиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕРАВНОВЕСНЫХ СРЕДАХ С ТЕПЛОВОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Д.И. Завершинский^{1,2}, Н.Е. Молевич^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П.Королева (национальный исследовательский университет)

² Самарский филиал Учреждения Российской академии наук Физического института им. П.Н. Лебедева РАН; e-mail: dimanzav@mail.ru

В работе рассмотрена задача об эволюции нелинейных акустических структур в неравновесных тепловыделяющих средах, где значимую роль играет наличие магнитного поля. В качестве базовой системы была использована основная система магнитогазодинамических уравнений, описывающая процессы в неравновесных средах с источником тепловыделения.[1] Исследовалась динамика магнитоакустических волн распространяющихся вдоль оси z . Вектор магнитного поля был направлен под произвольным углом в плоскости $x-z$. На основе системы МГД уравнений, для неравновесной среды с источником тепловыделения, зависящим от температуры и плотности, было получено дисперсионное уравнение для быстрой и медленной магнитозвуковой волны. С помощью дисперсионного уравнения был получено соотношение, определяющее дисперсию скорости звука обоих типов волн. Определены зависимости скоростей звука от величины стационарного магнитного поля, от термодинамических параметров среды, от угла наклона вектора магнитного поля и от свойств источника тепловыделения. Показано одновременное существование быстрой и медленной магнитозвуковой волны при угле наклона вектора магнитного поля кратному π , что является существенным отличием по сравнению с равновесными средами, где в случае угла наклона вектора магнитного поля кратному существует только один тип волн. Также определены аналитические условия нарастания магнитоакустических возмущений и проведено сравнение с известными ранее условиями нарастания акустических возмущений, в неравновесных средах, где не учитывается влияние магнитного поля.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашения 14.В37.21.0767 и соглашения 14.132.21.1440.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ, государственное задание на выполнение работ на 2012-2014 годы, шифр 2.560.2011 и фондом «Династия».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ИЗОТОПОВ $^{8,9}\text{Li}$

Л.Ю. Короткова

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
e-mail: korotkovalara@gmail.com

Поиск высоковозбужденных состояний изотопов $^{8,9}\text{Li}$ проводился в инклюзивных $^{10}\text{B}(\pi^-, d)\text{X}$, $^{11}\text{B}(\pi^-, t)\text{X}$, $^{11}\text{B}(\pi^-, d)\text{X}$ и корреляционных $^{12}\text{C}(\pi^-, pt)\text{X}$, $^{12}\text{C}(\pi^-, pd)\text{X}$, $^{14}\text{C}(\pi^-, dt)\text{X}$, $^{12}\text{C}(\pi^-, dd)\text{X}$, $^{14}\text{C}(\pi^-, tt)\text{X}$ измерениях реакций поглощения остановившихся π^- -мезонов.

Эксперимент был выполнен на пучке пионов низких энергий мезонной фабрике LAMPF с помощью двухплечевого полупроводникового спектрометра заряженных частиц [1]. Разрешение по недостающим массам при регистрации однозарядных частиц (p, d, t) составило 0,5 МэВ в инклюзивных измерениях и 1 МэВ в корреляционных. Точность абсолютной калибровки шкалы составила 0,1 МэВ в обоих типах измерений.

Впервые для изотопа ^8Li в корреляционных измерениях реакций $^{10}\text{B}(\pi^-, dt)\text{X}$, и $^{11}\text{B}(\pi^-, tt)\text{X}$ наблюдались состояния с энергиями возбуждения $E_x \approx 8,7$ МэВ и 10,1 МэВ, а также получены указания на наличие состояний с большими энергиями возбуждения.

Для изотопа ^9Li впервые наблюдалось состояние с энергией возбуждения $E_x = 9,1 \pm 0,1$ МэВ, которое лежит выше его порога распада на $^6\text{He} + t$, что может служить указанием на наличие резонанса в системе взаимодействия этих двух кластеров.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК N П2499.

1. M.G.Gornov *et al.* // Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A 2000. V. 446. P. 461.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛЕКУЛ КОЛЛАГЕНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

А.Д. Масленникова, И.А. Сергеева

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра молекулярной физики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2;
e-mail: maslena_new@mail.ru

Целью данной работы было изучить влияние ионов тяжелого металла – свинца, на оптические свойства молекул коллагена I типа в водных растворах методами

динамического рассеяния света и флуоресцентного анализа.

Методом динамического рассеяния света получено, что при добавлении в водный раствор коллагена ионов Pb^{2+} вид рН-зависимости коэффициента трансляционной диффузии D_t меняется по сравнению с чистым раствором белка – вместо максимума наблюдается минимум в области изоэлектрической точки коллагена рI 6,0 (рис. 1). Данный эффект связан с изменением характера взаимодействия молекул в растворе с кулон-кулоновского на диполь-дипольное. С увеличением концентрации ионов Pb^{2+} в растворе значение коэффициента трансляционной диффузии D_t в области изоэлектрической точки белка уменьшается, что связано с ростом рассеивающих частиц – образованием белковых нанокластеров.

Методом флуоресцентного анализа получено, что спектр испускания коллагена имеет максимум в области 400 нм. Добавление в водный раствор коллагена соли $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ приводит к тушению флуоресценции. Интенсивность излучения белка падает с ростом концентрации ионов Pb^{2+} в растворе (рис. 2). Наблюдаемый эффект, вероятно, также связан с образованием белковых нанокластеров и увеличением размеров частиц в растворе.

Данные полученные двумя методами хорошо согласуются друг с другом.

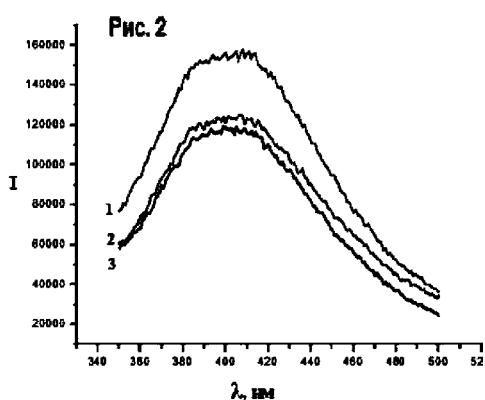
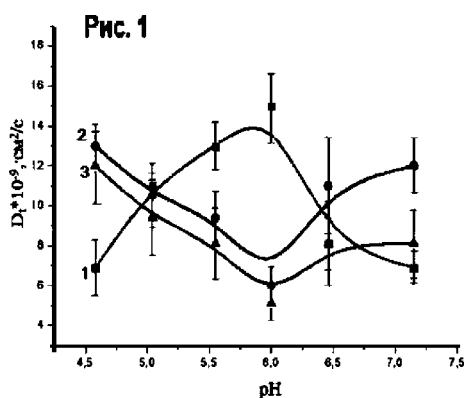


Рис. 1. рН-зависимость коэффициента трансляционной диффузии коллагена (1 – в чистом водном растворе; с добавлением соли $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; 2 – $\mu_{\text{Pb}} = 10^{-4}$ моль/л; 3 – $\mu_{\text{Pb}} = 10^{-3}$ моль/л).

Рис. 2. Спектры флуоресценции растворов коллагена (1 – чистый водный раствор; с добавлением соли $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; 2 – $\mu_{\text{Pb}} = 10^{-4}$ моль/л; 3 – $\mu_{\text{Pb}} = 10^{-3}$ моль/л).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ ПЕРЕНОСА В ПЛЁНКАХ ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОГО ТЕЛЛУРОМ

Д.Ю. Матвеев

Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена,
191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д.48;
e-mail: danila200586@mail.ru

В связи с совершенствованием и оптимизацией материалов для применения в термоэлектричестве представляется перспективным исследование физических свойств пленок висмута, легированного теллуром. Процесс легирования является эффективным методом управления свойствами тонких плёнок в широком интервале изменения концентрации и энергии носителей заряда, что позволяет получить дополнительную информацию об энергетическом спектре и механизмах рассеяния носителей заряда.

В работе исследовались пленки Вi толщиной от 100 нм до 700 нм с содержанием Те от 0,005 ат. % до 0,15 ат. % на подложках из слюды, полученные методом дискретного термического испарения в вакууме $2 \cdot 10^{-3}$ Па. Измерение удельного сопротивления, коэффициента Холла и магнетосопротивления было произведено в интервале температур 77-300 К и магнитном поле 0-0,65 Тл в стационарных условиях на постоянном токе классическими методами [1].

На основе современной теории явлений переноса с использованием полученных экспериментальных результатов были рассчитаны концентрации и подвижности носителей заряда в пленках. Концентрации и подвижности носителей заряда в плёнках висмута, легированного теллуром, были рассчитаны в рамках двухзонной квадратичной модели с учетом L – электронов и T – дырок. В пленках висмута с содержанием теллура 0,05 ат. % до 0,15 ат. % вклад дырок оказался пренебрежимо малым, что делает вполне применимым описание явлений переноса в рамках однозонного приближения с учетом вклада только L-электронов зоны проводимости.

В итоге, можно сделать вывод, что легирование висмута теллуром обеспечивает возможность изменения концентрации и подвижности носителей заряда, коэффициентов переноса в пленках исследуемых в широких пределах с переходом в состояние, когда в явлениях переноса принимают участие только электроны зоны проводимости [1].

1. Комаров В.А., Матвеев Д.Ю., Худякова И.И., Крушельницкий А.Н. Явления переноса в тонких плёнках висмута, легированного теллуром. // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. Естественные и точные науки: Научный журнал. – СПб. – 2012. – №147. – С. 50-63.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МЕТОД МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНТРОПИИ

П.П. Миронов

Ульяновский государственный университет, e-mail: museum86@mail.ru

В работе излагается общий подход к анализу случайно-возмущенной нелинейной динамической системы, описывающей атомную кластеризацию реакторных материалов [1] с помощью метода максимальной энтропии [2]. В основе подхода лежит метод Рейнольдса для усреднения уравнений случайно-возмущенной системы по ансамблю. Система усредненных уравнений Рейнольдса для нелинейных уравнений оказывается незамкнутой вследствие наличия высших моментов случайных величин в усредненных уравнениях. В предлагаемом подходе замыкание уравнений Рейнольдса производится с помощью метода максимальной энтропии, гарантирующего, что полученные с его помощью уравнения для моментов дают распределение с максимально большим числом микросостояний. В данной работе исследуется следующая модель с возмущениями:

$$\frac{dN_V}{dt} = G - K_R N_V N_I - K_V N_V,$$
$$\frac{dN_I}{dt} = G - K_R N_V N_I - K_I N_I.$$

Здесь N_V – концентрация вакансий, N_I – концентрация междоузлий, G – скорость введения свободно мигрирующих вакансий, K_R – константа рекомбинации, K_V – константа скорости поглощения вакансий, K_I – константа скорости поглощения междоузлий. Для данной модели вычислены уравнения усредненной динамики и проанализированы условия устойчивости решений.

Литература

1. Светухин В.В., Голованов В.Н., Рисованый В.Д. Сборник статей. Моделирование поведения под облучением реакторных материалов. Ульяновск: УлГУ, 2007.
2. Журавлев В.М., Миронов П.П. Динамика случайно-возмущенной системы Вольгерра-Лотки и метод максимальной энтропии // Нелинейный мир. 2011. Т. 9. №. 4. С. 201-212.

ПУЛЬСАЦИЯ ПИКА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОСТОЯННЫХ МАГНИТНОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЯХ

Д.С. Мкртчян, А.Ю. Шевченко

Северо-Кавказский государственный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;
e-mail: mkrt-levon@yandex.ru

Магнитные жидкости представляют собой устойчивую коллоидную дисперсию однодоменных наночастиц ферро- или ферримагнитных материалов в несущей жидкости [1]. Традиционный интерес в физике магнитных явлений привлекает исследование неустойчивости свободной поверхности магнитной жидкости во внешнем магнитном поле. Исследованию поведения отдельного пика магнитной жидкости во внешнем магнитном поле в последнее время также уделяется большое внимание [2]. В частности повышенный интерес со стороны исследователей проявляется к явлению электродиспергирования капель жидкости, что обусловлено его многочисленными применениями [3]. Использование магнитных жидкостей предоставляет уникальную возможность для исследования явлений капиллярной неустойчивости жидкости при одновременном воздействии магнитного и электрического полей.

Для проведения экспериментов применялась ячейка, представляющая собой два горизонтально установленных прозрачных электрода, расстояние между которыми составляло 3,4 мм. Электроды представляли собой прямоугольные пластинки размером 1,5x2,5 см. Тонкий слой магнитной жидкости наносился на внутреннюю поверхность нижнего электрода. Магнитное поле создавалось с помощью электромагнита, на сердечник которого помещалась ячейка с исследуемым образцом. В опытах использовалась магнетитовая магнитная жидкость на основе керосина с олеиновой кислотой в качестве стабилизатора.

Процедура экспериментальных исследований состояла в следующем. Тонкая пленка магнитной жидкости, нанесенная на внутреннюю поверхность нижнего электрода, подвергалась воздействию однородного перпендикулярного магнитного поля, приводящего к развитию неустойчивости и распаду пленки на отдельные конусообразные пики. Затем на электроды подавалось постоянное напряжение и исследовалось влияние электрического поля на образовавшиеся в магнитном поле пики.

В условиях, имевших место в экспериментах, отдельные пики магнитной жидкости располагались достаточно далеко друг от друга, что позволяло пренебречь влиянием взаимодействия между ними на исследуемые процессы. Поэтому изучались эффекты воздействия электрического поля лишь на отдельный пик магнитной

жидкости, образующийся в результате распада пленки. Было обнаружено, что при достижении некоторой критической величины электрического поля имеет место возникновение струй, состоящих из высокодисперсных заряженных капель жидкости, вылетающих из острия пиков. При этом такая эмиссия струй жидкости из острия пиков происходила периодически, повторяясь через определенные временные интервалы, что проявлялось в пульсациях формы пиков. В качестве примера на рис. 1 представлена серия фотографий демонстрирующих пульсацию формы пика в процессе эмиссии струй жидкости из его острия.

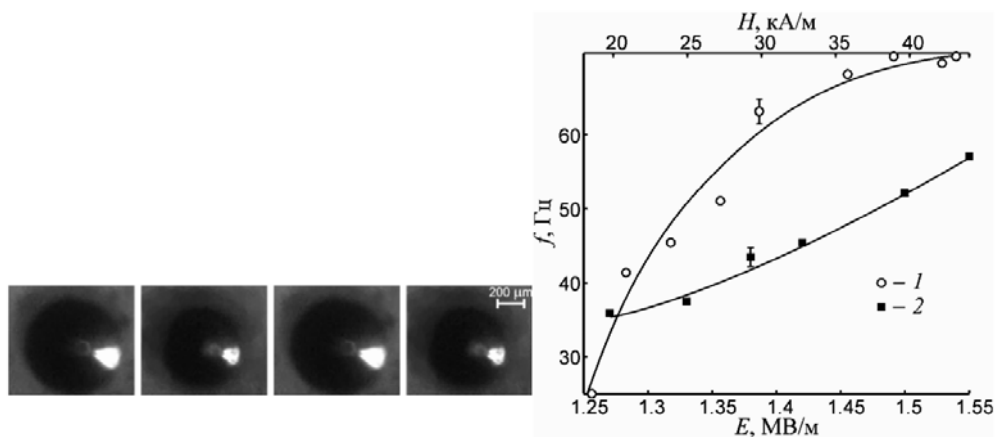


Рис. 1. Серия последовательных фотографий пульсирующего пика магнитной жидкости с временным интервалом 25 мс ($E=1.4$ МВ/м; $H=25$ кА/м).

Рис. 2. Зависимости частоты пульсаций пика от напряженности магнитного поля (1) при $E=1.22$ МВ/м, $d=775$ мкм, и от напряженности электрического поля (2) при $H = 27$ кА/м, $d = 630$ мкм.

В результате проведенных исследований было обнаружено, что частота пульсаций пика магнитной жидкости f зависит от величины электрического E и магнитного H полей, а также от характерного размера пика, в качестве которого был выбран диаметр его основания d в отсутствие электрического поля. Частота пульсаций пика измерялась путем съемки на высокоскоростную видеокамеру. Так, на рис. 2 представлена экспериментально полученная зависимость частоты пульсаций пика от напряженности внешнего магнитного поля. Как видно из рисунка, при низких значениях напряженности магнитного поля зависимость носит возрастающий характер, с увеличением же напряженности наблюдается тенденция к насыщению. На рис. 2 также приведена экспериментально полученная зависимость частоты пульсаций пика от напряженности внешнего электрического

поля. За напряженность внешнего электрического поля принималось отношение приложенного к электродам напряжения к расстоянию между электродами. Из рисунка видно, что данная зависимость носит монотонно возрастающий характер.

Литература

1. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О. Магнитные жидкости. Рига: Зинатне, 1989. 387 с.
2. Lange A., Langer H., Engel A. Dynamics of a single peak of the Rosensweig instability in a magnetic fluid / / Physica D. – 2000. – Vol. 140. – P. 294–305.
3. Grigor'ev A.I., Shiryaeva S.O. Capillary instabilities of charged drops and electrical dispersion of liquids // Fluid Dyn. – 1994. – Vol. 29. – No. 3. – P. 305–318.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР НА КОНТУРЫ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЫ

А.А. Пикалев, Л.А. Луизова

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»;
e-mail: pikalev@dims.karelia.ru

Плазма с макрочастицами называется пылевой или комплексной плазмой. В природе она встречается в виде пылевых облаков, колец планет; образуется при сгорании ракетного топлива; встречается в различных плазменных установках. Частицы в плазме приобретают электрический заряд (в нашем случае – отрицательный) и могут образовывать упорядоченные структуры [1].

Контур спектральной линии несёт информацию о параметрах плазмы, в частности, об электрическом поле (эффект Штарка) и температуре газа (доплеровское уширение). Обычно в экспериментах с пылевой плазмой считают, что внесение пыли не изменяет распределение температуры в плазме, однако это не было проверено экспериментально.

Нами регистрировались контуры линии излучения неона 585 нм от положительного столба тлеющего разряда. Оценки показали, что контур линии должен быть доплеровский с изотопической структурой. Согласно [2], в естественной смеси изотопов ^{20}Ne составляет 90%, ^{22}Ne – 10%. Изотопический сдвиг между ^{20}Ne и ^{22}Ne для линии 585 нм, согласно [3] составляет 0,00257 нм.

Для регистрации контуров была создана установка на основе интерферометра Фабри-Перо толщиной 14 мм. Центр интерференционной картины приходился на ту часть изображения разряда, где зависала пылевая структура, и выделялся диафрагмой. Сканирование производилось напуском воздуха в барокамеру с интерферометром. Оценка аппаратной функции показала, что аппаратная функция установки близка к

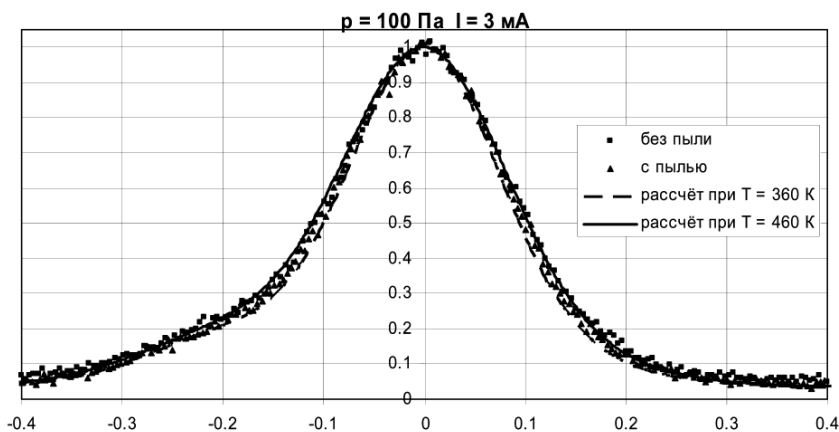
аппаратной функции идеального интерферометра с коэффициентом отражения 80%.

Разряд горел в стеклянной трубке с перетяжкой. Пылевая структура наблюдалась вблизи нижней границы первой страты выше перетяжки. Типичная пылевая структура имела длину 7 мм и диаметр 3 мм.

Для обнаружения влияния пылевых структур на контур спектральной линии регистрировались контуры при наличии и при отсутствии частиц в плазме. Для корректного сравнения контуров и уменьшения влияния шумов разработана программа, учитывающая непостоянство скорости сканирования.

Исследования проводились при давлениях 100 – 160 Па и токах 2,5 – 7 мА. Набранная статистика не позволяет выявить различий в контурах. Так для давления 100 Па и тока 3 мА ширина зарегистрированного контура без пыли составила $2,6 \pm 0,4$ пм, а с пылью – $2,55 \pm 0,22$ пм с вероятностью 90%.

Для оценки температуры проводилось моделирование в программе [4] контуров при различных температурах. За аппаратную функцию бралась аппаратная функция идеального интерферометра с коэффициентом отражения зеркал 0,8. Для давления 100 Па и тока 3 мА экспериментальные точки лежат между кривыми, рассчитанными для температур 360 и 460 К. Рассчитанные кривые и пример зарегистрированных контуров приведены на рисунке 1.



Литература

1. Фортвов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А. и др. УФН **174** (2004) 495.
2. K.J.R. Rosman, P.D.P. Taylor. Isotopic compositions of the elements. International Union of pure and applied chemistry, 1997.
3. Connor T.R., Biondi M.A. Phys. Rev. **140** (1965) A778.
4. Программа "Apparat". URL: <http://plasma.karelia.ru/distort/apparat.ru.php>

ОБРАЗОВАНИЕ ТРИТОНОВ И ЯДЕР ^3He В РЕАКЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ

Р.В. Припула

НИЯУ МИФИ; e-mail: rvpritula@gmail.com

Представлены результаты измерений энергетических спектров и выходов тритонов и ядер ^3He , образующихся в реакции поглощения остановившихся пионов.

Эксперимент выполнен на синхроциклотроне ПИЯФ РАН с помощью полупроводникового спектрометра заряженных частиц. Данные получены на наборе ядер в рекордно большом диапазоне массовых чисел: $^6,7\text{Li}$, ^9Be , $^{10,11}\text{B}$, ^{12}C , ^{28}Si , ^{40}Ca , ^{59}Co , ^{93}Nb , $^{114,117,120,124}\text{Sn}$, ^{169}Tm , ^{193}Ta , ^{209}Bi .

Полученные спектры проанализированы с помощью феноменологической модели, учитывающей различные процессы образования частиц:

- 1) первичные частицы, образующиеся при поглощении пионов на внутриядерных кластерах;
- 2) предравновесные частицы, образующиеся в последующих каскадных процессах;
- 3) низкоэнергетичные испарительные частицы, образующиеся на испарительной стадии реакции.

Получены оценки вкладов различных механизмов в образование t и ядер ^3He в реакции поглощения пионов. Проанализированы A -зависимости полных выходов частиц. Произведено сравнение с аналогичными данными для протонов и дейтронов, образующихся в каналах реакции поглощения пионов.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, ГК N 14.740.11.0608.

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ СОСТАВА ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ ТЛЕЮЩИХ РАЗРЯД- ЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ КАТОД

Н.А. Сироткин, А.В. Хлюстова

Институт химии растворов Российской академии наук, Иваново, Россия;
e-mail: kav@isc-ras.ru

При зажигании тлеющего разряда над поверхностью электролитного катода существенно меняется состав газовой фазы. Неравновесное испарение, являющееся аналогом катодного распыления в системе классического тлеющего разряда, является

основным процессом, происходящим на границе раздела плазма-раствор. В результате этого процесса в газовой фазе появляются частицы, имеющие своих предшественников в растворе электролита. Это не только молекулы растворителя (воды), но и частицы нелетучего растворенного вещества.

Целью данной работы было определение состава газовой фазы над поверхностью электролитного катода при зажигании электрического разряда. Нами была предпринята попытка теоретически вычислить концентрации частиц, образующихся в ходе горения разряда. Преимущество данного подхода в том, что учитываются многие условия, такие как температура в зоне плазмы, распыление растворителя и растворенного вещества, постоянное значение концентрации электронов, определяемой током разряда. Также, мы ставили вопрос о том, будет ли расчетная концентрация возбужденных атомов металла достаточной для появления его спектральной линии в эмиссионном спектре.

Для оценки состава газовой фазы были выбраны около 140 реакции с участием, как молекул исходного газа, так и различных частиц, всего была выбрана 41 частица: O_2 , N_2 , H_2O , H_2 , NO , H , O , OH , NO_2 , N_2O , HNO , HO_2 , O_3 , NO_3 , H_2O_2 , H_3O^+ , $H_5O_2^+$, $H_7O_3^+$, N_2^+ , O_2^+ , HNO_2 , N , O_2^* , H_2O^+ , HNO_3 , Na , Cl , Na^* , Cl_2 , HCl , NaO , NaO_2 , $NaNO$, $NaCl$, Na^+ , Cl^- , e , H^- , OH^- , O_2^- , O^- , N_2^- . Таким образом, была составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих зависимость концентрации каждой частицы от времени. Расчет системы производился численным методом Рунге-Кутты 4-5 порядков.

Результаты численного анализа состава газовой фазы вблизи жидкого электролитного катода показали, что основные химические процессы происходят в первые 25 мс после зажигания разряда. Высокая окислительная способность газового разряда объясняется достаточно высокой концентрацией таких окислительных частиц, как OH , HO_2 , H_2O_2 , а также O и O_3 . В случае атомов натрия, расчеты показали, что концентрация возбужденных атомов натрия в газовой фазе составляет около 10^{10} см^{-3} , что вполне достаточно для появления в спектре резонансной линии атома натрия.

Полученные результаты позволяют лучше понять процессы, происходящие в плазме тлеющего разряда с электролитным катодом, и дают возможность объяснить механизм появления в эмиссионном спектре тлеющего разряда линии металла.

ВЛИЯНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ НА ВЯЗКОСТЬ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.А. Степаненко, В.М. Жданов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия; e-mail: quotephoton@inbox.ru

Для моделирования экспериментов по физике пристеночной термоядерной плазмы применяются различные программные комплексы: B2-EIRENE, UEDGE-DEGAS и другие. Численные коды, описывающие динамику заряженных частиц, основаны, главным образом, на известной системе уравнений Брагинского для полностью ионизованной плазмы [1]. При этом для расчетов обычно используются полученные им классические выражения для коэффициентов переноса ионов и электронов. Между тем, при моделировании плазмы в диверторной области токамака в режиме отрыва, когда степень ионизации плазмы мала и преобладают столкновения ионов с атомарными и молекулярными компонентами плазмы, оказывается необходимым учет нейтральных компонентов плазмы, в частности их влияние на коэффициенты переноса.

В настоящей работе исследовано влияние процесса резонансной перезарядки ионов на атомах на вязкость частично ионизованной плазмы, находящейся в магнитном поле. Представлена общая система уравнений для определения коэффициентов вязкости произвольного компонента плазмы в приближении $21N$ моментов метода Грэда [2]. Получены выражения для коэффициентов полной и парциальной вязкости многокомпонентной частично ионизованной плазмы. В качестве примера рассчитаны коэффициенты продольной и поперечной вязкости для ионной и нейтральной компонент частично ионизованной водородной плазмы. Показано, что учет влияния резонансной перезарядки может приводить к значительному изменению продольной и поперечной вязкости ионного компонента плазмы в области низких степеней ионизации плазмы, характерных для диверторной области токамака.

Литература

1. *Брагинский С.И.* Вопросы теории плазмы / С.И. Брагинский. - М.: Госатомиздат, 1963. - Вып. 1. - с. 183.
2. *Жданов В.М.* Процессы переноса в многокомпонентной плазме / В.М. Жданов. - М.: Физматлит, 2009.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Е.С. Ткачева

Северо-Кавказский федеральный университет
Институт естественных наук; e-mail: tkacheva_es.86@mail.ru

Деформационные эффекты микрокапель дисперсной фазы магниточувствительной эмульсии, вызванные действием магнитного и электрического полей ранее были изучены в [1, 2]. Такое поведение дисперсной фазы во внешних полях должно вызывать изменение макроскопических электрических свойств эмульсии. Следует отметить, что магнитные свойства подобных сред уже были изучены в [3]. В настоящей работе были исследованы зависимости удельной диэлектрической проницаемости эмульсий магнитной жидкости в диэлектрическом авиационном масле и масла в магнитной жидкости от напряженности внешнего магнитного поля, когда оно направлено параллельно электрическому измерительному полю и перпендикулярно ему. Было обнаружено, что при действии магнитного поля, совпадающего по направлению с электрическим, диэлектрическая проницаемость эмульсии увеличивается по сравнению с первоначальным значением. При взаимно перпендикулярном направлении полей наблюдалось менее значительное убывание величины проницаемости эмульсии. Так же была исследована зависимость диэлектрической проницаемости и проводимости эмульсии от угла между направлениями электрического и магнитного полей. Оказалось, что когда угол между направлениями электрического и магнитного полей составляет 0 , величины проницаемости и проводимости имеют максимальные значения. Минимальные значения проницаемости и проводимости эмульсии имеют при угле 90° . На основе выше изложенного можно сделать вывод, что магниточувствительная эмульсия в скрещенных магнитном и электрическом полях становится электрически анизотропной средой, что проявляется в зависимости диэлектрической проницаемости и электрической проводимости эмульсии от угла между направлениями магнитного и электрического полей.

Литература

1. Ткачева Е.С., Закинян А.Р. Динамика формы магнитных и немагнитных капель магнитодиэлектрических эмульсий в магнитном и электрическом полях // Научно-технические ведомости СПбГПУ №4(88) 2009. – С. 76-82.
2. Zakinyan A.R., Tkacheva E.S., Dikansky Y.I. Dynamics of a dielectric droplet suspended in a magnetic fluid in electric and magnetic fields // Journal of Electrostatics 70 (2012) 225 – 232.
3. Закинян А.Р. Особенности процессов намагничивания и поляризации магниточувствительных эмульсий. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Ставрополь, 2010.

ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА

Устные доклады

ЭЛВ-4-6: ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

К.А. Брызгин

ИЯФ СОРАН; e-mail: bryazginkos@yahoo.com

Ускорители электронов ЭЛВ используются в промышленности по всему миру, облучая продукцию для различных целей. В данной работе исследуется новая разработка ИЯФ – ускоритель ЭЛВ-4-6 (1,2 МэВ, 100 кВт), модернизированный ЭЛВ-4. Первичная обмотка и магнитопроводы были удлинены и изготовлены из двух частей. Кроме того, в выпрямительной схеме ускоряющего напряжения были использованы конденсаторы меньшей емкости другой марки в связи с прекращением выпуска прежних конденсаторов.

В данной работе исследуется влияние зазора между составными элементами: первичной обмоткой и магнитопроводами, т. к. идеальная состыковка конструктивно невозможна. В первых экспериментах выяснилось, что провал магнитного потока в районе зазора в первичной обмотке, составленной из двух частей, составил 40%, что примерно в 2 раза больше ожидаемого. Были выяснены и описаны два эффекта, увеличивающие провал: влияние частей первичной обмотки друг на друга и индуцированный ток в металлическом котле-контейнере ускорителя. В расчетах применялись аналитические вычисления и моделирование в SAM. В итоге создана модель, описывающая магнитный поток по всей длине ускорителя. Переменный магнитный поток наводит ЭДС, которая выпрямительными секциями преобразуется в постоянное напряжение. Из-за провала магнитного потока распределение напряжения по секциям неравномерно. Измеренная максимальная неоднородность напряжения секций составила 15%, что допустимо для работы ускорителя.

Использование новых конденсаторов увеличило пульсации выпрямленного напряжения, следовательно, энергии электронов. С помощью специально разработанного датчика были измерены пульсации для разных режимов работы ускорителя, одновременно было произведено моделирование, которое подтвердило результаты. На рабочих режимах $E=0,8$ МэВ, $I=100$ мА и $E=1,2$ МэВ, $I=83$ мА пульсации составили соответственно $\pm 13\%$ и $\pm 8\%$. Пульсации изменяют распределение поглощенной дозы облучения в веществе, однако расчеты показали, что изменения распределения дозы на рабочей глубине незначительны.

В данной работе были выяснены и описаны эффекты, определяющие провал потока магнитного поля в районе стыковки первичных обмоток, предложены способы модернизации ускорителя для улучшения однородности потока.

ЗОНДОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАЗМЫ: НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПРИБОРОВ

А.Ю. Грабовский, А.С. Мустафаев

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия В.О., д.2; e-mail: schwer@list.ru

Решающую роль в исследованиях плазмы играют методы диагностики, их совершенство, надежность и возможность применения в реальных условиях плазменных устройств.

Классические зондовые методы исследования разреженной плазмы, которые вошли в физику, начиная с работ Ленгмюра и Дрювестейна, предполагали слабую асимметрию функции распределения электронов по скоростям (ФРЭС). В то же время для многочисленного класса плазменных объектов – плазмотроны, плазменные ускорители, приэлектродные области плазменных термоэмиссионных приборов, кнудсеновские разряды, плазменно-пучковые разряды, плазменные источники света, и др.,- функция распределения электронов сильно анизотропна.

После теоретических и экспериментальных работ школы выдающихся советских физиков Кагана Ю.М. и Переля В.И. казалось, что все возможности метода ленгмюровских зондов исчерпаны полностью. Метод стал практически единственным, обеспечивающим локальную диагностику функции распределения электронов в равновесной низкотемпературной плазме.

Методов диагностики анизотропной плазмы с поверхностной и объёмной ионизацией атомов непосредственно в рабочих условиях термоэмиссионных приборов практически не существовало, тогда как применение именно такой плазмы является перспективным для создания нового поколения радиационно-стойких управляемых приборов.

Поэтому разработка экспериментальных методов исследования плазмы в условиях сильной анизотропии функции распределения электронов является актуальной и своевременной, тем более что прогресс в теоретических исследованиях сильно анизотропных плазменных объектов только намечается.

Предлагаемая работа посвящена разработке зондового метода диагностики и проведению исследований в анизотропной плазме с целью создания эффективных приборов плазменной энергетики, имеющих важное оборонное и научно-техническое значение.

Основные результаты работы:

– *Зондовый метод исследования анизотропной плазмы:*

1. Разработан метод плоского одностороннего зонда, позволяющий измерять ФРЭС в отсутствие априорной информации о степени анизотропии плазмы. Теоретически и экспериментально обоснована возможность восстановления полной ФРЭС, а также устойчивость и точность результатов по отношению к погрешностям эксперимента.
2. Впервые разработан и математически обоснован метод диагностики анизотропной плазмы цилиндрическими зондами, позволяющий восстанавливать полную ФРЭС путем совместного использования экспериментальных данных и решения кинетического уравнения Больцмана.
3. Предложена теория метода исследования внеосевой (радиальной) области разрядного промежутка для зондов различной геометрии, позволяющая исследовать анизотропную плазму вблизи границ плазменного объема и получать нетрадиционную информацию о процессах ухода заряженных частиц на стенки.

Результаты апробации разработанного метода в плазме положительного столба тлеющего разряда низкого давления в гелии, при этом впервые:

1. Измерены энергетические зависимости угловых гармоник функции распределения электронов $f_0 - f_5$, установлена доминирующая роль лишь первой угловой гармоники распределения f_1 и экспериментально обосновано общепринятое двучленное разложение функции распределения в слабо анизотропной плазме.
2. Определена с помощью f_1 дрейфовая скорость электронов разных энергий.
3. Измерены интегралы электрон-атомных столкновений S_j , позволяющие раздельно изучать сечения процессов, протекающих в плазме с участием электронов.
4. Разработан новый метод определения транспортного сечения упругого рассеяния электронов на атомах гелия и локальной концентрации нейтральной компоненты плазмы.

– *Результаты исследований процессов релаксации анизотропной функции распределения электронов по импульсам и по энергии в плазме гелиевого низковольтного пучкового разряда (НПР):*

1. Впервые установлено, что в столкновительной плазме вопреки общепринятым представлениям релаксация интенсивного электронного пучка по энергии может происходить путем возбуждения волн. Измерены значения критического тока, при достижении которого пороговым образом осуществляется смена механизмов релаксации. В результате сравнительного теоретического и экспериментального анализа структуры энергетического спектра электронов интенсивного пучка определена концентрация метастабильно возбужденных атомов гелия.
2. В бесстолкновительной плазме обнаружено парадоксальное явление изотропизации

интенсивного пучка электронов при взаимодействии с плазменными колебаниями и оценено сечение электрон-плазмонного квазиупругого “соударения”. Плазменно-пучковый механизм энергетической релаксации анизотропной функции распределения электронов имеет волновую природу и включается при достижении критического тока. Впервые получен экспериментальный критерий порога энергетической релаксации интенсивного моноэнергетического пучка.

– *Результаты апробации разработанного метода диагностики для исследования электрокинетических характеристик плазменных приборов на базе НПП в гелии:*

1. Измерено пространственное распределение параметров плазмы, построены полярные диаграммы направленного движения электронов разных энергий и восстановлена полная функция распределения электронов в плазме гелиевого НПП.

2. Впервые исследовано влияние геометрии границы плазменного канала на устойчивость горения разряда и длину энергетической релаксации ФРЭС. Показано, что конусный проводящий экран обеспечивает при постоянном давлении газа снижение концентрации плазмы вдоль оси прибора в 4 раза, что увеличивает длину энергетической релаксации ФРЭС в 2 раза. Это позволяет увеличить плотность разрядного тока j_{\max} до 2 А/см² при давлениях 0,5÷1,0 тор. Установлено, что с повышением давления потенциал горения НПП устанавливается на значении потенциала возбуждения метастабильного уровня газа-наполнителя. Разработан и создан плазменный диодный стабилизатор напряжения, в котором для стабилизации напряжения в диапазоне 0÷60 В межэлектродный промежуток заполняют инертными газами с различными потенциалами ионизации и возбуждения.

3. Впервые в мире обнаружен контрагированный режим горения трехэлектродной дуги с вольт-амперной (ВАХ) характеристикой, удовлетворяющей противоречивым требованиям стабилизации как тока, так и напряжения. Создано принципиально новое устройство, обеспечивающее получение стабилизированного постоянного тока с регулируемой плотностью $J_c = (10^{-1} - 10^1)$ А/см² и стабилизированного напряжения в диапазоне 0-60 В.

4. Разработан новый метод подавления плазменных неустойчивостей, вызванных наличием участка отрицательного сопротивления на ВАХ прибора. Метод обеспечивает стабилизацию рабочих параметров разряда вплоть до разрядных токов 5 А.

Полученные результаты могут использоваться при проектировании систем противорадиационной защиты на атомных электростанциях и подводных лодках, для разработки бортовой электроники космических кораблей, в современных нанотехнологиях для создания эффективных плазменных реакторов, и т.д.

РАСПОЗНАВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

А.О. Литвинова

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: litvinovaanechka@yandex.ru

Комбинационное рассеяние (КР) света было открыто Ландсбергом Г. С. и Мандельштамом Л. И. и Раман Ч. В. и Кришнан К. С. в 1928 году при исследовании рассеяния света на кристаллах кварца и в жидкостях [1]. В настоящее время КР является доступным, эффективным, точным методом исследования состава молекулярных структур[2]. Целью представленной работы является получение экспериментального доказательства эффективности метода на примерах сложных молекулярных структур, таких как стильбен, РОРОР, РРО, рубин, лекарства из «домашней аптечки».

Установка (Рис.1а) состоит из последовательно соединенных элементов: лазер(532нм)(1), кюветы с веществом(2), абсорбционного желтого фильтра(3), миниспектрометра(4), подключенного к компьютеру(5).

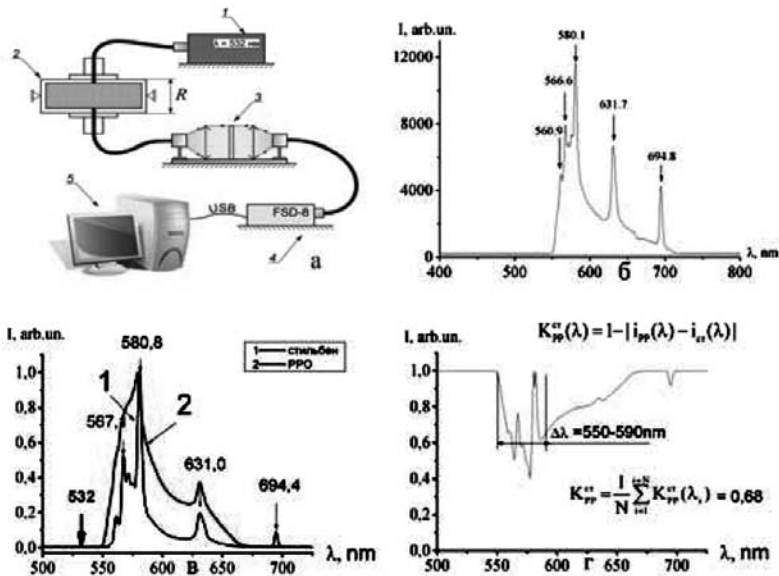


Рис. 1. а) Схема экспериментальной установки на просвет; б) Спектр КР смеси стильбена и нано порошка(1:1); в) Спектры КР стильбена и РРО с экспозицией 512 мс; г) Разностный спектр для спектров на рис. в.

В результате было установлено, что при добавлении в стильбен нано порошка Al_2O_3 (Рис.1б) резко повышается интенсивность линий комбинационного рассеяния в спектре (согласуется с теорией [1,2]). Были получены спектры КР веществ стильбена, РОРОР, РРО и др. при разных экспозициях и мощностях лазера (например, Рис.1в). Были построены разностные функции, которые дают информацию о соответствии химических соединений друг другу. На Рис.1г видно, что стильбен и РРО сильно различаются. Коэффициент соответствия веществ на много меньше единицы (0.68) – это говорит о высокой степени несоответствия друг другу веществ.

Таким образом, можно проводить точный анализ молекулярных соединений методом КР для контроля качества веществ.

1. В.С. Горелик, И.А. Рахматуллаев. Комбинационные оптические процессы в ультрадисперсных средах при импульснопериодическом лазерном возбуждении. // Препринт ФИАН, с. 34, 2004г.
2. А.П. Гончаров, В.С. Горелик, А.В. Кравцов. Комбинационное рассеяние света в конденсированных средах, помещенные в фотонные ловушки. // Журнал технической физики. Том 7, вып. 11, стр. 78 – 82, 2007г.

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР СО СЛОЯМИ $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}$ НА ПОДЛОЖКАХ $\text{Si}(100)$ И САПФИРА

С.А. Матвеев

Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ);
e-mail: matveevsa.sou@gmail.com

Одной из актуальных задач современной оптоэлектроники является создание на базе традиционной кремниевой технологии светоизлучающих приборов и схем диапазона длин волн $\lambda \sim 1,54$ мкм. [1]. Большие перспективы, с точки зрения создания светоизлучающих приборов этого диапазона, связывают в настоящее время с кремниевыми эпитаксиальными наноструктурами и гетероструктурами (ГС) $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, легированными примесью эрбия [2]. Кроме того, формирование структур этого типа на подложках сапфира открывает новые возможности их использования в радиационно-стойких приборах и схемах.

В данной работе проведено исследование люминесцентных свойств ГС $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}/\text{Si}$, выращенных на подложках $\text{Si}(100)$ и сапфира (1 $\bar{1}$ 02).

Гетероструктуры $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}/\text{Si}$ выращивались методом сублимации Si в среде германа [3]. В этом методе основной компонент (кремний) твердого раствора поступает на подложку в виде атомарного потока из сублимирующего источника кремния, а второй компонент (германий) – за счет разложения его гидрида (газа герман, GeH_4),

введенного в камеру роста.

Содержание германия в слоях $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}$ варьировалось от 11 до 25%, а их толщина составляла 0,8 - 1,5 мкм. Рост структур проводился в низкотемпературном интервале от 300 до 500°C. Структурные свойства, и элементный состав слоев анализировались методами рентгеновской дифракции и электронографии. Для исследований люминесцентных свойств выращенных структур использовался метод фурье-спектроскопии высокого разрешения, исследования проводились при $T = 77$ К.

Исследования люминесцентных свойств ГС, выращенных как на подложках Si(100), так и сапфира (Al_2O_3), показали взаимосвязь интенсивности сигнала фотолюминесценции (ФЛ) и температуры подложки в процессе роста (температуры роста эпитаксиальных структур). В случае роста ГС на подложках Si(100) максимальная интенсивность сигнала ФЛ наблюдалась в слоях $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}$, выращенных при $T_s = 350^\circ\text{C}$, при выращивании слоев на сапфире температура роста, при которой наблюдался максимальный сигнал ФЛ, была несколько выше ($\sim 375^\circ\text{C}$). Также максимальная интенсивность в случае подложки сапфира была в $\sim 2,5$ раза больше, чем максимальная интенсивность в случае подложки Si(100) (рис. 1).

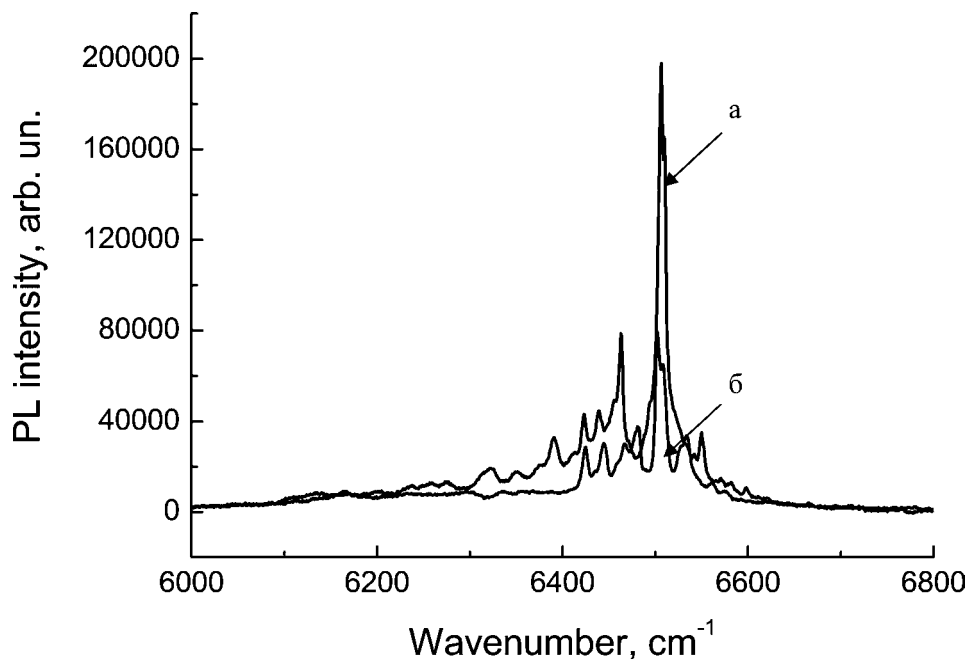


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции слоев $\text{SiGe}:\text{Er}$, выращенных: а) на подложке сапфира, б) на подложке Si(100).

Выращенные структуры характеризуются интенсивным сигналом ФЛ в диапазоне длин волн 1,54 мкм. Максимальный сигнал ФЛ с характерной тонкой структурой спектра наблюдался в слоях $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}$, выращенных на подложках сапфира (1 $\bar{1}$ 02) при температуре роста 375°C. По интенсивности, сигнал ФЛ этих структур превышал сигнал ФЛ структур такого же типа, выращенных на подложках Si. В работе обсуждается взаимосвязь люминесцентных свойств гетероструктур $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}/\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3()$ и их структурного совершенства. Установлено, что максимальная интенсивность сигнала ФЛ наблюдалась в ГС $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{Er}/\text{Si}$ более совершенных по структуре.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Литература

1. H. Zimmermann. Silicon Optoelectronic Integrated Circuits // Springer, 2010.
2. G.T. Reed. Silicon Photonics: The State of the Art // Wiley-Interscience, 2008.
3. С.П. Светлов, В.Г. Шенгуров, В.А. Толмасов, Г.Н. Горшенин, В.Ю. Чалков. Установка для сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния // ПТЭ, 2001, № 5, С. 137– 140.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ЦЕПИ ВБЛИЗИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.А. Настулявичус, О.С. Баруздина

Череповецкий государственный университет; e-mail: ganuary_moon@mail.ru

В настоящее время из-за высокого уровня автоматизации промышленных предприятий совершенствование большинства технологических процессов возможно лишь на основе их фундаментальных исследований. В частности, для производства листового металла с лакокрасочными покрытиями подробное изучение роли внутри- и межмолекулярных взаимодействий в полимерных системах позволит сделать более точным адаптивное управление процессами прилипания полимерной молекулы к металлу, а также улучшить качество выпускаемой продукции за счет получения более равномерных покрытий.

Целью данной работы является создание компьютерной 3d-модели процессов движения и прилипания макромолекулы к листу металлопроката. Задача решается методом молекулярной динамики. В качестве математической модели полимерной системы была выбрана модель Каргина–Слонимского. Макромолекула рассматривается в виде набора «бусинок», соединенными упругими пружинками с жесткостью K . Кроме того, при моделировании учтена жесткость цепи на изгиб (константа K_c). Цепочка движется внутри растворителя с концентрацией C , которая

уменьшается в процессе сушки покрытия. При приближении молекулы к поверхности металлического листа позникает слабое прилипание (физическая адсорбция). Если звено полимерной цепи имеет достаточную энергию, чтобы преодолеть энергию активации, возникает хемосорбция, поэтому прилипание становится достаточным для возникновения стойкого полимерного покрытия.

Составлена компьютерная программа, исследующая реальный производственный процесс, реализуемый в цехе полимерных покрытий (ЦПП-2) ОАО «Северсталь». Входными параметрами программы являются температура, константы K и K_1 , концентрация растворителя и др. величины. Вычисляется коэффициент прилипания. Такое имитационное моделирование в дальнейшем позволит определить оптимальные температурные режимы рассмотренных процессов.

Работа выполнена и поддержана в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (грант №14.В37.21.0075).

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

А.Ю. Пятышев

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: jb_valensia@mail.ru

Биоактивные препараты – это химические соединения, обладающие высокой физиологической активностью даже при небольших концентрациях. Они оказывают сильное воздействие на определенные группы живых организмов. К ним относятся, в частности, различные фармацевтические объекты, стимуляторы процессов жизнедеятельности, аминокислоты, токсические вещества и др.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие биологические препараты: аспирин, анальгин, парацетамол и цитрамон. В данной работе ставилась задача сравнения спектров фотолюминесценции анализируемых и номинальных биоактивных объектов на примере коммерческих фармацевтических препаратов.

Для возбуждения и регистрации спектров вторичного излучения использовалась волоконно-оптическая методика [1-3]. В качестве источника возбуждающего ультрафиолетового излучения использовалась четвертая гармоника (266 нм) лазера на алюмоиттриевом гранате.

Установлено, что вид спектра фотолюминесценции зависит от толщины слоя вещества в кювете, агрегатного состояния образца и характеристик возбуждающего

излучения. Уменьшение толщины слоя исследуемого вещества приводит к существенному перераспределению интенсивности, объясняемому переходом от режима спонтанной люминесценции к суперлюминесценции. Спектры фотолюминесценции могут служить для проведения молекулярного анализа на основе разностной методики, позволяющей установить тип фармацевтического препарата. Полученные результаты открывают возможность для существенного упрощения идентификации фармацевтических препаратов и создания новых типов лазеров.

Литература

1. Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, М.Ф. Умаров, С.В. Морозова, Краткие сообщения по физике ФИАН, 11(2011).
2. В.В. Грязнов, В.С. Горелик, Н.И. Юрасов, Краткие сообщения по физике ФИАН **37**(5), 22(2010).
3. V.S. Gorelik, Yu.P. Voinov, V.D. Zvorukin, et. al., Journal of Russian Laser Research **31**(1), 80 (2010).

Стендовые доклады

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ СРЕДНИХ И НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ С ЗАЩИТНЫМ СТЕКЛОМ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.Б. Винтайкин

МГТУ им. Баумана, студент

Радиационное воздействие на оптические материалы представляет актуальную проблему как с позиции фундаментальных проблем физики и химии твердого тела, так и при решении многих задач современного материаловедения. Например, проблема радиационной стойкости является одной из определяющих в космической отрасли, где действие ионизирующих излучений может привести к деградации оптических свойств аппаратуры.

В условиях высокоэллиптических и геостационарных орбит основной вклад в поглощенную в защитных стеклах дозу излучения вносят электроны и протоны низких (до 100 кэВ) и средних (менее 1 МэВ) энергий. Взаимодействие с кварцевыми стеклами электронов с начальными энергиями выше 1 МэВ подробно изучено, поэтому в данной работе приводятся результаты вычислительных экспериментов для электронов с энергиями ниже 500 кэВ.

Для расчета интегральных характеристик результата взаимодействия электронов со стеклом была использована модификация алгоритма метода Монте-Карло – модель укрупнённых столкновений. Суть этого метода состоит в том, что траектория частицы строится как ломаная линия, на каждом из звеньев (длины S) которой происходит большое число соударений. Такой подход к моделированию переноса электронов через вещество возможен потому, что определяющую роль в торможении заряженной частицы играет кулоновское взаимодействие с атомами среды, поэтому длина пробега между столкновениями мала, а сами столкновения сопровождаются, в основном, небольшой потерей энергии и рассеянием на малые углы. При этом процесс замедления электронов носит случайный характер, в результате чего при прохождении пути S возникает некоторое распределение потерь энергии и углов рассеяния электронов.

Представленные в данной работе результаты были получены с использованием углового распределения Гоудсмита и Сандерсона при многократном рассеянии и распределения потерь энергии Блунка и Лейзеганга, которое учитывает резонансное

взаимодействие электрона с электронами внутренних оболочек атома. В качестве основных интегральных характеристик взаимодействия электронов с веществом были выбраны: распределения энерговыделения в образцах защитного стекла; энергетические и числовые коэффициенты отражения и прохождения; спектры электронов прошедших мишени разной толщины; спектры электронов отраженных от мишеней разной толщины.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ПОЛУПРОВОДНИКОВ (CdTe, CdSe, ZnSe), ВНЕДРЕННЫХ В СТЕКЛЯННУЮ МАТРИЦУ

А.С. Завидеев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Объекты размером порядка нанометров интересны тем, что у них начинают проявляться квантовые эффекты, такие как дискретность энергетических уровней. Такие объекты называют **квантовыми точками**. Особенностью квантовых точек является зависимость длины волны люминесцентного излучения от их размеров.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование люминесцентных свойств квантовых точек CdTe, CdSe, ZnSe, внедренных в стеклянную матрицу.

Люминесценцию можно представить как процесс поглощения атомами фотонов и последующего люминесцентного излучения [1]. Было проведено компьютерное моделирование этого процесса методом Монте-Карло. В модели задается интегральное уравнение для плотности столкновений (1), которое далее рассматривается в вероятностной интерпретации.

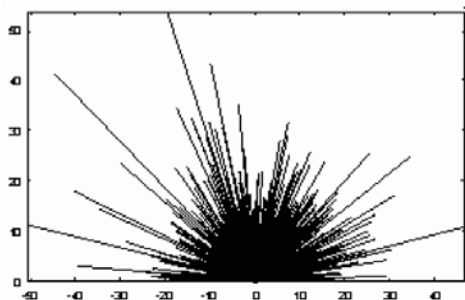


Рис. 1. Точки генерации частиц и их траектории до первого столкновения для $N=10000$ частиц.

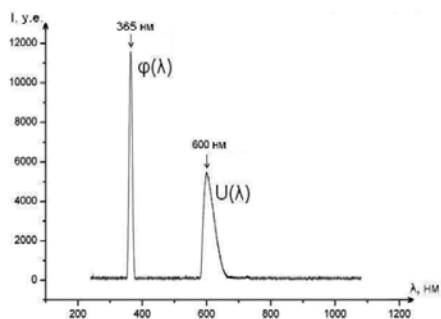


Рис. 2. Спектр люминесценции одного из исследуемых светофильтров.

$$\psi(\vec{r}, \vec{E}) = q_1(\vec{r}, \vec{E}) + \iint K(\vec{r}', \vec{E}'; \vec{r}, \vec{E}) \psi(\vec{r}', \vec{E}') d\vec{r}' d\vec{E}' \quad (1)$$

На рис. 1 показаны результаты работы программы для траекторий частиц от рождения до первого столкновения. Также было найдено распределение интенсивности в виртуальных детекторах ($n=51$), расположенных на задаваемом расстоянии от источника.

С помощью спектрофотометра U21830 экспериментально исследовались спектральные свойства квантовых точек CdTe, CdSe, ZnSe. Был проведен сравнительный анализ спектров по различным параметрам: квантовый выход люминесценции, ширина спектра и др. На рис. 2 представлен спектр люминесценции светофильтра с квантовыми точками CdSe.

1. Хасанишин Р.Х., Шахорин А.П. Применение метода Монте-Карло для решения задач переноса фотонов через вещество. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. 48 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОТИПА ЭЛЕМЕНТА ReRAM НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ АНОДНЫХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НИОБИЯ

В.А. Куроптев

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»;
e-mail: kuroptev@petsu.ru

Эффект резистивного переключения, заключающийся в обратимом переходе между высоко- и низкоомным состояниями с резко различающимся (от одного порядка) сопротивлением в целом ряде оксидов переходных металлов [1], считается одним из наиболее перспективных в роли потенциального кандидата для разработки энергонезависимой памяти с новыми качественными свойствами – ReRAM (мемристоров) [2].

В лаборатории оксидной электроники физико-технического факультета ПетрГУ проведены разработка и исследование прототипа элемента ReRAM на основе нестехиометрических анодных оксидных пленок ниобия (НАОПН) и биполярного резистивного переключения (БРП), ранее в таком сочетании в мировой научной литературе не описанные.

В ходе проведения работ были получены оптимальные параметры и условия создания и эксплуатации структур $Nb/Nb_xO_x/Al$ (подобраны основа прототипа, определены особенности технологии получения (анодного окисления с высокими

плотностями тока анодирования без последующего вакуумного отжига), рассмотрены вопросы материалов и геометрии электродов, входящих в состав структуры, выбраны величины рабочих напряжений), сделаны предположения о возможном механизме переключений в системах, схожих с изученной.

Помимо этого, изучены некоторые характеристики разработанных прототипов элементов ReRAM (морфология их поверхности до и после БРП, ряд оптических свойств) и, что наиболее существенно, исследованы время релаксации одиночного токового импульса в прототипе, динамическое устаревание в ходе эксплуатации, время сохранения состояния прототипа после однократной записи, показавшие потенциальную возможность использования НАОПН и БРП в качестве основы для будущих элементов памяти.

Проведенное исследование позволяет продолжить разработку научной и технологической базы создания новой электронной памяти (энергонезависимой, перезаписываемой, трехмерной) на основе оксидов переходных металлов, получаемых низкотемпературными способами, что допускает ее включение в состав электронных компонентов на получаемых при низких температурах прозрачных, гибких подложках (стекло, пластик, бумага и т. п.).

Литература

1. Sawa A. Resistive Switching in Transition Metal-Oxide // Materials Today. 2008. V. 11.
2. Freitas R. F., Wilcke W. W. Storage-class memory: The next storage system technology // IBM J. Res. & Dev. 2008. V. 52, No. 4–5.

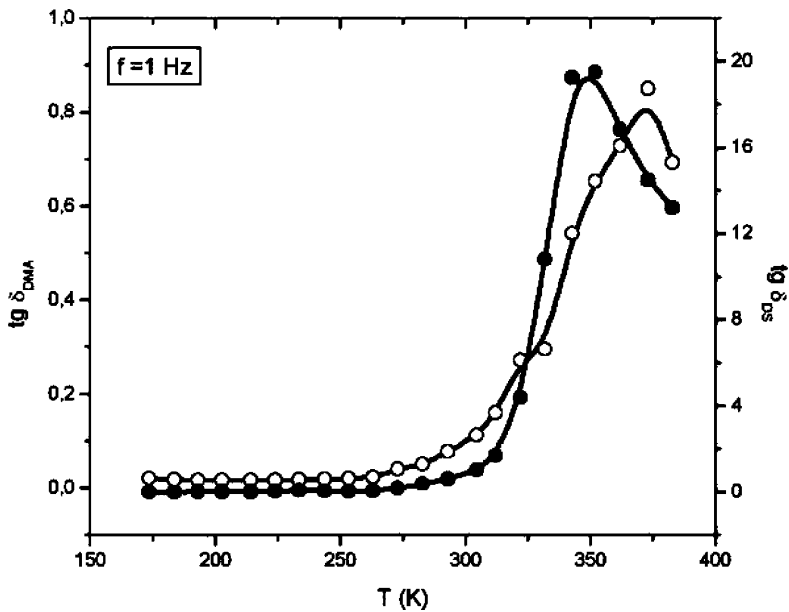
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЗОЛА

Е.Н. Лушин, Р.А. Кастро

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 48;
e-mail: lushin.ev@gmail.com

На сегодняшний день полимеры и сополимеры на основе поливинилтетразолов рассматриваются как перспективные компоненты энергоемких конденсированных систем (ЭКС) и газогенерирующих составов. Данные полимеры выгодно отличаются от других полимерных аналогов повышенной энергоемкостью, хорошей совместимостью с компонентами высокоэнергетических композиций.

Цель работы – исследование тетразолсодержащего полимера – поли-N-метилаллил-5-винилтетразола с модификатором КСl (70%), по выявлению взаимосвязей релаксационных свойств с формированием физико-механических и диэлектрических характеристик.



Измерения диэлектрических спектров проводились на установке «Concept 41» компании NOVOCONTROL Technologies GmbH & Co, метод динамического механического анализа (ДМА), был реализован на обратном крутильном маятнике, при частоте 1 Гц, в интервале температур от 173 до 373 К.

В ходе температурных измерений выявлена область от 310 К до 350 К, в которой отмечено возрастание тангенса угла механических потерь ($\text{tg } \delta_{\text{DMA}}$) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta_{\text{DS}}$). Столь существенные изменения температурной зависимости вязкоупругих и диэлектрических свойств связано с главным температурным переходом из стеклообразного состояния в высокоэластическое – \pm -релаксация. Наиболее резкое увеличение роста кривых наблюдается при $T=327$ К, что указывает на температуру стеклования. Подобные результаты были получены с помощью других методов [1] по определению температуры стеклования.

Литература

1. Кастро Р.А., Лушин Е.Н. Высокотемпературная диэлектрическая релаксация в тетразолсодержащем композите // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы физики полимеров и биополимеров».

ХАРАКТЕРИСТИКИ GaN И AlN В СТРУКТУРЕ ВЮРТЦИТА

М.Ю. Пермякова

Томский государственный педагогический университет; e-mail: mirian463@yandex.ru

В последние годы усилия ученых и разработчиков направлены на исследование и развитие новых многообещающих широкозонных полупроводников. Чтобы обеспечить работу приборов на их основе, нужно знать энергетические характеристики рабочих материалов, из которых состоят эти приборы. Кроме того для расчета энергетических характеристик таких как электропроводность материала, подвижность носителей заряда, необходимо знать физические параметры процессов рассеяния электронов на фононах.

Характеристики GaN и AlN были вычислены с использованием программы Espresso3.2 [1] самосогласованным образом при расчетных значениях постоянных решетки. Для всех кристаллов запрещенная зона в расчете оказывается сильно заниженной, по сравнению с экспериментальной, что является хорошо известным недостатком метода функционала электронной плотности.

Для вюртцитной модификации w-AlN и w-GaN расчет констант электрон-фононной связи в зоне проводимости проведен для перехода между центром зоны Бриллюэна Γ и боковым минимумом, который находится на симметричном направлении между точками L и M в точке S (0.5, 0.2886, 0.2141)2A/a.

Деформационные потенциалы для перехода Γ -S в зоне проводимости в w-GaN в структуре вюртцита приведены в таблице

Тип фонона	LO	LO	LA	LA
Деформационный потенциал (eV/Å)	1.59	0.59	0.48	3.98

Деформационные потенциалы для перехода Γ -S в зоне проводимости в w-AlN в структуре вюртцита приведены в таблице

Тип фонона	LO	LO	LA	LA
Деформационный потенциал (eV/Å)	3.78	1.87	1.84	0.45

Для рассеяния на остальных фононах деформационные потенциалы равны нулю в соответствии с правилами отбора по симметрии.

ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ ГАММА-ЗОНД ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ «СТОРОЖЕВЫХ» ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО КРИСТАЛЛА $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ И КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ

А.К. Ягнюкова, К.А. Воробьев

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»;
e-mail: yagn.anastasia@gmail.com

В последние 15 лет в клинической практике все более популярным становится применение гамма-зондов для выявления «сторожевых» лимфатических узлов. В НИЯУ «МИФИ» в межкафедральной Лаборатории экспериментальной ядерной физики разработан и изготовлен прототип интраоперационного портативного гамма-зонда. Регистрирующая часть детектора состоит из тяжелого неорганического сцинтиллятора $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ и кремниевого фотоумножителя. Представлены результаты измерений пространственной селективности, пространственного разрешения и эффективности детектора относительно источников гамма-квантов Am-241 , Cs-137 и Co-57 при использовании двух типов коллиматоров. Пространственная селективность для Cs-137 и Am-241 с использованием толстого свинцового коллиматора составила 36ϵ и 6ϵ соответственно; для Am-241 и Co-57 с использованием тонкого свинцового коллиматора получены результаты 15ϵ и 16ϵ . Пространственное разрешение для источников Cs-137 и Am-241 с толстым коллиматором составило 9 и 11 мм. В случае использования тонкого коллиматора для источников Am-241 и Co-57 пространственное разрешение составило 17 мм и 22 мм. Таким образом, показана принципиальная возможность создания гамма-зонда на основе сцинтиллятора $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ и кремниевого фотоумножителя.

Литература

1. В.Н. Беляев, Т.С. Брантова, К.А. Воробьев и др. Оптимизация характеристик гамма-локатора на основе кремниевого фотоумножителя для оперативной диагностики онкологических заболеваний. // Сборник материалов ТКМФ-5, том 1, с. 368-370.
2. В.Н. Беляев, Т.С. Брантова, О.В. Емельянова и др. Гамма-локатор на основе полупроводникового фотодетектора для оперативной диагностики онкологических заболеваний. // Медицинская физика.-2010-№ 2-с.42-47.

1. Д.А. Анчиков, А.А. Кренц, Н.Е. Молевич, А.В. Пахомов

Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН;
443011 Россия, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221
Самарский государственный аэрокосмический университет (национальный
исследовательский университет); 443086 Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34;
e-mail: swadimaz@mail.ru

2. А.Р. Байджанов, Е.В. Проуторов

Череповецкий государственный университет; e-mail: houk05@yandex.ru

3. В.Е. Баранов

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования Самарский Государственный Аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева; e-mail: valyok.baranov@gmail.com

4. К.А. Брызгин

ИЯФ СОРАН; e-mail: bryazginkos@yahoo.com

5. Р.Г. Быстрый

ОИВТ РАН; e-mail: broman.meld@gmail.com

6. А.А. Ведерников

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: vedernikovandrey@list.ru

7. И.Б. Винтайкин

МГТУ им. Баумана, студент

8. А.Ю. Грабовский, А.С. Мустафаев

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия В.О., д.2; e-mail: schwer@list.ru

9. Д.И. Завершинский^{1,2}, Н.Е. Молевич^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П.Королева
(национальный исследовательский университет)

² Самарский филиал Учреждения Российской академии наук Физического
института им. П.Н. Лебедева РАН; e-mail: dimanzav@mail.ru

10. А.С. Завидеев

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

11. Е.О. Киктенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: evgeniy.kiktenko@gmail.com

12. Л.Ю. Короткова

Национальный исследовательский ядерный университете «МИФИ»,
e-mail: korotkovalara@gmail.com

13. В.А. Куроптев

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»;
e-mail: kuroptev@petsru.ru

14. А.О. Литвинова

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: litvinovaanechka@yandex.ru

15. Е.Н. Лушин, Р.А. Кастро

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 48;
e-mail: lushin.ev@gmail.com

16. А.Д. Масленникова, И.А. Сергеева

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра молекулярной
физики. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2;
e-mail: maslena_new@mail.ru

17. Д.Ю. Матвеев

Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена,
191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д.48;
e-mail: danila200586@mail.ru

18. С.А. Матвеев

Научно-исследовательский физико-технический институт Нижегородского
государственного университета им. Н.И. Лобачевского (НИФТИ ННГУ);
e-mail: matveevsa.sou@gmail.com

19. П.П. Миронов

Ульяновский государственный университет, e-mail: museum86@mail.ru

20. Л.С. Мкртчян, А.Ю. Шевченко

Северо-Кавказский государственный университет, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1;
e-mail: mkrt-levon@yandex.ru

21. А.А. Настулявичус, О.С. Баруздина

Череповецкий государственный университет; e-mail: ganuary_moon@mail.ru

22. М.Ю. Пермякова

Томский государственный педагогический университет; e-mail: mirian463@yandex.ru

23. А.А. Пикалев, Л.А. Луизова

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»;
e-mail: pikalev@dims.karelia.ru

24. Р.В. Притула

НИЯУ МИФИ; e-mail: rvpritura@gmail.com

25. А.Ю. Пятышев

МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: jb_valensia@mail.ru

26. Н.А. Сироткин, А.В. Хлюстова

Институт химии растворов Российской академии наук, Иваново, Россия;
e-mail: kav@isc-ras.ru

27. Н.С. Смирнова

МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: rolandina19@gmail.com

28. В.М. Жданов, А.А. Степаненко

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия; e-mail: quotephoton@inbox.ru

29. С.С. Сугак

СГАУ им. ак. С.П. Королёва; e-mail: sugakss@gmail.com

30. И.С. Тимофеев, В.Н. Юфа

Московский физико-технический институт, e-mail: i.s.timofeev@gmail.com

31. Е.С. Ткачева

Северо-Кавказский федеральный университет
Институт естественных наук; e-mail: tkacheva_es.86@mail.ru

32. Л.Р. Шихмуратова, И.С. Оленин, Р.А. Браже

ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет
432027 Ульяновск, ул. Северный венец, 32; e-mail: olenin.ilya@gmail.ru

33. А.К. Ягнюкова, К.А. Воробьев

Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»;
e-mail: yagn.anastasia@gmail.com