

Итоговый семинар  
по физике и астрономии  
по результатам конкурса грантов  
2001 года для молодых ученых  
Санкт-Петербурга

7 февраля 2002 г.  
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе  
Санкт-Петербург

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Санкт-Петербург, 2002

## **Организаторы семинара**

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН  
Конкурсный центр фундаментального естествознания (КЦФЕ)  
Министерства образования РФ  
Saint-Petersburg Chapter of Lasers and Electro-Optics Society (LEOS)

## **Организационный комитет**

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ), *председатель*  
Аверкиев Никита Сергеевич (ФТИ)  
Азбель Александр Юльевич (КЦФЕ)  
Закгейм Дмитрий Александрович (ФТИ)  
Когновицкая Елена Андреевна (ФТИ)  
Кучинский Владимир Ильич (ФТИ)  
Кучма Анатолий Евдокимович (КЦФЕ)  
Попов Алексей Юрьевич (ФТИ)  
Портной Ефим Лазаревич (LEOS)

Семинар является одним из заключительных отчетных мероприятий конкурса на соискание персональных грантов для студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербурга, организованного Администрацией Санкт-Петербурга, Министерством образования РФ и Российской академией наук. Конкурс получил также финансовую поддержку со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 2002–2006 годы». Для участия в семинаре были приглашены победители конкурса 2001 года в области физики и астрономии, набравшие высший рейтинг по результатам экспертизы.

## Предисловие

7 февраля 2002 года в Научно-образовательном центре Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук прошел Итоговый семинар по физике и астрономии по результатам конкурса грантов 2001 года для молодых ученых Санкт-Петербурга. Такие семинары проводятся в пятый раз, начиная с 1997 года. Они посвящены подведению итогов конкурсов работ студентов, аспирантов и молодых ученых, проводящихся в рамках программы, организованной администрацией Санкт-Петербурга, Конкурсным центром фундаментального естествознания (КЦФЕ) Министерства образования РФ и Российской академией наук. Задачей конкурса является выявление перспективных научных идей молодежи и финансовая поддержка лучших работ. Конкурс проводится для трех групп участников. В первой группе, называемой «Дипломные проекты», участвуют студенты старших курсов, в группе «Кандидатский проекты» — аспиранты и стажеры-исследователи, и, наконец, в третьей группе «Поисковые проекты» рассматриваются работы молодых ученых, недавно защитивших кандидатскую диссертацию. Подобная структура конкурса, с одной стороны, обеспечивает максимальный охват научной молодежи, а, с другой, позволяет достаточно гибко осуществлять поддержку наиболее перспективных направлений исследований.

В Физико-техническом институте бытует шутка, что единственным эффективным способом для свертывания научных исследований является не отсутствие финансирования или отключение воды, электричества и т. д., а прекращение приема на работу молодых сотрудников.

Поэтому первостепенное значение имеет организация конкурсов грантов для молодых ученых, проведение молодежных конференций и семинаров, обеспечивающих научный рост молодых ученых и способствующих быстрому формированию самостоятельного исследователя из вчерашнего студента. Благодаря финансовой поддержке со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 2002–2006 годы» (УНЦ № А0152) традиционным местом проведения Итоговых семинаров стал Научно-образовательный центр Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе. Участие в работе семинара в новом здании Научно-образовательного центра, оборудованном самой современной техникой, дает возможность молодым ученым — участникам семинара — воочию убедиться в том, что у науки в России есть будущее.

В Итоговом семинаре 2002 года приняло участие около пятидесяти

докладчиков из семи университетов и четырех академических институтов Северо-Запада России. Следует отметить высокий уровень представленных работ, свидетельствующий о значительных успехах вузовской и академической молодежи в развитии выбранных научных идей. В программу включены как экспериментальные, так теоретические работы по оптике, молекулярной физике, физике полимеров, радиофизике, физике плазмы и астрофизике. Как и ранее, в рамках семинара были прочитаны доклады по биофизике. Кроме того, в нынешнем году оргкомитет решил включить в программу семинара работы по геофизике и геоэкологии. Хорошо известно, что расширение научного кругозора молодых ученых и их знакомство с новыми идеями и научными направлениями в сочетании с применением аналитического подхода и экспериментальных методик, развитых в физике, не только способствует становлению молодых специалистов, но и дает мощный импульс для развития междисциплинарных исследований.

Как и в предыдущие годы, семинар проводился в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе при финансовой поддержке КЦФЕ. В организации семинара активнейшее участие приняли молодые сотрудники Физтеха, энергия и энтузиазм которых обеспечили успех семинара.

Ученый секретарь  
ФТИ им. А. Ф. Иоффе  
д. ф.-м. н. Н. С. Аверкиев

# Дипломные проекты

---

## Электронная структура органических полупроводниковых пленок на поверхности металлов и полупроводников

*Ю. Г. Аляев*

Научно-исследовательский институт физики СПбГУ

Проведено исследование пленок органических полупроводниковых макромолекул PTCDA и NTCDA на подложках Cu и ZnO методом низкоэнергетической вторично-электронной спектроскопии полного тока (СПТ). В процессе исследований регистрация спектров ПТ производилась непосредственно в ходе выращивания пленок, что давало возможность отслеживать изменение свойств исследуемых пленок по мере увеличения их толщины начиная от субмонослойных покрытий.

Результаты СПТ были интерпретированы в рамках модели изменения коэффициента прохождения электронов из вакуума в твердое тело в зависимости от плотности незаполненных электронных состояний (НЭС) в зоне проводимости, соответствующей по энергии электронам зондирующего пучка. При сравнении результатов СПТ для молекул NTCDA и PTCDA между собой, а также с данными по СПТ перилена (полученными в ранее проведенном эксперименте) были установлены определенные закономерности в связи химического строения со структурой НЭС. Так, присоединение карбоксильно-диангидридных групп к периленовому ядру при образовании молекул PTCDA приводит к появлению НЭС в области меньше 5 эВ от уровня Ферми за счет взаимодействия орбиталей атомов кислорода, находящегося в составе карбоксил-диангидридных групп и  $\pi^*$ -орбиталей ароматического ядра. Аналогичные максимумы плотности НЭС прослеживаются и в зоне проводимости NTCDA. Структура же более высокоэнергетической части зоны проводимости, определяемая  $\sigma^*$ -орбиталями, остается практически неизменной при переходе от перилена к PTCDA, что указывает на решающую роль ароматического ядра при ее формировании.

Выяснение связи структуры плотности НЭС с химическим строением молекул позволило сделать выводы об участии различных молекулярных орбиталей в образовании химической связи между молекулами и подложкой и о влиянии различных по электронным свойствам подложек (Cu и ZnO) на электронную структуру ближайшего к подложке слоя молекул.

На ZnO спектр ПТ PTCDA уже с самой начальной стадии формирования покрытия соответствует спектру толстой пленки. Спектр NTCDA при аналогичных условиях отличается от объемного: наблюдаются сдвиги и изменение интенсивности отдельных особенностей. На поверхности меди спектры и PTCDA, и NTCDA в начале напыления отличаются от объемных в области низких энергий (меньше 10 эВ от уровня Ферми).

Таким образом, отличие спектров ПТ на начальной стадии осаждения на поверхности Cu(111) означает искажение конфигурации электронных орбиталей карбоксил-диангидридных групп макромолекул за счет влияния подложки, то есть на меди реализуется химическая связь с участием этих групп. Молекулы PTCDA на ZnO(0001) образуют более слабую связь с подложкой и изменений структуры молекулярных орбиталей по сравнению с объемной здесь не наблюдается. Согласно данным эксперимента по десорбции, сила связи между молекулами NTCDA и подложкой ZnO примерно соответствует случаю PTCDA на ZnO. Вероятно, отличие спектра ПТ в начале формирования покрытия NTCDA связано не с химическим взаимодействием с подложкой, а является следствием меньших размеров молекулы и бóльшей роли эффектов межмолекулярного взаимодействия.

## **Сигнальные белки нервных окончаний GAP-43 и BASP1: исследование структурных и функциональных аспектов**

*М. Н. Богданова*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Актуальной проблемой современной нейробиологии является описание процессов, протекающих в мозге в ответ на поступающие извне сигналы. В числе важнейших проявлений этих процессов — обучение и память. Одним из основных этапов решения данной проблемы является максимально полная характеристика белков нервных окончаний (пресинаптической области). Этим определяется интерес к задаче, поставленной в данной работе, — изучению сигнальных пресинаптических белков мозга GAP-43 и BASP1.

Объект данных исследований, белки BASP1 и GAP-43, являются преобладающими белками нервных окончаний. GAP-43 — это исключительно нейроспецифический белок, в то время как экспрессия белка BASP1 наблюдается в некоторых других тканях. У взрослых нейронов большое количество этих белков содержится в синаптических везикулах на концах аксонов, а у развивающихся нейронов — в конусах роста на конце нейритов. Их экспрессия непосредственно связана с ростом и регенерацией

аксонов, установлением новых синаптических связей при развитии нервной системы, а также с пластичностью синапсов во взрослом организме. Путем субклеточного фракционирования, выделения синапсом выделения и очистки белков GAP-43 и BASP1 с помощью препаративного электрофореза (обнаружение белков и их фрагментов проводили с помощью иммуноблоттинга) было показано, что наряду с белком GAP-43 в клетке присутствуют продукты его специфического кальций-зависимого протеолиза: GAP-43-2 и GAP-43-3, лишенные четырех из сорока аминокислот с N-конца соответственно. Нами доказано, что этот протеолиз обусловлен действием цистеиновой кальций-зависимой нейтральной протеазы кальпаин. Также нами была исследована первичная структура белка GAP-43, и в ней были выявлены молекулярно-структурные детерминанты, обуславливающие подверженность белка GAP-43 действию кальпаина. Для определения типа кальпаина (либо кальпаина  $\mu$ , либо  $m$ ), участвующего в процессе протеолиза белка GAP-43, была исследована кальциевая зависимость протеолиза GAP-43 в синапсоммах. Наши данные свидетельствуют в пользу того, что полная активация протеазы, расщепляющей белок GAP-43, происходит при концентрации ионов кальция в миллимолярном диапазоне. Это однозначно свидетельствует о том, что в процессе образования фрагмента GAP-43-3 участвует  $m$ -кальпаин. Это согласуется с тем, что  $m$ -кальпаин локализован в нейронах, главным образом, в нервных окончаниях.

В ходе работы также было исследовано распределение фрагментов GAP-43-2 и GAP-43-3 по различным субклеточным фракциям. Одна из новых концепций, выдвигаемых в настоящей работе, заключается в рассмотрении специфического протеолиза белка GAP-43 как важного механизма регуляции его активности, в отличие от тенденции других авторов рассматривать образование фрагментов GAP-43-2 и GAP-43-3 как деградацию белка в процессе выделения или хранения ткани (McMaster et al., 1988).

В данной работе впервые показано, что белок BASP1 содержится в клетке совместно с рядом его минорных изоформ, обнаруживаемых с помощью поликлональных антител к белку BASP1. Данные изоформы были выделены в чистом виде и частично охарактеризованы. Показано также, что они являются фрагментами белка BASP1, укороченными с C-конца на участки различной длины. Исследовано распределение минорных изоформ в различных тканях, а также в мозге различных организмов.

## **Компьютерный анализ медьсодержащих фероксидаз, участвующих в метаболизме железа**

*А. В. Васин*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Ионы меди и железа, обязательные компоненты пищи и одновременно высокотоксичные агенты для биомолекул, через клеточную мембрану у всех организмов переносятся только в  $\text{Cu}^{1+}$ - и  $\text{Fe}^{3+}$ -состояниях. Во внеклеточном компартменте высших эукариотов эти ионы в состояниях  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  связаны с транспортерами. У низших эукариотов перенос ионов сопряжен с реакциями окисления-восстановления в трансмембранном оксидо-редуктазном комплексе, локализованном на плазматической мембране. Важную роль в нем играет белок FET3 (медьсодержащая ферроксидаза дрожжей), участвующая в окислении ионов  $\text{Fe}^{2+}$ . Гомологичный комплекс у высших эукариот, во внеклеточной среде которых нет свободных ионов меди и железа, не известен. Нами из экспрессионной библиотеки плаценты человека методом иммуоскрининга был изолирован клон фага лямбда-gt11, несущий участок кДНК предполагаемого рецептора церулоплазмينا (ЦП, медьсодержащий гликопротеин сыворотки крови позвоночных, обладающий ферроксидазными свойствами, КФ1.16.3.1.). Ранее показано, что антитела к электрофоретически чистому препарату рецептора ЦП, изолированному из плазматических мембран эритроцитов человека, перекрестно взаимодействуют с ЦП. Было сформулировано рабочее предположение, что рецептор ЦП участвует в гипотетическом оксидо-редуктазном комплексе высших эукариот. Эта гипотеза предусматривает участие в комплексе медьтранспортной АТФазы АТР7А, ЦП крови, рецептора ЦП и рецептора трансферрина, или трансферрина, заякоренного в мембране с помощью гликозилфосфатидилинозитола.

Цель настоящего исследования состояла в сравнительном филогенетическом анализе клонированных фрагментов предполагаемого гена рецептора ЦП. Выравнивание последовательностей проводилось с помощью алгоритма полного динамического программирования с использованием программы ClustalW [2] Филогенетический анализ выровненных последовательностей проводился с использованием пакета программ PHYLIP [1] методом парных дистанций. Для аминокислотных последовательностей также был применен метод наибольшего правдоподобия (ML) из пакета программ PAML [3]. Был проведен филогенетический анализ клонированных фрагментов 1 и 2 (асс. no. AF211154 и AF211153, соответственно) предполагаемого рецептора церулоплазмينا (ЦП). Фрагмент 1 высоко го-



мологичен всем известным ЦП-подобным ферроксидазам. Нуклеотидная последовательность фрагмента 2 имеет около 70% гомологии с экзоном 16 гена ЦП, но аминокислотная последовательность гомологии не проявляет. Полученные данные позволяют отнести рецептор ЦП в семейство ЦП-подобных мембраносвязанных ферроксидаз и выдвинуть гипотезу об образовании рецептора ЦП путем тканеспецифического альтернативного сплайсинга первичного продукта транскрипции гена ЦП, в результате которого экзоны 16-19 ЦП замещаются на последовательность, содержащую предсказанный трансмембранный домен.

### Список литературы

- [1] J. Felsenstein, PHYLIP (Phylogeny inference package), version 3.57c, July, 1995.
- [2] J. P. Thompson, D. G. Higgins, T. J. Gibson, Clustal W version 1.7., June 1997.
- [3] Z. Yang, Phylogenetic Analysis by Maximum Likelihood (PAML), Version 3.0e, University College of London, London, England, 2000

## Формирование ландшафта Павловского парка (XVIII–XX вв.)

*А. Б. Глебова*

Санкт-Петербургский государственный университет

Павловский парк, созданный по проектам великих зодчих конца 18 и начала 19 веков, является одним из величайших памятников паркового искусства. В архиве Павловского Дворца музея и в литературе имеются отдельные карты, схемы, но до сих пор не были составлены ландшафтные карты парка.

Процесс формирования и развития Павловского парка, в данной работе, был разбит на этапы, которые отражены в ландшафтных картах:

1. Допарковое состояние территории (до 1776 г.).
2. Первый этап формирования парка, связан с именем шотландского архитектора Ч. Камерона (1777–1796 гг.).
3. Второй этап формирования, связан с именем итальянского архитектора В. Бренна (1796–1803 гг.).
4. Третий этап формирования, связан с именем итальянского художника-декоратора П. Гонзаго (1803–1828 гг.).
5. Этап, связанный с постройкой железной дороги через территорию района Большой Звезды (которая была разбита на две части) (1837–1941 гг.).
6. Современное состояние Павловского парка на момент исследования (2000–2001 гг.).

Остальное время не играло существенной роли в формировании паркового ландшафта. Серьезные изменения в парке также связаны с трехгодичной немецкой оккупацией Павловского парка (1941–1944 гг.), тогда парк был вырублен на 70% и пришел в запущенное состояние. На этот период не было достаточно данных, чтобы составить ландшафтную карту. Первые пять ландшафтных карт составлены по архивным материалам из фонда Павловского Дворца-музея. Карта современного состояния парка была составлена на основе сборов полевого материала. Все карты составлены по единой методике ландшафтного картографирования. Суть метода, в установлении наиболее значимых (системообразующих) связей между отдельными природными телами (компонентами) в пределах данной территории (полевая фиксация границ местоположения на топографической основе — в тех местах, где они прослеживаются визуально, последующая камеральная интерполяция границ с привлечением всей дополнительной информации, а также опыт и интуиция исследователя) (Исаченко Г. А., 1999). На картах выделены местоположения: слабоволнистая равнина, склон долины реки Славянки. В пределах местоположений контурами отображены растительные сообщества. Показана также древесная, кустарниковая обсадка аллей.

В настоящее время растительные сообщества Павловского парка в основном представлены: березово-еловым парком в районе Большой Звезды, березово-елово-сосновым парком в районе долины реки Славянки и Белой Березы, липово-сосновым парком с примесью березы и ели в районе Долины реки Славянки и Новой Сильвии. Липовый парк посажен в Центральном районе и в районе Долины реки Славянки вдоль Ботанической аллеи. Еловый парк растет в районе Долины прудов и на небольшом участке района Новой Сильвии. Заметную часть парка занимают разнотравные луга, на которых растут солитеры (отдельно стоящие деревья) — дубы, липы, сосны, клены, березы, вязы, осины и др. В районе Белой Березы встречаются небольшие скопления берез с подростом ели. Многие аллеи имеют кустарниковую и древесную обсадку: еловую, березовую, дубовую, липовую.

Недостаточный уход на современном этапе приводит к зарастанию парка в основном елью (преобладает подрост ели). Особенно это характерно для районов Новой Сильвии и Большой Звезды. Древесная растительность давно не обновлялась (последние посадки сосны и ели осуществлялись пять лет назад). Для улучшения эстетического состояния парка, нужна вырубка елового подроста. Поддержание эстетической привлекательности парка, необходимо для сохранения культурного наследия.

## **Импульсная активность канонического кортикального модуля вследствие депрессии и рефрактарности синаптических связей**

*С. А. Евдокимов*

Санкт-Петербургский институт мозга человека РАН

Задачей работы является исследование влияния депрессии и рефрактарности синаптических связей канонического кортикального модуля — реалистической нейронной сети, построенной на нейрофизиологических данных о структуре и функциях коры головного мозга млекопитающих, и возможности генерирования им импульсной активности для синхронизации и параллельной обработки информации.

Построена математическая модель — канонический кортикальный модуль (ККМ), реализованная на ЭВМ IBM PC для среды MS-DOS, на языке Си. Наша реалистическая нейронная сеть (ККМ) относится к разряду больших нейронных ансамблей (1600 нейронов). Впервые была сделана попытка, для таких нейронных сетей, учесть динамику разряда между нейронами. В результате исследования было показано, что депрессия и рефрактарность вызывают периодическую импульсную активность нейронной сети. Причем рефрактарность вызывает более высокочастотный импульсный режим, что хорошо согласуется с экспериментальными результатами о динамике разряда нейронов.

## **Оптимизация параметров излучения светодиодов на GaN**

*В. А. Забелин*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

В последние годы значительно возросла потребность в полупроводниковых источниках излучения в синем спектральном диапазоне. Значительный прогресс в технологии выращивания GaN позволил довести светодиоды на основе InGaN/GaN до коммерческого применения. Однако, несмотря на обширные исследования, в настоящее время отсутствует полное понимание механизмов, влияющих на параметры и особенности излучения таких структур. Основные усилия при изготовлении в настоящее время направлены на улучшение внутреннего квантового выхода и не касаются изучения влияния геометрической формы и свойств поверхности на эффективность выходящего излучения. В рамках данной работы исследовалась роль геометрических параметров светодиодов, влияющих на эффективность вывода излучения из структуры и на форму диаграммы направленности выходящего излучения.

В представленной работе описывается трехмерная модель распространения излучения в веществе, учитывающая его взаимодействие с внутренними границами разделов и с внешними поверхностями светодиода. Высокие показатели преломления GaN и сапфира препятствуют выводу излучения из структуры и для достижения оптимального внешнего квантового выхода и диаграммы направленности излучения необходим подбор соответствующей геометрической формы и параметров граней светодиода. Характерные размеры используемых в настоящее время светодиодов заметно превышают длину волны синего света, и поэтому применяемое в модели приближение геометрической оптики является достаточно корректным. Преломление света на внутренних и гладких внешних границах раздела в светодиоде описывается формулами Френеля. Взаимодействие света с металлическими контактами описывается в рамках волновой оптики и позволяет учесть интерференционные эффекты, влияющие на коэффициенты отражения и пропускания полупрозрачных тонкопленочных металлических контактов. Для описания взаимодействия излучения с неровной поверхностью было использовано приближение диффузного рассеяния с варьируемой диаграммой направленности.

Использование описанной модели, позволяет изучать влияние различных параметров светодиода (толщины и размера сапфировой подложки и активного слоя, углов наклона боковых граней подложки и активного слоя, толщины и материала металлического контакта и массы других) на эффективность вывода излучения из светодиода. Было показано, что использование оптимальных значений этих параметров способно значительно увеличить внешний квантовый выход по сравнению с традиционной геометрией. Представленная модель может служить универсальным инструментом для расчета выходящего излучения, что является необходимым для оптимизации геометрических параметров светодиодов и технологии их изготовления.

## **Двухфотонные волноводные фотоприемники для длины волны 1.55 мкм**

*Л. Я. Карачинский*

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Корреляционные методы исследования уже на протяжении многих лет используются для измерения параметров сверхкоротких световых импульсов. Они замещают собой обычные методы детектирования со стробоскопической временной разверткой при исследовании импульсов субпикосекундного и фемтосекундного диапазонов. При измерении автокорреляционных функций используется нелинейность детектирующего элемента, которая, в частности, может достигаться за счет такого эффекта, как двухфотонное поглощение [1]. Принципиальным моментом является использование именно волноводных структур, поскольку больший путь света в волноводе по сравнению с планарной конструкцией существенно увеличивает его поглощение [2]. Именно эффект двухфотонного поглощения в полупроводниковом волноводе с успехом используется для исследования временных характеристик излучения инжекционных полупроводниковых лазеров [см. напр. 3]. В частности, в работе [4] с помощью оптического автокоррелятора, имеющего AlGaAs/GaAs волновод в качестве нелинейного детектора, были исследованы импульсы сверхизлучения InGaAsP/InP лазеров (длина волны излучения 1.3 мкм) как выше, так и ниже порога лазерной генерации.

Целью настоящей работы являлось создание волноводного фотоприемника, работающего на эффекте двухфотонного поглощения, для длин волн 1.55 мкм, позволяющего регистрировать сигналы с пиковой мощностью порядка 1 мкВт.

Проведенное исследование двухфотонного поглощения излучения с длиной волны 1.55 мкм в серии лазерных InGaAsP/InP гетероструктур с квантовыми ямами показало, что значительная доля линейного поглощения при малых мощностях излучения приводит к существенному уменьшению суммарного фототока. Было показано, что в волноводных фотоприемниках подобного типа нелинейная компонента поглощения может превышать линейную вплоть до мощностей порядка 10 мкВт. Минимальная детектируемая пиковая мощность достигала величины 60 мкВт. Полученные результаты позволяют использовать исследованные структуры в качестве нелинейных фотоприемников в оптическом автокорреляторе для исследования тонкой временной структуры излучения светодиодов, суперлюминесцентных диодов и лазерных диодов, излучающих на длине волны 1.55 мкм.

## Список литературы

- [1] Y. Takagi, T. Kobayashi, K. Yoshihara, and S. Imamura, *Optics Lett.*, **17** 658 (1992).
- [2] F. R. Laughton, J. H. Marsh, D. A. Barrow, and E. L. Portnoi, *IEEE J. Quantum Electron.*, **30** 838 (1994).
- [3] H. K. Tsang, L. Y. Chan, J. B. D. Soole, H. P. LeBlanc, M. A. Koza and R. Bhat, *Electron. Lett.*, **31** 1773 (1995).
- [4] S. V. Zaitsev and A. M. Georgievski, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **36** 4209 (1997).

## Моделирование действия космических факторов на микроорганизмы (сообщение 1)

*Н. В. Ларионов, А. Ю. Ферапонтов*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Вопрос внеземного происхождения жизни на нашей планете перешел из чисто умозрительного в сферу гипотез, теорий и даже экспериментов. Основные задачи, которые при этом необходимо решать, связаны с воздействием космических факторов на живые организмы. По сравнению с земными условиями количественно эти факторы являются экстремальными — глубокий вакуум, сверхнизкая температура, длительные экспозиции ионизирующим и ультрафиолетовым излучениями, и т.д. Экспериментально действие этих факторов можно исследовать, используя только известные, земные виды живых организмов, так как внеземные виды (если они существуют) неизвестны и пока недоступны. Априори ясно, что практические работы имеет смысл проводить с использованием микроорганизмов, так как для видов, стоящих на более высокой ступени эволюции, без соответствующей защиты действие этих факторов будет губительным. Среди микроорганизмов и их вирусов известны виды, сохраняющие жизнеспособность в широком диапазоне значений действующих факторов.

В лабораторных условиях при действии вакуума и сверхнизких температур клетки гибнут, но некоторые сохраняют жизнеспособность. В основном гибель наблюдается во время переходных процессов, тогда как в стационарном состоянии глубокого вакуума и низкой температуры жизнеспособность сохраняется очень долго, то есть для выживших они являются как бы консервирующими.

В данной работе предлагаются результаты действия низкой температуры и высушивания на бактерии *Bacillus subtilis*, *Vibrio sp.X*, *Echerichia coli* K12 и на бактериофаг  $\lambda$  (вирус бактерии *Echerichia coli* K12). При высушивании количество бактерий *Bacillus subtilis* и *Echerichia coli* K12 уменьшается примерно на два порядка, бактерии *Vibrio sp.X* практически

полностью теряют жизнеспособность, количество бактериофагов  $\lambda$  инактивируется менее чем на порядок. Последующее воздействие низкой температуры на выжившие клетки практически не сказывается. Таким образом, выжившие клетки при переносе с одного космического объекта на другой не потеряют жизнеспособности при длительном действии глубокого вакуума и сверхнизкой температуры.

## **О зарастании заброшенных карьеров строительных материалов Ленинградской области**

*О. В. Лисицына*

Санкт-Петербургский государственный университет

После прекращения функционирования карьеров строительных материалов начинается естественное восстановление растительности, мало изученное в Ленинградской области. Ход восстановительной сукцессии и состав формирующихся сообществ зависят от типа добываемого сырья. Процесс зарастания карьеров описан по возрастным стадиям с условным интервалом в 10 лет, а на поздних стадиях зарастания — 20 лет, так как зачастую на карьерах трудно выделить естественные стадии зарастания.

В *карьерах по добыче песчаных и песчано-гравийных отложений* серьезных различий в зарастании склонов и днищ не наблюдается. На стадиях зарастания до 10 лет преобладают сорно-рудеральные виды: иван-чай, вейник наземный. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ) достигает 50–60%. В первые годы здесь поселяются деревья: сосна, береза, ель (ОПП до 5–10%). Почвообразование практически не заметно, выражается в формировании гумусированного горизонта, мощностью 1–2 см. Мохово-лишайниковый покров (МЛП) отсутствует или представлен единично печеночными мхами. Примерно через 20 лет формируются древостои (ПП 15–20%) с преобладанием сосны или ольхи серой, в примеси встречается ель, береза, осина, ива козья. В ТКЯ (ОПП до 30%) преобладают луговые и опушечные мезофиты: чина лесная, полевица тонкая, вероника дубравная. МЛП (ОПП 15–20%) представлен в основном зелеными мхами. Мощность гумусированного горизонта достигает 5 см. На стадиях до 40 лет в древостоях (ОПП 20–40%) заметно увеличивается участие сосны и ели. Преобладают хвойные древостои или смешанные древостои с хвойным подростом. В ТКЯ (ОПП 60%) появляются типичные лесные виды: брусника, луговик извилистый. МЛП представлен зелеными мхами. Мощность гумусированного горизонта не превышает 5 см. На стадиях зарастания больше 40 лет сообщества представляют собой леса

с преобладанием сосны или ели. В сосняках обычно присутствует густой подрост ели. В сосняках в ТКЯ преобладает луговик извилистый, в ельниках — кислица. ОПП ТКЯ составляет 50%. ОПП МЛП достигает 25%. Неглубокие озера, образующиеся на дне карьеров, зарастают тростником, рогозом и постепенно превращаются в болота со сфагнумом, сабельником и ивами. ОПП ТКЯ достигает 30%, ОПП МЛП — 30%.

На бывших *карьерах по добыче четвертичных глин* было обследовано два типа местоположений:

1. Относительно плоские поверхности бывших карьеров заняты в настоящее время — сенокосами и пастбищами. Это злаково-разнотравные луга с преобладанием травянистых мезофитов (ежа сборная, клевер луговой, тысячелистник обыкновенный). ОПП таких сообществ достигает 85–90%;  
— мелколиственными лесами возраста от 20 до 30 лет. В древостое (ОПП 20%) преобладают ива козья, сосна, береза, в подросте — осина, ель. В ТКЯ (ОПП 60–70%) преобладают травянистые мезофиты, под хвойными породами появляются типично лесные виды: луговик извилистый, ортилия.
2. Неглубокие водоемы, постепенно превращающиеся в болота с преобладанием рогоза, сабельника, осок. МЛП представлен чаще всего видами рода *Sphagnum*.

В *карьерах по добыче известняков и доломитов* наиболее интенсивно зарастают относительно плоские поверхности днищ карьеров. На стадиях зарастания до 10 лет формируются сообщества с редким подростом рябины, ивы козьей, осины, иногда — сосны. В ТКЯ преобладают бобовые (чина лесная, горошек заборный), а также виды-кальцефилы (колючник финский, подорожник средний). На стадиях зарастания до 20 лет формируются разреженные древостои (ОПП 10%) с преобладанием ивы козьей, осины, иногда сосны. В ТКЯ (ОПП 70–80%), появляются орхидные (дремлик темно-красный), преобладают луговые и опушечные мезофиты. На стадиях до 40 лет формируются древостои (ОПП 20%) из ивы козьей и ольхи серой, иногда — сосны. Почти везде обнаружен подрост ели в большом количестве. В ТКЯ (ОПП 40–50%) доминируют бобовые. В некоторых случаях днища бывших карьеров используют под пастбища и сенокосы. Обычно это луга с большим участием бобовых, луговых и опушечных мезофитов, с присутствием видов-кальцефилов (цикорий, подорожник средний).

Карбонатные карьеры весьма интересны с ботанической точки зрения. Здесь можно встретить редких для Ленинградской области представите-



лей семейства орхидных (дремлик темно-красный, офрис насекомоносный, тайник овальный, венерин башмачок обыкновенный).

Карьеры по добыче гранитов отличаются наиболее бедными сообществами. На стадиях до 10 лет здесь формируются сообщества с преобладанием злаков (овсяница овечья) и сорно-рудерального разнотравья. ОПП ТКЯ едва достигает 10–15%. Древесные породы представлены подростом (ОПП до 20%) сосны, березы, ели, ивы козьей. На стадии 20 лет изменения в ТКЯ, по сравнению со стадиями до 10 лет, незначительны. ОПП остается прежним, иногда сокращается число видов сорно-рудерального разнотравья. В древостое (ОПП 15–20%) преобладает сосна, береза, ива козья. К 30 годам несколько увеличивается количество видов в ТКЯ (появляются лесные виды: ортилия, золотая розга). ОПП древостоя меняется мало; преобладает сосна, береза, ива козья, встречается подрост ели. Днища карьеров, заполненные водой, частично зарастают длиннокорневищными гигрофитными видами: тростником, хвощом речным, прибрежно-водными осоками (осока острая, осока длинная). Однако растительность занимает не более 5% поверхности водоемов.

Наиболее богатые видами высших сосудистых растений сообщества формируются на бывших карбонатных карьерах на стадиях зарастания старше 15–20 лет. Эти сообщества отличаются специфическим видовым составом и своеобразной структурой: велико участие видов-кальцефилов, орхидных. Наиболее бедные видами сообщества формируются на карьерах по добыче гранитов. Здесь встречаются ксерофитные злаки (овсяница овечья, мятлик сплюснутый), сорно-рудеральное разнотравье (клевер ползучий, хвощ полевой), на поздних стадиях — лесные виды (ортилия, золотая розга). На всех карьерах деревья появляются в течении первых 2–3 лет после прекращения разработки. В дальнейшем на карьерах формируются леса с весьма специфическим набором видов растений. Эти леса не всегда сходны по структуре и видовому составу с лесами, формирующимися в естественных условиях на близких по составу субстратах при отсутствии интенсивного антропогенного воздействия. Наиболее сходны с ними леса старше 50 лет, формирующиеся на песчаных и песчано-гравийных карьерах.

## Термогазодинамическая модель атомно-абсорбционного спектрометра с двухступенчатым атомизатором

*В. В. Макаров*

Балтийский государственный технический университет «Военмех»

В настоящее время метод электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии является наиболее популярным методом прикладной аналитической химии. В работе [1] предложена модификация данного метода на основе использования так называемого двухступенчатого атомизатора. В этом случае печь прибора состоит из двух частей — испарителя и атомизатора, которые представляют собой графитовые трубки, нагреваемые электрическим током. В испарителе производится испарение помещенной в него пробы. Пары пробы, содержащие в том числе анализируемый элемент (аналит), потоком аргона, продувающего печь, переносятся в атомизатор. Через атомизатор пропускается пучок света, и по поглощению на определенной длине волны определяется содержание аналита. В процессе измерения часть паров аналита покидает камеру, как за счет истечения аргона, так и за счет диффузии за пределы камеры. Увеличение времени пребывания паров в атомизаторе позволяет повысить точность анализа за счет роста соотношения «сигнал/шум». Возникает задача определения оптимальных параметров установки, обеспечивающих минимальные пороги обнаружения, что достигается в первую очередь максимизацией времени пребывания паров пробы в атомизаторе.

Для решения данной задачи предлагается термогазодинамическая модель атомно-абсорбционного спектрометра, описывающая распространение паров пробы по внутреннему объему атомизатора и за его пределы.

Течение газа по тракту печи прибора рассматривается как одномерное нестационарное течение невязкого сжимаемого идеального газа по цилиндрическому каналу переменного сечения. Принимается, что температура газа определяется температурой стенки в данном сечении тракта.

Движение паров аналита по тракту атомизатора описывается уравнением переноса:

$$f \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (vfC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( Df \frac{\partial C}{\partial x} \right) = \frac{\partial S}{\partial t}, \quad (1)$$

где $C = C(x, t)$	– концентрация аналита в сечении $x$ в момент времени $t$ , $\text{пг/м}^3$ ;
$F = F(x)$	– площадь сечения канала, $\text{м}^2$ ;
$v = v(x, t)$	– скорость газа, $\text{м/с}$ ;
$D = D_0 (T(x, t)/T_0)^{k_d}$	– коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$ ;
$T = T(x, t)$	– температура газа, $\text{К}$ ;
$\frac{\partial S}{\partial t}$	– источниковый член, $\text{пг/м}\cdot\text{с}$ .

Численное решение дифференциального уравнения (1) производится конечно-разностным методом Кранка–Николсона при нулевых граничных условиях.

Описанная модель была реализована в виде прикладной программы, расчет по которой позволяет получить распределение концентрации паров аналита по длине тракта атомизатора и массу аналита в атомизаторе в произвольный момент времени. Был произведен ряд расчетов, подтверждающих работоспособность модели и правильность получаемых результатов, что осуществлялось сопоставлением с экспериментальными данными.

Модель позволяет определить зависимость аналитического сигнала от геометрических характеристик, расходных и температурных режимов работы двухступенчатых атомизаторов и найти оптимальные параметры.

### Список литературы

[1] Iliia L. Grinshtein, Yuri A. Vilpan, *Spectrochimica Acta*, Part B56, 261–274 (2001).

## Деградационная устойчивость сине-зеленых $\text{A}_2\text{В}_6$ светодиодов

*И. И. Новиков*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

С момента создания первых лазерных источников, полупроводники привлекли к себе особое внимание, во-первых, возможностью создания лазеров в широком диапазоне длин волн — от далекой инфракрасной области до ультрафиолетового диапазона, во-вторых, возможностью достижения больших значений КПД, близких к 100%, и, в-третьих, компактностью и простотой конструкции лазерного диода.

Важной задачей, стоящей перед физиками является создание полупроводниковых лазеров, покрывающих весь видимый диапазон длин волн, что необходимо, например, для создания проекционного телевидения, а также для повышения плотности записи информации оптических дисков, ведь

уменьшение длины волны записи в два раза повысит плотность записи в четыре раза.

В данной работе ставилась задача методами электролюминесценции исследовать влияние различных способов подавления дефектообразования на излучательную рекомбинацию лазерных и светодиодных гетероструктур на основе системы материалов  $A_2B_6$ . Для улучшения электролюминесцентных характеристик была использована новая концепция создания активной области, направленная на повышение эффективности излучательной рекомбинации и увеличения времени жизни инжекционных диодов, основные моменты которой заключаются в

1) пространственном разделении дефектов и мест излучательной рекомбинации носителей непосредственно в АО; Для решения этой проблемы было применено выращивание мелко-монослойной области CdSe с номинальной толщиной  $2 \div 3$  МС на поверхности ZnSe. Было обнаружено, что подобная процедура приводит к формированию самоорганизующихся псевдоморфных островков, обогащенных CdSe, с латеральными размерами  $\sim 10 \div 30$  нм и плотностью  $\sim 2 \div 10^{10}$  см $^{-2}$ , которые служат эффективными центрами локализации носителей, вызывая эффективное пространственное разделение дефектных областей и областей излучательной рекомбинации и, как результат, увеличение эффективности люминесценции;

2) подавлении развития точечных дефектов, связанных с компенсирующими азотными комплексами, вероятнее всего, азотом в междоузлии. Применение короткопериодной сверхрешетки для создания волноводных слоев гетероструктур совместно с введением соединений бериллия надежно препятствует и вызывает торможение внутренних протяженных дефектов. Особенностью светодиодных гетероструктур явилось исключение из структуры, слоев на основе селенида цинка (ZnSe), легированных азотом, которые являются источником повышенной концентрации подвижных точечных дефектов, вероятно связанных с междоузельным азотом. Была выращена серия  $BeZnSe/(Zn,Be,Cd)Se$  светодиодных гетероструктур с квантовой ямой в качестве активной области. Изготовленные на основе этих гетероструктур светодиоды продемонстрировали хорошие вольт-амперные характеристики с низким напряжением отсечки (2.2–3.0 В) и дифференциальным сопротивлением (около 2 Ом) и повышенную деградационную устойчивость при комнатной температуре, до 16 часов, при накачке постоянным током высокой плотности ( $J = 4.5$  кА/см $^2$ ).

### Список литературы

[1] И. И. Новиков, *Итоговый семинар по физике и астрономии по результатам*

- конкурса грантов 1999 года для молодых ученых Санкт-Петербурга, 15 февраля 2000 года, Санкт-Петербург, Россия, с. 50–51.
- [2] И. И. Новиков, *Итоговый семинар по физике и астрономии по результатам конкурса грантов 2000 года для молодых ученых Санкт-Петербурга*, 9 февраля 2001 года, Санкт-Петербург, Россия, с. 22–24.
- [3] Н. Ю. Гордеев, С. В. Иванов, В. И. Копчатов, И. И. Новиков, Т. В. Шубина, Н. Д. Ильинская, П. С. Копьев, Г. Рэйшер, А. Вааг, Г. Ландвер, *Физика и Техника Полупроводников*, **35** (11), 1396-1401 (2001).

## **Взаимодействие цис-диаминодихлорплатины (II) с гистоновыми белками хроматина**

*М. В. Новоженова*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Цис-диаминодихлороплатина (II) (цисплатин или цис-ДДП) — широко применяемый противоопухолевый платиновый препарат. Атом Pt прочно связывается с ДНК, образуя аддукт к основаниям, и искажает ее вторичную структуру. Во всех обнаруженных комплексах *in vivo* атом платины связан с ДНК через атом азота N7 пуринового основания. Реакциям цис-ДДП с белками обычно отводится вторичная роль неспецифического ингибирования активности, поэтому процесс образования платиновых комплексов с белками изучен значительно хуже, чем взаимодействие с ДНК. В то же время известно, что образование платиной координационных связей с атомами серы остатков Met и Cys в белках более предпочтительно. Недавно была показана возможность замещения этих остатков на гуанин ДНК. Поэтому для объяснения механизмов образования аддуктов и направленного поиска более эффективных противоопухолевых препаратов необходимо учитывать взаимодействие платины с белками.

В данной работе рассматривается взаимодействие цис-ДДП с гистонами. Присутствуя в клетке в больших концентрациях, гистоны постоянно ассоциированы с ДНК и претендуют на роль промежуточного резервуара и/или инактиватора платиновых комплексов. Кроме того, известно, что цис-ДДП увеличивает активность слабых промоторов в тестовых системах. Это связывается с нарушением укладки хроматина в районе промотора. Представляет большой интерес, каковы структурные изменения гистоновых белков и нукleosом (НЧ) при платинировании и несут ли эти изменения вклад в нарушение укладки хроматина. С помощью программного пакета RASMOL был проведен анализ третичной структуры нукleosомы. Мы выявили наличие возможных сайтов связывания цис-ДДП: сайты

на поверхности и за плоскостью нуклеосомы рядом с основаниями ДНК; сайты на молекуле гистона H2B, расположенные внутри нуклеосомы, но сближенные между собой в пространстве, то есть предрасположенные к образованию хелатного комплекса.

В качестве основных методов наблюдения за изменением конформации белка были выбраны метод спектроскопии кругового дихроизма (КД) в сочетании с абсорбционной спектроскопией. Получены спектры H1 в растворах разной ионной силы (15 и 150 mM NaCl) и спектры этого же белка при добавлении растворов цис-ДДП возрастающей концентрации. Анализ спектров показывает, что белок не изменяет свою конформацию в результате добавления платины. Такое поведение согласуется с отсутствием потенциальных сайтов связывания внутри молекулы H1. Таким образом при дальнейшем изучении тройных комплексов ДНК-белок-цис-ДДП можно исключить вклад структурных изменений гистона H1, вызванных его платинированием, в изменения спектров КД системы.

## **Исследование структуры новых лазерных конденсированных сред методом комбинационного рассеяния света**

*А. В. Поволоцкий*

Санкт-Петербургский государственный университет

С середины 90-х годов наблюдается повышенный интерес к исследованиям ионов редких земель в полупроводниковых матрицах различной природы. Основные усилия в настоящее время направлены на создание усилителей для существующих волоконно-оптических линий связи ближнего ИК диапазона и разработку таких устройств на средний ИК диапазон. В этих диапазонах в качестве оптических материалов используются кварцевые, фторидные, халькогенидные и др. матрицы, активированные трехвалентными ионами редкоземельных элементов (эрбия  $\text{Er}^{3+}$ , иттербия  $\text{Yb}^{3+}$ , неодима  $\text{Nd}^{3+}$ , празеодима  $\text{Pr}^{3+}$ , и др.). Перспективными материалами являются халькогенидные стекла, активированные ионами редкоземельных элементов.

В работе исследовались структурные изменения в халькогенидных стеклах в зависимости от концентрации редкоземельных ионов в ХГС, процентного содержания  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  в матрице стекла. Была исследована зависимость структурных изменений в стеклах системы  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{—GeS}_2$  и системы  $15\text{Ga}_2\text{S}_3\text{—}85\text{GeS}_2\text{:Er}^{3+}$  при изменении концентрационного состава  $\text{Ga}_2\text{S}_3$  и  $\text{Er}^{3+}$  соответственно. Оценена концентрация иона  $\text{Er}^{3+}$  (0,9 ат.%) в стеклах системы  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{—GeS}_2\text{:Er}^{3+}$ , при которой начинается образование тройных

соединений  $\text{Er}_3\text{GaS}_6$ , что вызывает концентрационное тушение люминесценции. Исследовано влияние редкоземельного иона  $\text{Er}^{3+}$  на средний порядок в стекле. Обнаружено, что при введении иона  $\text{Er}^{3+}$  в матрицу стекла системы  $\text{Ga-Ge-S}$  изменяется радиус корреляции, характеризующий средний порядок стекла. Определена максимальная энергия фононов в стеклах системы  $\text{Ga}_2\text{S}_3\text{-GeS}_2\text{:Er}^{3+}$ :  $450 \text{ см}^{-1}$ , что позволяет оценить вероятность многофононной релаксации для иона  $\text{Er}^{3+}$  в этой системе.

## **Энергетический баланс гидратации белков в приближении модели площади поверхности, доступной растворителю**

*Г. Н. Рычков*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Переход белка в природную конформацию происходит в водной среде, поэтому взаимодействие белков с водой является центральной проблемой теории белка. Свободная энергия свёртки аминокислотной цепи молекулы белка в нативную конформацию дельта  $G_f$  имеет вклады от многих видов физических взаимодействий, включающих в себя взаимодействия между атомами внутри белковой молекулы и взаимодействия белка с водой. Считается, что взаимодействие белка с водой вносит основной вклад в дельта  $G_f$  и является ведущей силой, управляющей свёрткой белка.

Данная работа является частью проекта, цель которого создание эффективной модели взаимодействия белков с растворителем, учитывающей все основные физические взаимодействия, играющие роль в процессах гидратации белков. Для этого было необходимо:

1) усовершенствовать известную модель гидратации, использующую площадь поверхности растворяемой молекулы доступную растворителю (ППДР), путём добавления атомов водорода.

2) из описанных в литературе наборов атомарных параметров гидратации (АПП) выбрать для дальнейшего использования в работе тот набор, использование которого для расчёта свободной энергии гидратации дельта  $G_s$ , даёт результаты наиболее близкие к полученным экспериментально.

3) реализация метода приближённого расчёта ППДР, предложенного ранее, который позволяет вычислять первые и вторые аналитические производные от ППДР по координатам, что необходимо для моделирования молекулярной динамики белков и глобальной минимизации конформационной энергии. Модернизация метода путём внесения в макромолекулу атомов водорода, играющих важную роль в процессе гидратации. Оптимизация параметров метода с помощью процедуры, использующей высокоэф-

фективный туннельный алгоритм.

Выполнение поставленных задач привело к следующим результатам:

1) расчеты показали, что различные наборы АПГ предсказывают как стабилизацию третичной структуры белка растворителем (oons, we92, sh3, jrf), то есть понижение свободной энергии гидратации при переходе белка из развёрнутого состояния в свёрнутое, так и её дестабилизацию (sch4, sch1, em86, sch2). Величины изменения свободной энергии гидратации, DGS, варьируются по величине и знаку. На основе проведенного анализа набор АПГ we92 был выбран для моделирования гидратации с помощью расчетов ППДР.

2) Реализован и модифицирован метод приближённого расчёта ППДР. В частности к классам атомов, описанных ранее, добавлены атомы водорода. Была проведена полная оптимизация набора параметров метода, с использованием высокоэффективного туннельного алгоритма. При этом удалось улучшить примерно в два раза значения средних атомарных отклонений от точной ППДР для белков в свёрнутой конформации; для белков в развёрнутой конформации метод даёт высокие средние и максимальные отклонения, однако в этом случае время вычисления приблизительного метода значительно меньше по сравнению с точным методом.

Расчёты проводились при помощи программы для молекулярного моделирования ICM и с использованием алгоритмов, реализованных на языке FORTRAN.

## **Моделирование действия космических факторов на микроорганизмы (сообщение 2)**

*А. Ю. Ферантов, Н. В. Ларионов*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

При экспериментальной проверке гипотезы о внеземном происхождении жизни прежде всего необходимо рассмотреть влияние космических факторов на известные виды земных организмов, так как другие пока неизвестны и недоступны. Кроме глубокого вакуума и сверхнизких температур к постоянно действующим космическим факторам относятся ионизирующие и ультрафиолетовое излучения. Следует отметить, что действию излучений за пределами земной атмосферы будут подвергаться высушенные биологические объекты при сверхнизкой температуре. В связи с этим в данной работе действию ультрафиолетового излучения (УФ) подвергали высушенные образцы бактерий *Bacillus subtilis* (споры); высушенные образцы *Escherichia coli* и её бактериофаги  $\lambda$ .



В результате работы были получены следующие результаты: споры *Bacillus subtilis* не теряют жизнеспособности при дозе УФ 5000 эрг/мм<sup>2</sup>; при этой дозе число активных фагов снижается примерно на порядок, а число живых клеток *Escherichia coli* снижается более чем на два порядка.

Ранее нами было показано, что число активных высушенных бактериофагов снижается на порядок при действии  $\gamma$ -излучения в дозе 1 мегарада, тогда как при облучении их в водной суспензии такая инактивация достигается при дозе 3 килорад. Интересно отметить, что результаты инактивации водной суспензии фагов под действием  $\gamma$ -излучения при температуре жидкого азота практически одинаковы с высушенными образцами. Таким образом обезвоженные и замороженные образцы исследованных объектов приобретают очень высокую устойчивость к инактивирующему действию излучений. Кроме того, зная фоновые значения доз излучений, можно оценить время нахождения биологического объекта в космических условиях без потери его жизнеспособности.

## Расчет корреляционной функции кулоновского кристалла

*А. И. Чугунов*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Сверхплотные космические объекты — нейтронные звёзды и белые карлики — позволяют получить уникальные сведения о структуре вещества, находящегося в экстремальных физических условиях (сверхвысокие плотности, температуры, магнитные поля). Для интерпретации наблюдательных данных об этих звёздах необходимо теоретическое моделирование свойств такого вещества. В данной работе рассмотрена внешняя кора нейтронной звезды (плотность  $\rho \leq 4 \cdot 10^{11}$  г см<sup>-3</sup>), вещество которой состоит из электронов и атомных ядер. Благодаря высокой плотности, электроны сильно вырождены, а их энергия Ферми многократно превышает энергию взаимодействия электронов с ядрами. Поэтому электроны образуют слабо поляризуемый фон отрицательного заряда. Если пренебречь электронным экранированием и квантованием движения ионов, то состояние системы ионы+фон характеризуется единственным параметром  $\Gamma = Z^2 e^2 / aT$  [ $Z|e|$  и  $n$  — заряд и концентрация ионов,  $a = (3/4\pi n)^{1/3}$ ]. При  $\Gamma > \Gamma_m \approx 175$  ионы образуют кристалл, при  $1 < \Gamma < \Gamma_m$  — сильно неидеальную жидкость, а при  $\Gamma \ll 1$  — бoльцмановский газ. В квантовом пределе ( $T \ll \hbar\omega_p$ ,  $\omega_p$  — плазменная частота) тепловые колебания несущественны и состояние системы ионы+фон определяется другим параметром —  $\Gamma_q = Z^2 e^2 / a\hbar\omega_p$ . Во внешней коре нейтронной звезды преобладает кристаллическая фаза.

В докладе рассмотрен приближённый метод вычисления парной корреляционной функции ионов, основанный на гармоническом приближении. Этот метод применим и при достаточно сильных нулевых колебаниях, где классический метод Монте-Карло использовать нельзя.

Показано наличие эффекта «замораживания» парной корреляционной функции при температурах меньших  $0.1T_p$  (где  $T_p = \hbar\omega_p$ ),  $g(r)$  перестаёт зависеть от температуры, т.к. вся структура ионных корреляций определяется нулевыми колебаниями. С ростом температуры происходит уменьшение высоты пиков и увеличение их ширины, обусловленное увеличением среднеквадратичного отклонения ионов от узлов решётки. Увеличение параметра  $\Gamma_q$  (т.е. уменьшение плотности) приводит, при фиксированном  $\theta = T_p/T$ , к уменьшению среднеквадратичного отклонения (в долях  $a$ ) и, следовательно, росту высоты и уменьшению ширины корреляционных пиков. В классическом пределе ( $T \gg T_p$ ) результаты хорошо совпадают с расчётами методом Монте-Карло.

### Список литературы

- [1] С. Шапиро, С. Тьюпольский, «Черные дыры, белые карлики, нейтронные звезды», Москва, Мир, 1985.
- [2] Д. А. Байко, «Кинетические явления в остывающих нейтронных звёздах», Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, Санкт-Петербург, 2000.
- [3] D. A. Baiko, D. G. Yakovlev, H. E. De Witt, W. L. Slattery, *Phys. Rev.* **E61**, 1912 (2000).

## Время-разрешенные фотолюминесцентные исследования InAs/GaAs квантовых точек, выращенных на разориентированных подложках

*А. С. Школьник, Е. Б. Догонкин, В. П. Евтихийев, Е. Ю. Котельников, И. В. Кудряшов, В. Г. Талалаев, Б. В. Новиков, J. W. Tomm, G. Gobsch*  
Санкт-Петербургский государственный технический университет

В процессе работы были проведены фотолюминесцентные исследования с высоким временным разрешением с целью определить излучательные времена жизни электрон-дырочных пар в InAs/GaAs квантовых точках выращенных методом Странского–Крастанова на разориентированных подложках. Измеренные времена жизни составили 3.1 нс и 700 пс для основного и возбужденного состояния соответственно. Исследовалась интенсивность фотолюминесценции из основного состояния, возбужденного состояния и смачивающего слоя в зависимости от уровня плотности мощности накачки.

Проведенные исследования демонстрируют явление заполнения основного электронного состояния в квантовых точках, а также позволяют оценить значение тока, соответствующего заполнению ( $\approx 30\text{--}40$  А/см<sup>2</sup>).

Образцы были выращены молекулярно-пучковой эпитаксией методом Странского–Крастанова на подложке GaAs (001), разориентированной на  $4^\circ$  в направлении [010], что позволяет добиться высокой плотности квантовых точек ( $\approx 10^{11}$  см<sup>-2</sup>) и их малого размера ( $\approx 15$  нм) [1]. Фотолуминесцентные исследования проводились при помощи Ag<sup>+</sup>-ионного лазера и перестраиваемого Ti-сапфирового лазера. Лазерный луч фокусировался на образце, помещенном в He криостат, плотность мощности возбуждающего излучения не превышала 3 Вт/см<sup>-2</sup>. Временное разрешение установки было не хуже чем 15 пс.

В результате проведенной работы была построена модель, позволяющая описывать рекомбинационные и релаксационные процессы, происходящие в подобных квантовых точках. Полная схема этих процессов очень сложна, приходится принимать во внимание такие процессы как последовательная и не последовательная межуровневая релаксация носителей, Оже-рекомбинация, многофононное рассеяние и т.д. [2]. Наша модель более проста — мы исследуем концентрации носителей на энергетических уровнях квантовых точек. Как будет показано, этого оказывается достаточно, для описания исследуемых явлений.

Результатом работы стало обнаружение явления заполнения основного состояния в квантовой точке, а поскольку значения тока соответствующего заполнению близки теоретически предсказанным оптимальным токам для лазеров на квантовых точках, то при разработке дизайна подобных лазеров необходимо учитывать этот эффект, ввиду неизбежного существования внутренних потерь. А также было рассчитано число электронов в основном состоянии (около 8 электронов на точку), что не соответствует теоретическому (2 электрона) и ставит вопрос является ли квантовая точка квантовой точкой, а не чем то средним между квантовой точкой и квантовой ямой.

## Список литературы

- [1] V.P. Evtikhiev, A. K. Kryganovskii, A. B. Komissarov et.al., *Inst. Phys. Conf. Ser.* vol. 155, 351 (1996).
- [2] R. Heitz, M. Veit, N.N. Ledentsov, A. Hoffmann, D. Bimberg, V.M. Ustinov, P.S. Kop'ev, Zh. I. Alferov, *Phys. Rev.* **B56**, 10435 (1997).

## **Рост сечений адрон-адронных взаимодействий**

*А. А. Шнайдер*

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

В предположении, что в волновых функциях адронов мало рассеивателей (в основном кварки и глюоны) рассматривается рост полных сечений. Вычисляются амплитуды вероятности обнаружения одного и двух дополнительных глюонов в волновой функции протона. Получен вклад этих дополнительных глюонов в полные сечения рассеяния и в наклон траектории Померанчука. Из одной из наблюдаемых величин, а именно из наклона траектории, фиксируется феноменологический параметр теории — комптоновская длина дополнительного глюона, которая является малой, порядка  $1/2$  ГэВ. Учитывая этот параметр, вычисляется вклад дополнительных глюонов в рост полных сечений. Показано, что вплоть до энергий Тэватрона ( $\sqrt{s} \simeq 1,8$  ТэВ) рост полных сечений определяется вкладом только первых двух глюонов.

## **Модель полиэлектролитной щетки, помещенной в смесь из двух несовместных растворителей**

*П. А. Яковлев*

Санкт-Петербургский государственный университет

Исследуемая система была рассмотрена в рамках стандартной ящичной модели Александра–ДеЖена. В поведении системы выявлены следующие закономерности:

– В рамках данной модели в щетке возможны фазовые переходы первого рода, сопровождаемые скачком степени ионизации полимера при добавлении в систему, состоящую из щетки и неполярного «масла», малого количества полярной «воды». При этом степень неэлектростатического сродства «масла» к щетке может быть выше, чем у «воды». При переходе также полностью изменяется состав растворителя в щетке — если в неионизованном состоянии основным его компонентом являлось «масло», то в ионизованном состоянии основной ее компонент — «вода», в то время как во внешнем растворителе по-прежнему доминирует «масло». Такая аномальная ситуация становится возможной вследствие сильной выгоды ионизации, а так же невыгоды большого числа контактов «вода»–«масло». Варьирование различных параметров приводит к перемещению точки перехода внутри малой области концентраций воды в масле до критической точки их разделения на фазы или его смещение в ту область, где

основным растворителем является уже вода. В последнем случае фазовый переход имеет неэлектростатическую природу и аналогичен описанным ранее для системы неионизируемая полимерная щетка-растворитель.

– Добавка к системе малого количества соли приводит к усилению эффекта предпочтительной сольватации полимера молекулами воды, добавление соли сводится к эффективному росту константы ионизации, пропорциональному концентрации добавленной соли.

Сравнение некоторых основных результатов исследования с результатами, полученными для аналогичной системы по методу самосогласованного поля (SCF) Схойтенса–Флира дало хорошее их соответствие, несмотря на сильные различия в этих моделях, в частности, в SCF-вычислениях полимерная щетка уже не считается гомогенной, плотность полимера (и, соответственно, других компонентов) в ней оказывается различной на разном удалении от поверхности прививки.

Была также обнаружена возможность возникновения не одного, а трех фазовых переходов, последовательно реализующихся при добавлении чистой воды к системе, содержащей ионы соли.

# Кандидатские проекты

---

## Применение квазилокальных кварковых моделей к исследованию спектральных характеристик мезонов

*С. С. Афонин*

Санкт-Петербургский государственный университет

Одной из основных целей физики элементарных частиц является описание свойств лёгких адронов. Однако, решение этой задачи исходя из фундаментальной теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамики (КХД) — в настоящее время неизвестно. Поэтому широкое применение получили различные модели в духе эффективной теории поля, которые по предположению аппроксимируют КХД в области низких энергий и позволяют проводить расчёты адронных параметров.

Основной целью данной работы являлось исследование спектральных характеристик легких мезонов и их первых радиальных возбуждений в рамках квазилокальной кварковой модели (ККМ) с использованием правил сумм, следующих из восстановления киральной симметрии КХД при высоких энергиях.

Радиальные возбуждения мезонов могут вносить вклад в различные физические наблюдаемые. Другой задачей работы было рассмотрение конкретного примера подобного явления — вклада высших мезонных резонансов в электромагнитную разность масс пионов.

В работе применялась техника бозонизации эффективного действия с последующим удержанием квадратичных по полям и внешнему импульсу членов. При этом использовалось приближение большого числа цветов и приближение больших логарифмов.

Основные полученные результаты:

- 1) Вычислен спектр масс  $SU(2)$  ККМ в векторном и аксиально-векторном случае в киральном пределе. Предсказаны массы  $\sigma$ -мезона и первого радиального возбуждения  $a_1$ -мезона.
- 2) С помощью правил сумм, следующих из восстановления киральной симметрии при высоких энергиях, получены ограничения на параметры модели, а также вычислены электромагнитные константы распада  $\rho$ - и  $a_1$ -мезонов и киральная константа  $L_{10}$ .
- 3) Вычислен спектр масс  $U(3)$  ККМ в скалярном, псевдоскалярном, векторном и аксиально-векторном случаях с учётом токовой массы кварка. Даны предсказания на массы ряда мезонов, не обнаруженных пока на экс-

перименте.

4) Предложено две схемы вычисления вклада радиальных возбуждений векторных и аксиально-векторных мезонов в электромагнитную разность масс  $\pi$ -мезонов. Показано, что их учёт улучшает результат.

## **Мониторинг коллоидных примесей водопроводной воды Санкт-Петербурга, являющихся потенциальными токсикантами**

Л. М. Молодкина, *М. Ю. Андрианова*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Из литературы известно об участии гуминовых соединений в образовании канцерогенных веществ при хлорировании питьевой воды. Ранее показано присутствие гуминовых соединений в поверхностных структурах коллоидных примесей водопроводной воды С-Петербурга. В целях определения источника загрязнения водопроводной воды потенциально токсичными компонентами проведено ее сравнение с чистой водой Главной водопроводной станции. В широком интервале рН определены электрокинетические свойства и агрегативная устойчивость коллоидных примесей, а также выделены и хроматографически проанализированы молекулярно-растворенные гуминовые соединения. Сделан вывод о качественном и количественном сходстве изучаемых компонентов исследованных вод.

## **Исследование влияния специфических нековалентных взаимодействий на динамику переориентации в полимерных жидких кристаллах**

*В. В. Андропов*

Институт высокомолекулярных соединений РАН

Методом пороговых переходов Фредерикса в магнитном поле изучены ориентационные, оптические и упругие свойства и динамика процессов ориентации в термотропной нематической фазе полимерных водородно-связанных систем. Были исследованы жидкокристаллические (ЖК) гребнеобразные сополимеры акрилового ряда, имеющие боковые мезогенные (фенилбензоатные и цианбифенильные) и функциональные (производные алкилоксибензойной или малеиновой кислот) группы, а также ЖК смеси таких сополимеров с низкомолекулярными немезогенными пиридин содержащими соединениями. Определены значения параметра порядка, констант

ориентационной упругости, оптической анизотропии и эффективной вращательной вязкости.

Проведенный анализ показал, что равновесные характеристики водородно- связанных полимерных ЖК систем зависят от характера формирующихся в них водородных связей. В случае, когда образование водородных связей приводит к формированию новых мезогенных групп (сополимеры с фенолбензоатными мезогенными группами и с алкилоксибензойной кислотой в функциональном компоненте), увеличение концентрации кислотных групп и соответственно числа водородных связей сопровождается возрастанием степени межмолекулярного ориентационного порядка и анизотропии ориентационной упругости - отношения констант упругости продольного и поперечного изгибов. В системах, в которых формирование новых водородно-связанных мезогенных групп не происходит (сополимеры с цианбифенильными мезогенными группами и с фрагментами малеиновой кислоты), наблюдается другая картина. В этом случае параметр порядка и анизотропия упругости практически не зависят от концентрации кислотных групп.

Показано, что образование в нематическом полимере водородных связей приводит к резкому увеличению его вращательной вязкости и энергии активации. Скорость ориентационных процессов в нематических водородно-связанных полимерных системах определяется реализацией в них, главным образом межмолекулярных водородных связей, причем их решающее значение в динамических процессах характерно даже для ЖК полимеров, в которых доминируют внутримолекулярные водородные связи.

## **Разработка принципов построения и исследование комплекса для неконтактного измерения геометрических параметров рельсового пути**

*А. М. Боронахин*

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Повышение рабочих скоростей движения железнодорожных составов, а также требований к уровню безопасности и комфорта для пассажиров привело к необходимости разработки новых принципов построения путеизмерительных вагонов (ПВ).

При измерении геометрических параметров рельсового пути с использованием инерциальных чувствительных элементов и методов требуется точная привязка результатов измерений к пройденной дистанции. Основным прибором, определяющим пройденное ПВ расстояние, является одо-



метр, установленный на одну из колесных пар. Как правило, это фотооптический датчик, вырабатывающий импульс при повороте колеса на некоторый угол. При этом по ряду причин одометр обладает погрешностью измерения пройденной дистанции, что, в свою очередь, приводит к искажению определяемых геометрических параметров рельс и неточной локализации обнаруженных дефектов.

Рассматриваются алгоритмы коррекции одометра, в основе которых лежит использование как избыточной и априорной информации о характере движения вагона, так и данных, поступающих от спутниковой навигационной системы (СНС). Обращается внимание на то, что одометр и СНС вырабатывают различные параметры: одометр — пройденный вагоном путь от некоторой начальной точки; СНС — географические координаты отдельных точек траектории. Для решения задачи необходимо предварительное преобразование выходных параметров одного из комплекслируемых устройств к виду, который имеет другой.

Одним из способов повышения точности измерений является интегрирование показаний одометра с инерциальной навигационной системой (ИНС), СНС и различными ориентирами, местоположение которых на рельсовом пути достаточно хорошо известно (пикеты, маркеры, стрелочные переходы и другие характерные точки). Разница в характере погрешностей перечисленных систем создает благоприятные условия для их интегрирования.

Приводятся результаты экспериментальных исследований работоспособности интегрированной системы навигации на рельсовом пути в составе ПВ Октябрьской железной дороги ЦНИИ-4.

## **Квантовые гальваномагнитные эффекты в двумерном электронном газе гетероструктур InGaAs/InP**

*Д. Д. Быканов*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Исследование квантовых поправок к проводимости слабо разупорядоченных проводников и, в частности, эффектов слабой локализации (наиболее четко проявляющегося в явлении отрицательного магнитосопротивления) или антилокализации (знакопеременное (ЗМС) и аномальное положительное магнитосопротивление (АПМС)) позволяет найти ряд параметров электронной подсистемы — такие как время сбоя фазы волновой функции электрона  $t_f$ , а при наблюдении эффекта антилокализации — и время спин-орбитального взаимодействия (СОВ) электронов ( $t_{so}$ ), от со-

отношения величин которых зависит степень проявления эффектов ЗМС и АПМС. Развитие теорий «антилокализационного» магнитосопротивления в двумерном электронном газе (2МЭГ) показало [1, 2], что

1) при заполнении более одной подзоны размерного квантования необходимо учитывать еще один параметр, влияющий на зависимость эффектов от температуры и магнитного поля — время межподзонного рассеяния носителей заряда [1];

2) анализируя зависимость ЗМС от магнитного поля при заполнении только 1-ой подзоны можно отдельно определить механизмы СОВ — линейные и кубические по волновому вектору [2].

Мы исследовали проводимость 2МЭГ на гетерогранице  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$  при заполнении как одной, так и двух подзон размерного квантования. Концентрация электронов в образцах варьировалась с помощью эффекта замороженной фотопроводимости (неравновесном, но квазистационарном процессе), который в наших структурах с тонким слоем твердого раствора  $\text{InGaAs}$  сопровождается перераспределением зарядов и уменьшением встроенного электрического поля на гетерогранице. При температуре 1.8 К получены концентрационные зависимости параметров  $H_f$  и  $H_{so}$ , пропорциональных частотам  $1/t_f$  и  $1/t_{so}$ .

Основные результаты наблюдений сводятся к следующему. В режиме замороженной фотопроводимости — в процессе заполнения 1-ой подзоны размерного квантования

1) величина времени сбоя фазы определяется, как и в равновесном случае, электрон-электронным взаимодействием, характерным для слабо разупорядоченного проводника;

2) время  $t_{so}$  не падает с увеличением концентрации электронов, как в равновесном случае, а растет;

– при начале заполнения 2-ой подзоны

1) частота  $1/t_f$  резко возрастает с ростом концентрации и по величине близка к частоте межподзонного рассеяния;

2) частота СОВ  $1/t_{so}$  продолжает расти с увеличением концентрации электронов во 2-ой подзоне.

Противоположное равновесному случаю направление этой зависимости как в 1-ой, так и при начале заполнения 2-ой подзоны мы объясняем тем, во-первых, что СОВ осуществляется в основном по механизму Рашбы, когда  $1/t_{so} \sim F^2$ , где  $F$  — встроенное на гетерогранице электрическое поле; и, во-вторых, уменьшением величины  $F$  под влиянием эффекта замороженной фотопроводимости.

Проверка предположения о том, что в наших гетероструктурах СОВ

осуществляется в основном по механизму Рашбы, было предпринято путем анализа ЗМС при заполнении только одной подзоны в соответствии с теорией [2]. В результате проверки сделанное ранее предположение полностью подтвердилось.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты подтверждают вывод теории [1] о необходимости учитывать межподзонаное рассеяние при анализе квантовых поправок к проводимости. Кроме того, обнаруженная в режиме замороженной фотопроводимости нетривиальная концентрационная зависимость частоты СОВ в треугольной квантовой яме, удастся объяснить, если принять во внимание зависимость встроеного на гетерогранице электрического поля от концентрации электронов в условиях перестройки зарядового состояния границы при подсветке.

### Список литературы

- [1] N. S. Averkiev, L. E. Golub and G. E. Pikus. In: *Proceedings of 24th Intern. Conf. on the Physics of Semiconductors* (Jerusalem, Israel, 1998) ed. by D. Gershenson (World Scientific, 1999).
- [2] W. Knap et al., *Phys. Rev. B*, **53**, 3512 (1996).

## Исследование критического поведения геликоидальных магнетиков и слоистых треугольных антиферромагнетиков методом ренормализационной группы в больших порядках

*К. Б. Варнашёв*

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
kvarnash@kv8100.spb.edu

В рамках четырёхпетлевого ренормгруппового (РГ) приближения в пространствах  $D = 3$  и  $D = 4 - \varepsilon$  ( $\varepsilon \ll 1$ ) измерений изучено влияние критических флуктуаций параметра порядка (ПП) на фазовые переходы в ряде веществ, описываемых обобщённой моделью Гинзбурга-Ландау с комплексным векторным полем  $\psi_i$  [1]

$$H = \int d^D x \left[ \frac{1}{2} (m_0^2 \psi_i \psi_i^* + \vec{\nabla} \psi_i \vec{\nabla} \psi_i^*) + \frac{1}{4!} (u_0 \psi_i \psi_i^* \psi_j \psi_j^* + v_0 \psi_i \psi_i \psi_i^* \psi_i^* + w_0 \psi_i \psi_i \psi_j^* \psi_j^*) \right], \quad (1)$$

где  $i, j = 1, \dots, N$ ,  $m_0^2 \sim T - T_c^{(0)}$  ( $T_c^{(0)}$  — температура фазового перехода в приближении среднего поля) и  $u_0, v_0, w_0$  — «затравочные» константы связи.

Модельный гамильтониан (1) при  $v_0 = 0$  и  $w_0 > 0$  описывает статические критические явления в слоистых треугольных антиферромагнетиках (СТА,  $N = 2$ ), таких например, как  $VCl_2$ ,  $VBr_2$  и  $CsMnBr_3$ , а также фазовые переходы в геликоидальных магнетиках (ГМ,  $N = 3$ ) типа Ho, Dy, Tb,  $MnAu_2$  и  $\beta$ - $MnO_2$  [1, 2]. Критическая термодинамика фазовых переходов упомянутых материалов интенсивно изучалась на протяжении более, чем 15 лет в рамках различных теоретических подходов, в том числе методом численного моделирования, а также экспериментально. Однако предсказания, относительно существования нового «кирального» класса универсального поведения СТА и ГМ, даваемые методом теоретико-полевой РГ [1–4], численными расчётами на решётках [2, 5, 6], также как непертурбативными рассмотрениями [7], оказались весьма противоречивыми. Более того, недавно выполненные эксперименты [8] свидетельствуют в пользу того, что универсальность в поведении исследуемых материалов отсутствует, т.е. их критическое поведение на самом деле является «псевдо-критическим».

В рамках данного проекта были вычислены четырёхпетлевые разложения РГ функций модели (1), как функций инвариантных зарядов  $u$ ,  $v$ ,  $w$  [9] и малого параметра  $\varepsilon$  [10, 11]. Обработка найденных рядов специальными методами суммирования [12, 13] позволила получить достаточно точные оценки значений координат фиксированных точек и критических индексов. Показано, что численные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными и с данными, полученными в рамках существенно отличных теоретических подходов. Сделан вывод об отсутствии кирального класса универсальности в СТА и ГМ, что подтверждает предсказания, даваемые методом точной РГ [7] и недавними численными расчётами на решётках [6].

### Список литературы

- [1] S. A. Antonenko and A. I. Sokolov, *Phys. Rev. B* **49**, 15901 (1994).
- [2] H. Kawamura, *J. Phys.: Condens. Matter* **10**, 4707 (1998).
- [3] S. A. Antonenko, A. I. Sokolov and K. B. Varnashev, *Phys. Lett. A* **208**, 161 (1995).
- [4] A. Pelissetto, P. Rossi, and E. Vicari, *Phys. Rev. B* **63**, R140414 (2001).
- [5] D. Loison and K. D. Schotte, *Euro. Phys. J. B* **14**, 125 (2000).
- [6] M. Itakura, *Preprint cond-mat/0110306*.
- [7] M. Tissier, B. Delamotte, and D. Mouhanna, *Phys. Rev. Lett.* **84**, 5208 (2000).
- [8] V. P. Plakhty et al, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3942 (2000).
- [9] K. B. Varnashev, *Preprint SPbU-IP-00-12*.
- [10] A. I. Mudrov and K. B. Varnashev, *J. Phys. A* **34**, L347 (2001).
- [11] A. I. Mudrov and K. B. Varnashev, *Письма в ЖЭТФ* **74**, 309 (2001); *Phys. Rev. B* **64**, 214423 (2001).
- [12] K. B. Varnashev, *J. Phys. A* **33**, 3121 (2000); *Phys. Rev. B* **61**, 14660 (2000).

[13] A.I.Mudrov and K. B. Varnashev, *Phys. Rev. E* **58**, 5371 (1998).

## **Анализ неточностей стыковки участков ферритодиэлектрического волновода в интегральной фазированной антенной решетке (ФАР) для систем ближней радиолокации и связи**

*К. В. Гузенко*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Данная работа проделана с целью усовершенствования полной расчетной модели ФАР миллиметрового диапазона длин волн в интегральном исполнении (ИФАР), которая является перспективной антенной системой нового класса, имеющей целый ряд уникальных достоинств [1].

При имеющейся технологии изготовления ИФАР (сборка из отдельных пластин феррита и диэлектрика фиксированных размеров) неизбежно возникновение зазоров и смещений в местах стыков отдельных пластин. Следовательно, необходима оценка влияния указанных погрешностей стыковки на характеристики антенны для выяснения требуемой точности юстировки участков при сборке ИФАР.

Для этого была создана соответствующая расчетная модель, содержащая описанные стыки участков волноводов, которая позволяет определять критические параметры стыков, степень их влияния на характеристики антенны, требования к технологии сборки полотна ИФАР.

Модель неидеального стыка участков волновода представляет собой последовательное соединение ферритодиэлектрического волновода (ФДВ), короткого участка воздушного (пустого) волновода (зазор) и второго ФДВ с возможным смещением его оси. Основной элемент расчета в такой конструкции — стык двух волноводов различного заполнения. Неидеальный стык в целом можно рассчитать последовательным пересчетом идеальных стыков от первого ФДВ через воздушный зазор ко второму.

Автором уже было проведено моделирование идеального стыка двух волноводов произвольного сечения и заполнения (грант 2000 года). Решение задачи о нахождении характеристик передачи или рассеяния стыка двух волноводов требует знания модового состава волн в них, который может быть найден с использованием уже построенной автором расчетной модели слоистого ФДВ достаточно произвольного заполнения [2].

Можно считать, что все стыкуемые волноводы полностью экранированы, поэтому поле внутри каждого участка представляется в виде суммы его собственных мод (включая и нераспространяющиеся) прямого и обратного

направлений. Для численного решения задачи можно ограничиться конечным числом мод разложения в каждом участке. При этом, однако, невозможно точно удовлетворить граничным условиям на стыке волноводов. Но можно так подобрать амплитудные коэффициенты всех мод разложения, чтобы минимизировать невязку граничных условий. Подобный метод известен в литературе как метод Трефтца.

Решение задачи о стыке двух волноводов дает характеристики отражения и прохождения стыка. Располагая матрицами передачи каждого из двух имеющихся в нашем случае стыков, а также матрицей передачи воздушного участка (зазора), нетрудно получить матрицу передачи всего неидеального стыка. Аналогично получается и матрица отражения стыка в целом.

В результате работы была составлена программа для ЭВМ на языке Matlab 5.0, которая по заданным параметрам стыкуемых волноводов (размеры, электромагнитные параметры материалов), их взаимному расположению (величины воздушного зазора и поперечного смещения) и частоте генератора определяет характеристики отражения и прохождения исследуемого стыка.

Составленная программа успешно прошла тестирование на простых (предельных) частных случаях стыка, для которых легко получить даже аналитическое решение, на случаях, для которых имеются результаты других расчетов. Для сложных случаев заполнений волноводов, для которых точное решение неизвестно, проверена устойчивость результатов расчетов программы при изменении чисто модельных параметров, что также может свидетельствовать о достоверности полученного решения.

### Список литературы

- [1] E. F. Zaitsev et al., *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 42, No. 3, March, 1994, pp. 304–310.
- [2] Гузенко К. В. *Труды Итогового семинара по физике и астрономии по результатам конкурса грантов 1999 года для молодых ученых Санкт-Петербурга*, Санкт-Петербург, 15 февраля 2000 г., сс. 39-40.

## Исследование динамики турбулентности при переходе в режим улучшенного удержания на токамаке ФТ-2

*А. Д. Гурченко*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Для исследования динамики флуктуаций плотности при переходе в режим улучшенного удержания на токамаке ФТ-2 разработана и собрана

схема корреляционных измерений на основе микроволнового обратного рассеяния в верхнем гибридном резонансе, включающая в себя комплексы СВЧ зондирования, приема и аналогово-цифрового преобразования и записи сигналов на промежуточной частоте. Для реализации корреляционной обработки сигналов создано программное обеспечение, позволяющее в конечном итоге восстанавливать спектры флуктуаций по волновым векторам для разных частот турбулентности в пределах рабочей полосы схемы. Схема измерений апробирована в омическом режиме разряда, проведены первые эксперименты при переходе к режиму Улучшенного Удержания, когда в плазме образуется транспортный барьер.

## **Исследование электронной компоненты плазмы при переходе от нижнегибридного увлечения тока к нагреву ионов на токамаке ФТ-2**

*В. Б. Ермолаев*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Создание стационарного тороидального тока в плазме безындукционным путем является важной задачей в программе термоядерного реактора на основе токамака. Наибольшие успехи в генерации токов увлечения в токамаках в настоящее время достигнуты с помощью высокочастотных (ВЧ) электромагнитных волн нижнегибридного (НГ) диапазона. Однако во всех экспериментах по генерации токов НГ волнами обнаружен предел по плотности, при переходе через который, генерация токов резко падает и вообще прекращается. В различных экспериментах было установлено, что это резкое уменьшение совпадает с началом генерации быстрых ионов. Поэтому исследование перехода из режима генерации токов увлечения в режим генерации быстрых ионов представляет большой интерес.

Для объяснения этого перехода была предложена модель отключения нижнегибридного увлечения тока, связанного с параметрическим распадом ВЧ-волны на замедленные волны, которые вызывают ионный нагрев вместо электронного увлечения тока. Целью данной работы являлось участие в работе по проверке этой модели параметрического распада ВЧ-волны на токамаке ФТ-2 Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН.

Для понимания механизма перехода необходимо в частности наблюдение за электронной компонентой плазмы. Для этих целей на установке используются две диагностики, являющиеся одним из основных инструментов при анализе процессов, происходящих в плазме — диагностика

томсоновского лазерного рассеяния и диагностика мягкого рентгеновского излучения из плазмы.

Основная задача исследований состояла в анализе данных экспериментов на токамаке в различных режимах разряда. Совместное использование диагностики томсоновского рассеяния и мягкого рентгеновского излучения из плазмы дает возможность детального изучения поведения электронной компоненты плазмы. По результатам томсоновского рассеяния лазерного излучения на электронах плазмы определяется их температура и концентрация, а по мягкому рентгеновскому тормозному излучению из плазмы можно определить функцию распределения электронов в надтепловой области.

Особенность созданной на токамаке ФТ-2 диагностики томсоновского излучения состоит в ее многопроходности и внутрирезонаторном зондировании. За счет системы сферических зеркал лазерный луч во время одного импульса пересекает плазменный объем более двадцати раз, что существенно повышает энергию зондирования. Плазменный объем токамака так же заключен в лазерный резонатор, что приводит к возвращению до 80% энергии обратно в лазер и используется для накачки.

Диагностика мягкого рентгеновского излучения из плазмы, являющегося преимущественно тормозным излучением, построена на методе измерения количества квантов излучения в определенном диапазоне. Выбор диапазона осуществляется с помощью метода разных фольг. Диагностика является многоканальной и обеспечивает пространственное разрешение по большому радиусу токамака и квазинепрерывные измерения по времени в процессе разряда. В ходе экспериментов эта диагностика использовалась для получения данных о функции распределения электронов в надтепловой области.

В настоящее время изучение перехода от НГ увлечения тока к ионному нагреву на токамаке ФТ-2 показало хорошее соответствие между результатами эксперимента и моделью параметрического механизма отключения увлечения тока. Обнаружено, что уменьшение электронной температуры в процессе режима увлечения тока является основным фактором, влияющим на отключение увлечения тока при плотностях ниже плотности нижнегибридного резонанса, и образование параметрической неустойчивости.



## **Радиальные электрические поля в окрестности сепаратрисы и переход в режим улучшенного удержания плазмы**

*Е. Г. Кавеева*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

Одним из наиболее важных процессов в пристеночной плазме является переход к режиму улучшенного удержания, который характеризуется изменением эффективных коэффициентов диффузии и теплопроводности в узком слое плазмы вблизи последней замкнутой магнитной поверхности — сепаратрисы. В настоящее время считается, что переход связан с подавлением турбулентности вращением плазмы в радиальном электрическом поле. Турбулентность подавляется, если радиальная производная скорости вращения плазмы (шир вращения) оказывается достаточно большой.

С помощью нового численного кода B2-SOLPS5.0 проведено моделирование пристеночной плазмы токамака ASDEX-Upgrade для режимов с различными мощностями нагрева, концентрациями, скоростями вращения плазмы и с различными направлениями тороидального магнитного поля. Сделан расчет шира вращения для этих режимов и исследована его зависимость от локальных параметров плазмы вблизи сепаратрисы. Построен скейлинг для этой зависимости, согласно которому шир вращения пропорционален линейной комбинации температуры плазмы и скорости ее тороидального вращения и обратно пропорционален тороидальному магнитному полю. Такой скейлинг качественно совпадает с аналитической моделью, которая была построена на основании неоклассической формулы для радиального электрического поля.

С помощью моделирования повторена и объяснена экспериментальная зависимость мощности, необходимой для перехода в моду улучшенного удержания, от концентрации плазмы и магнитного поля. Результаты работы согласуются с экспериментальными данными с токамака ASDEX-Upgrade. Зависимость шира вращения плазмы может быть использована для подбора оптимальных параметров работы будущего термоядерного реактора.

## **Статистический анализ фазового распределения звезд окрестности Солнца**

*Е. Э. Казакевич*

Санкт-Петербургский государственный университет

Изучение ближайших звезд представляет значительный интерес для звездной астрономии. Структура и кинематика звезд, населяющих окрестность

Солнца, отражают наиболее существенные черты структуры и кинематики галактического диска.

В ходе проведенного исследования методом локальных сгущений и сканированием «бегущим кубом» было выделено 15 вероятно неслучайных групп в координатном пространстве и 5 движущихся групп в пространстве скоростей среди звезд каталога Hipparcos с измеренными лучевыми скоростями в окрестности Солнца радиусом 125 пк. Произведен анализ звездного состава выделенных скоплений и рассмотрено распределение в пространстве скоростей групп звезд, выделенных в координатном пространстве. Рассмотрено влияние ошибок исходных данных — параллаксов и компонент пространственных скоростей звезд — на полученные результаты.

Продолжена работа, связанная с определением расстояния от Солнца до плоскости симметрии Галактики [1]. Получена оценка расстояния от Солнца до плоскости Галактики:  $Z_0 = 17.6 \pm 1.2$  пк. Эта оценка в пределах ошибок согласуется с результатами, имеющимися в современной литературе [2, 3]. Методом Монте–Карло исследовано влияние случайных ошибок параллаксов звезд на величину  $Z_0$  и показано, что этот эффект несуществен.

### Список литературы

- [1] Е. Э. Казакевич, *Всероссийская Астрономическая Конференция, 6–12 августа 2001 г.*, Санкт-Петербург, Россия, с. 79.
- [2] Hammersley P.L., Garzon F., Mahoney T., Calbet X., *MNRAS*, 1995, Vol. 273, p. 206–214.
- [3] Cohen M., Martin, *Astrophys. J.*, Vol. 444, P. 874–878 (1995).

## Изменение скорости химических реакций в гетерогенных системах по действием электрического тока

К. Б. Козлов

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(Технический университет)

Теоретические и экспериментальные исследования влияния сильного электрического поля на состояние вещества и кинетику химических реакций ведутся уже более полувека. При протекании электрического тока через растворы электролитов в узких приэлектродных зонах толщиной до 1 нм отмечается существенное ускорение ряда реакций, сопровождающееся смещением термодинамического равновесия в сторону более полярных реагентов. Указанные эффекты принято объяснять поляризующим действием

двойного электрического слоя (ДЭС), между обкладками которого напряженность поля может превышать  $10^9$  В/м. В связи с этим, значительного развития подобных явлений следует ожидать при пропускании тока через плотноупакованные гетерогенные среды, в которых каждая частица в проводящей цепочке может рассматриваться как биполярный электрод. Целью настоящей работы является комплексное исследование гетерогенных сред Т–Ж с проводящими компонентами с точки зрения возможности управления химическими реакциями, сопровождающими протекание в них переменного электрического тока.

В рамках проведенных исследований доказано наличие значительной емкостной составляющей электрической проводимости двухфазных систем проводящий углеродистый материал (антрацит, кокс, шунгит) — раствор электролита, связанное с образованием и поляризацией ДЭС на межфазных поверхностях. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены зависимости электрической емкости гетерогенной среды от геометрических параметров системы, удельной проводимости жидкой фазы, диаметра твердых частиц и разности потенциалов между твердыми частицами. Проведены исследования кинетики химических реакций, протекающих в гетерогенной среде, при пропускании переменного электрического тока. Установлено, что при превышении порогового значения напряжения происходит резкое ускорение реакций разложения ряда неорганических солей (нитрит аммония, нитрат аммония, гидрокарбонат натрия) и ряда органических соединений (карбамид, уксусная кислота).

Отмечено, что разложение нитрита и нитрата аммония сопровождается изменением механизма разложения, приводящего к появлению в газообразных продуктах аммиака и водорода. Выявлены управляющие параметры процесса и характер их влияния на степень ускорения химической реакции в гетерогенной среде.

### **Термомеханические исследования пористых пленок полиэтилена и композиционных систем на их основе**

*И. С. Курындин, А. В. Сидорович, Е. Ю. Розова, Г. К. Ельяшевич*  
Институт высокомолекулярных соединений РАН

Проведены термомеханические исследования пористых пленок полиэтилена (ПЭ) и композиционных систем, содержащих слой электропроводящего полимера — полипиррола (ППир) — на их поверхности. Пористые ПЭ пленки получены экструзией расплава с последующим отжигом, одноосным растяжением и термофиксацией. Слои ППир наносились методом

окислительной полимеризации из газовой фазы *in situ*. Содержание ППир в композите составляло 40%.

При нагревании исследуемых пористых пленок наблюдается уменьшение размеров в направлении ориентации (усадка), обусловленное ориентированным характером их структуры. Термомеханические кривые пористых образцов, снятые при нагрузках, приложенных в направлении ориентации, показывают максимальную величину усадки при температуре, близкой к температуре плавления (Тпл) ПЭ. Максимальное значение усадки уменьшалось с ростом приложенного напряжения. При нагревании выше Тпл ПЭ наблюдалось резкое удлинение образцов под нагрузкой вплоть до разрыва.

Установлено, что композиционные системы при одинаковых нагрузках дают значительно меньшую усадку, чем пористые подложки, а при больших нагрузках, в отличие от подложек, вообще не показывают усадки.

Термомеханические кривые показали существенную разницу в термомеханическом поведении пористых ПЭ пленок и исследуемых композиционных систем. Обнаружено, что на термомеханических кривых композитов после начального участка, соответствующего характерному для пористых подложек усадочному поведению, при небольших нагрузках наблюдалось появление плато в широком интервале температур, расположенном выше Тпл ПЭ. В области температур этого плато образцы сохраняют свою целостность, держат нагрузку и их размер остается неизменным с ростом температуры. При больших нагрузках на кривых отсутствуют участки усадки и плато, композиционные системы испытывают только удлинение и разрыв при приближении к Тпл ПЭ.

Рассчитаны температурные зависимости деформационной податливости от нагрузки для пористых ПЭ пленок и композиционных систем ПЭ-ППир.

## **Роль маскирующего оксида на кремнии в процессах дефектообразования при формировании SIMOX-структур**

А. Ю. Аскинази, А. П. Барабан, В. А. Дмитриев, *Л. В. Милоглядова*  
Санкт-Петербургский государственный университет, НИИ физики

В работе исследовались структуры Si-SiO<sub>2</sub>, полученные по технологии SIMOX. Исследования проводили в системе электролит-диэлектрик-полупроводник методами, основанными на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик и методом электролюминесценции (ЭЛ).

Ранее нами было установлено, что в процессе формирования SIMOX-структур в окисном слое вблизи к границе с Si образуются электрически

активные центры (ЭАЦ), перезаряжаемые при различных воздействиях до положительного или нейтрального состояния, а также центры ЭЛ в полосах 2.7 и 4.4 эВ.

При увеличении толщины маскирующего окисла уменьшались концентрации ЭАЦ и центров ЭЛ, и их изменения были существенными уже при использовании маскирующего слоя толщиной 46 нм.

На данном этапе исследований конкретную природу рассматриваемых ЭАЦ мы не знаем, но, вероятно, ими являются дефекты типа трехкоординированного атома кремния, модифицированные примесными атомами. На основании ранее полученных нами результатов и анализа литературных данных, полагаем, что за полосы ЭЛ 2.7 и 4.4 эВ ответственны дефекты типа двухкоординированного кислородом атома кремния ( $O_2=Si$ ).

Предполагаем, что при прохождении через аморфный маскирующий слой  $SiO_2$  (даже малой толщины) происходит расфокусировка потока ионов, тем самым хаотизируется направление их движения и уменьшается суммарный импульс внедренных в кремний ионов кислорода. В этом случае практически не происходит проникновения отдельных ионов кислорода на значительное расстояние вглубь кремния, и при последующем отжиге практически не образуется область  $SiO_2$  с малым содержанием атомов кислорода, следовательно, создается существенно меньшая концентрация дефектов  $O_2 = Si$ : и трехкоординированных атомов кремния.

Уменьшение дефектности образующегося окисного слоя при формировании SIMOX- структур с использованием маскирующего  $SiO_2$  может быть связано и с уменьшением проникающих в Si загрязнений, а также с перераспределением потерь энергии на электронную и атомную подсистемы кремния влетающих в него атомов кислорода при незначительном уменьшении их энергии, что имеет место в данном случае.

## **Научное обоснование выбора способов хранения сверхчистого водорода для морских электроэнергетических установок**

*А. В. Нефедьева*

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

При создании транспортных электроэнергетических установок (ЭЭУ) на водородном горючем, в том числе морских анаэробных ЭЭУ, необходимо решить задачу выбора способов получения и хранения на борту высокочистого водорода. Сдерживающим фактором достижения удовлетворительных результатов являются жесткие ограничения на габариты этой системы.

В настоящее время для практического применения можно рассматривать 4 известных способа хранения водорода. Это баллонный способ, криогенный, способ химически связанного хранения водорода и способ хранения водорода в фуллеренах. Первые два способа по своим массогабаритным характеристикам и по характеристикам взрыво-пожаробезопасности не удовлетворяют условиям безопасности на подводных кораблях. Способ хранения в фуллереновых нанотрубках, вероятно, весьма перспективен, т. к. его водородоемкость по имеющимся сведениям может составлять до 14–20% по массе. Однако возможности его практического применения ограничены сложной технологией получения и недостаточной изученностью свойств.

В настоящее время наиболее приемлемый способ хранения водорода на корабле — это способ связанного хранения. Это способ хранения либо в физически связанном виде — гидриды (существенным недостатком этого метода является токсичность реагента, а также необходимость организации дозированной подачи сухого реагента в зону экзотермической реакции), либо хранение с использованием управляемых процессов сорбции — десорбции водорода интерметаллидными соединениями.

Способы хранения водорода в баллонах и в ИМН сопоставимы по массе хранимого водорода, однако по объему связанный способ в несколько раз более компактный, чем баллонный. При этом связанный способ значительно безопаснее баллонного, т.к. хранится не водород, а никелид лантана, водород же выделяется только при подводе низкопотенциальной теплоты, в количестве, необходимом и достаточном для нужд ЭЭУ.

В рамках темы научного исследования произведен расчетно-теоретический анализ систем хранения водорода в цилиндрическом стальном баллоне, в титановом баллоне, изогнутом в форме шпангоута, и в интерметаллидных накопителях при оптимальных давлениях. Сравнение проведено по двум параметрам: общая масса и взрыво-пожаробезопасность. В ИМН общая масса оказывается больше массы системы с титановыми баллонами, что объясняется наличием общего кожуха, который отсутствует в баллонном методе, а также особой формой титанового баллона, высоким допускаремым напряжением материала Ti и его малой плотностью. Система хранения в стальных баллонах значительно проигрывает по своим показателям двум первым системам.

В рамках темы созданы два уникальных натуральных стенда: «Лантан» для теплофизических и ресурсных испытаний модулей интерметаллидных систем хранения водорода и «Сокол» для комплексных испытаний транспортных ЭЭУ с электрохимическими генераторами, использующими водо-

родное топливо. Проведены экспериментальные исследования.

## **Кинетика первичного нуклеосинтеза**

*А. В. Орлов*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Первичный нуклеосинтез (Big Bang Nucleosynthesis, BBN), то есть синтез легких ядер D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$  и др. на раннем, дозвездном этапе развития Вселенной, является одним из самых мощных инструментов для изучения физических процессов, имевших место через несколько минут после Большого Взрыва, поскольку обилия легких элементов зависят от свойств фундаментальных взаимодействий элементарных частиц, составлявших первичную плазму, а также от динамики расширения Вселенной, на которую оказывают влияние множество факторов.

В процессе работы был разработан независимый, существенно модернизированный пакет программ для моделирования процессов первичного нуклеосинтеза, позволяющий учитывать конкретные модели зависимости фундаментальных констант от параметров скалярно-тензорных теорий гравитации, широко используемых в современной литературе. Определены границы возможной вариации констант связи в эпоху первичного нуклеосинтеза. Показано, что в случае вариации констант одному и тому же содержанию гелия могут соответствовать различные значения относительного содержания барионов во Вселенной, что, в принципе, позволяет согласовать данные по содержанию первичного гелия с результатами анализа CMBR. Отметим, что первичный нуклеосинтез обеспечивает самый жесткий интервал значений  $\Omega_B h^2 = 0.016 \pm 0.004$ , и до недавнего времени не существовало каких-либо явных противоречий с имеющимися наблюдательными данными. Однако, значение  $\Omega_B h^2 = 0.032 \pm 0.005$ , полученное из анализа спектра флуктуаций реликтового излучения, может служить указанием на необходимость модификации стандартной модели первичного нуклеосинтеза. Полученные результаты представляют особый интерес в связи с тем, что в ближайшем будущем планируются новые космические эксперименты (MAP, PLANCK и др.) по более детальному измерению анизотропии реликтового излучения. В ходе этих экспериментов предполагается измерение большого числа космологических параметров, в том числе и  $\Omega_B$ , с точностью лучшей, чем несколько процентов. Сопоставление этих результатов с результатами первичного нуклеосинтеза станет мощным средством проверки моделей первичного нуклеосинтеза на предмет их самосогласованности и непротиворечивости.

## Нелинейная теория радиальной рефлектометрии

Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

a.porov@pop.ioffe.rssi.ru

Радиальная флуктуационная рефлектометрия (РКР), использующая одновременное микроволновое зондирование плазмы на различных частотах и корреляционный анализ рассеянных назад сигналов, является одной из популярных диагностик плазменной микротурбулентности. При интерпретации результатов измерений в этой диагностике обычно предполагается, что её сигнал генерируется в области отсечки зондирующей волны при рассеянии длинноволновыми флуктуациями плотности плазмы, доминирующими в спектре. Исходя из этого, корреляционную длину турбулентности связывают с расстоянием между отсечками зондирующих волн, при котором онуляется когерентность сигналов рассеяния назад на различных частотах. Вместе с тем, строгий анализ флуктуационной рефлектометрии в рамках двумерной теории линейной по флуктуациям плотности показывает, что её сигнал формируется при рассеянии на длинноволновой компоненте турбулентности на всей трассе распространения, где доминирует малоугловое рассеяние [1]. Последнее обстоятельство приводит к очень медленному, логарифмическому, падению корреляции с ростом расстояния между отсечками, что делает практически невозможной оценку пространственного масштаба турбулентности [2]. Следует отметить, однако, что в эксперименте наблюдается как сравнительно медленное, так и очень быстрое падение когерентности [3], происходящее при раздвижке поверхностей отсечки меньшей вакуумной длины волны зондирующего излучения. Такое поведение не находит объяснения в линейной теории и, по-видимому, связано с переходом рассеяния в нелинейный режим. В настоящей работе, в соответствии с выводами [2], предполагается, что переход в нелинейный режим осуществляется через многократное мало-углового рассеяние, которое учитывается в геометрико-оптическом приближении. В одномерной модели получено выражение для когерентности сигналов в РКР, которое описывает как медленное падение когерентности при низком уровне турбулентности, так и быстрое в противоположном случае. Получено выражение для частотного спектра сигнала РКР.

Работа выполнена при поддержке грантов 01-02-17926; 00-15-96762, NWO и INTAS YSF 2001/1-131.

### Список литературы

[1] E. Z. Gusakov, M. A. Tyntarev, *Fusion Eng. Design* **34**, 501 (1997).



- [2] E. Z. Gusakov, B. O. Yakovlev, *Proc. 27th EPS Conf. Contr. Fusion Plasma Phys.* p 428 (2000).
- [3] R. Nazikian, E. Mazzucato, *Rev. Sci. Instrum.* **66** 392 (1995).

## **Моделирование электрических свойств границ зёрен в поликристаллических полупроводниках**

*И. В. Рожанский, Д. А. Закгейм*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Поликристаллические керамические полупроводники являются фундаментальными материалами, используемыми для создания различных электрокерамических устройств [1]. Благодаря характерной сильно-нелинейной вольт-амперной характеристике эти материалы находят применение в создании нелинейных резисторов, детекторов, варисторов и силовых переключателей. Обладая очень большой величиной диэлектрической проницаемости, они также являются перспективными для создания устройств оперативной памяти и компактных конденсаторов большой емкости. Ключевую роль в формировании электрических характеристик поликристаллических полупроводников играют свойства границы кристаллических зёрен. Наличие примесей и дефектов на межзеренном интерфейсе приводит к возникновению несбалансированного электрического заряда, формирующего на границе зёрен двойной барьер Шотки [2]. Высота и ширина барьера Шотки может изменяться в широких пределах в зависимости от параметров легирования материала и диффузии примеси вдоль межзеренных границ. При этом, в силу экспоненциальной зависимости прозрачности барьера от его ширины и высоты, проводимость всего поликристаллического образца может меняться на много порядков. Существующие аналитические теории проводимости поликристаллических полупроводников обладают рядом ограничений и позволяют делать лишь качественные оценки проводимости поликристаллических полупроводников. В данной работе впервые разработана универсальная численная модель, позволяющая моделировать электрические свойства межзеренных барьеров произвольной формы, а также провести корректный переход от свойств межзеренных границ к электрическим свойствам всего образца, образуемого статистическим ансамблем монокристаллических зёрен.

Первая часть модели представляет собой расчёт электрических свойств отдельной межзёренной границы. Статическое распределение потенциала и электрического заряда находится путём численного решения уравнения

Пуассона с учетом профиля концентрации примеси вблизи интерфейса.

$$\Delta\phi(z) = -4\pi\epsilon\rho(z) \quad (1)$$

где  $\phi(z)$  — потенциал электрического поля (ось  $z$  направлена по нормали к границе),  $\rho$  — плотность электрического заряда,  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость полупроводника. Вклад в плотность заряда  $\rho$  вносят свободные носители (электроны и дырки), а также ионизованные примесные центры (доноры и акцепторы):

$$\rho(z) = e(-n + p + N_D^+ - N_A^-) \quad (2)$$

Здесь  $e$  — (положительный) заряд электрона,  $n$ ,  $p$ ,  $N_D^+$ ,  $N_A^-$  — концентрации электронов, дырок, ионизованных доноров и акцепторов соответственно. Концентрации зарядов подчиняются фермиевской статистике с учетом потенциала  $\phi(z)$ . В модели уравнение Пуассона численно решается согласовано с уравнениями для концентраций зарядов, при этом положение уровня Ферми корректируется в соответствии с условием нейтральности приграничных областей в целом. Характерной особенностью исследуемых поликристаллических полупроводников является резкий ( $\delta$ -образный) профиль концентрации одного из типов примеси вблизи межзеренной границы вследствие диффузии вдоль границ зёрен. Это приводит к возникновению сильной нелинейности в уравнении Пуассона и требует для его решения специальных численных методов, реализованных в настоящей модели [3].

Расчет электронного транспорта через границу зёрен проводится на основе диффузионного приближения для электрического тока [4], предполагающего установление локального равновесия в каждой точке (наличия квазиуровней Ферми). Полный ток через границу складывается из диффузионных и дрейфовых токов свободных носителей. При этом имеет место уравнение непрерывности для электрического тока

$$\partial\rho/\partial t = -\text{div}(j_{\text{diff}} + j_{\text{drift}}) + g - r \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность заряда,  $j_{\text{diff}}$ ,  $j_{\text{drift}}$  — плотности диффузионного и дрейфового тока, а  $g$  и  $r$  — скорости генерации и рекомбинации зарядов. Уравнение непрерывности совместно с уравнением Пуассона и выражениями для плотностей токов и зарядов представляют собой полную систему уравнений, описывающих электрические свойства границы зёрен. Путём совместного решения указанной системы уравнений разработанная численная модель позволяет вычислить распределение потенциала и заряда вблизи интерфейса, электрическую емкость приграничной области, вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики межзеренной границы.

Вторая часть модели реализует переход от электрических свойств одной межзеренной границы к свойствам всего поликристаллического образца. Это достигается следующим образом. В заданном объеме образца выполняется определенным образом коррелированная расстановка центров зёрен, затем на основе этих центров выполняется построение сетки Вороного [5] для 3-х мерного случая. Каждое зерно представляется замкнутой ячейкой сетки Вороного, а граница между зёрнами — гранью сетки. При известных потенциалах центров соседних зёрен и площади грани сетки Вороного между ними первая часть модели позволяет вычислить ток через заданную межзеренную границу. Полный ток и распределение потенциалов в системе находится путём решения системы уравнений, аналогичных уравнениям Кирхгофа с существенно нелинейными вольт-амперными характеристиками между узлами. Аналогичным образом могут быть вычислены емкостные характеристики всего образца.

Таким образом разработанная модель позволяет на основе структурных данных об уровне легирования, распределении примесии и характерном размере монокристаллических зёрен в образце моделировать его электрические характеристики. Данный результат является чрезвычайно важным для оптимизации параметров и режимов легирования поликристаллических полупроводников и совершенствования приборов на их основе.

### Список литературы

- [1] *Springer Series in Solid-State Sciences*, ed. G. Harbeke, Vol. 57, (Springer, Berlin, 1985).
- [2] G. Blatter, F. Greuter, *Phys. Rev.*, **B33**, 3952 (1986).
- [3] И. В. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков, «Численные методы», М., 2000.
- [4] G. E. Pike, *Phys. Rev.*, **B30**, 3274 (1984).
- [5] M. Bartkowiak, G. D. Mahan, *Phys. Rev.*, **B51**, 10825 (1995).

### **Кооперативное комбинационное рассеяние фотонов, излучаемых параметрическим источником, на системе двух пространственно разделенных атомов**

Д. В. Куприянов, А. В. Славгородский, И. М. Соколов  
Санкт-Петербургский государственный технический университет

В данной работе проводилось теоретическое рассмотрение взаимодействия системы двух пространственно разделенных четырехуровневых атомов с излучением оптического параметрического источника. Излучение такого источника характерно тем, что фотоны рождаются парами, и внутри пары

фотонов существуют неклассические корреляции. Каждый фотон взаимодействует с одним из атомов. На атомы также воздействует классическое когерентное излучение, в результате чего происходит комбинационное рассеяние фотона от параметрического источника (квантовой моды) в классическую моду. Частоты фотонов таковы, что комбинационное рассеяние для каждого атома в отдельности находится вне резонанса, однако для двухатомной системы в целом условия резонанса выполняются. В работе показано, что при определенных условиях на начальном этапе эволюции системы рассеяние происходит, главным образом, комбинационно, т.е. согласованно на обоих атомах. Тем самым корреляции, существующие между фотонами, могут быть перенесены на систему атомов. Эти корреляции выражаются в возникновении т.н. «перепутывания» (entanglement) между флуктуациями поперечных компонент атомных спинов. Преимуществом предложенной схемы является то, что перепутывание создается между основными состояниями атомов, что позволяет сохранять эти корреляции достаточно долго.

В работе также проведено обобщение результатов на случай двух многоатомных облаков. Ожидается, что в случае облаков корреляции будут значительно сильнее, что позволит рассматривать подобную систему как кандидата на использование в различных задачах квантовой информации.

## **Верхний гибридный резонанс в турбулентной плазме**

Е. З. Гусаков, *А. В. Сурков*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН  
a.surkov@pop.ioffe.rssi.ru

В настоящее время большое внимание привлекает изучение флуктуаций плотности плазмы, играющих определяющую роль в аномальном переносе в токамаках. Подходящим инструментом для таких исследований является метод усиленного рассеяния в верхнем гибридном резонансе (ВГР), основанный на измерении сигнала, рассеянного назад в окрестности ВГР.

Эта диагностика, первоначально применявшаяся для исследования коротковолновых колебаний и волн в спокойной плазме лабораторных линейных установок [1], активно внедряется для исследования плазменной турбулентности и распространения ВЧ волн в токамачной плазме [2]. В этом случае распространение зондирующей волны и само рассеяние происходит в турбулентной плазме на фоне доминирующих длинноволновых флуктуаций плотности. Для интерпретации результатов экспериментов по усиленному рассеянию чрезвычайно важным является понимание механиз-

мов формирования спектров рассеянного назад сигнала. Частотный сдвиг и уширение этого спектра могут быть связаны как собственно с частотой рассеивающих назад коротковолновых флуктуаций, так и с влиянием эффектов малоуглового рассеяния зондирующей и рассеянной волны на длинноволновой турбулентности на трассе распространения. Как было показано в недавней работе [3], сечение малоуглового рассеяния, так же как сечение рассеяния назад, резко возрастает при приближении к ВГР. В настоящей работе исследуется влияние многократного малоуглового рассеяния на флуктуациях плотности в ВГР на спектр зондирующей волны. Рассмотрение проведено как с помощью метода эйконала, так и точно, в пределе большой длины волны флуктуаций. Продемонстрировано совпадение результатов двух подходов при перекрытии областей применимости. Показано, что в окрестности ВГР спектральное уширение зондирующей волны пропорционально ее волновому вектору. Это обстоятельство, также как и величина уширения, предсказываемая в случае возмущений плотности  $\delta n/n \sim 10^{-2}$ , делает малоугловое рассеяние одним из ведущих кандидатов для объяснения очень большого уширения спектров усиленного рассеяния, наблюдавшихся на токамаке ФТ-1 [2].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 01-02-17926; 00-15-96762.

### Список литературы

- [1] Novik K. M., Piliya A. D., *Plasma Phys. Control Fusion*, **35**, 357 (1993).
- [2] Bulygin'skiy D. G., Gurchenko A. D., Gusakov E. Z. et al., *Phys. Plasmas*, **8**, 2224 (2001).
- [3] Гусаков Е. З., Сурков А. В., *Физика плазмы*, **27**, 1027 (2001).

## Электрический ток, вызванный спиновой релаксацией поляризованных электронов в квантовых ямах

*С. А. Тарасенко*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН  
tarasenko@coherent.ioffe.rssi.ru

Показано, что спиновая поляризация электронов в структурах с квантовыми ямами приводит к возникновению электрического тока. Направление этого тока определяется точечной симметрией двумерной системы. Например, в сильно асимметричных структурах возникающий электрический ток всегда перпендикулярен спиновой поляризации. Физически эффект появления направленного поступательного движения в системе поляризованных по спину электронов аналогичен классическому эффекту колеса или

пропеллера. Микроскопически, появление электрического тока, вызванного спиновой релаксацией, связано со спин-зависимыми линейными по волновому вектору слагаемыми в гамильтониане двумерного электронного газа.

Большая чувствительность экспериментальных методов измерения электрического тока позволяет использовать эффект как для исследования самих двумерных структур, так и для определения степени спиновой поляризации электронов.

## **Исследование равновесия, кинетики и динамики сорбции антрациклиновых антибиотиков на полимерных сетчатых сорбентах**

*А. Ю. Тощевикова*

Институт высокомолекулярных соединений РАН

**Аннотация.** Были проанализированы равновесные, кинетические и динамические параметры сорбции антрациклиновых антибиотиков, а также изучены квазиравновесные и неравновесные режимы сорбции на полимерных сорбентах с различной структурной организацией сетчатой матрицы. Рассчитаны равновесные коэффициенты распределения, эффективные коэффициенты диффузии и средние времена сорбции разделяемых компонентов.

После подробного исследования соотношения вкладов ион-ионного и гидрофобного взаимодействия в общее изменение свободной энергии процесса был выбран оптимальный десорбент, при применении которого достигается эффективная десорбция и наибольшее концентрирование хроматографической зоны.

В динамических условиях в зависимости от скорости протекания подвижной фазы проведен анализ и оценка асимметрии хроматографической зоны при элютивной хроматографии и положения резкого выхода фронта целевого компонента во фронтально-вытеснительной хроматографии.

### **Использованные методы исследования**

Объектами исследований являлись антибиотики антрациклинового ряда (рубомидин, доксорубин, карминоидин), которые находят широкое применение в лечебной практике при химиотерапии опухолевых заболеваний. В качестве сорбентов использовались карбоксильные катиониты, полученные сополимеризацией метакриловой кислоты (МАК) и диметакрилата этиленгликоля (ДМЭГ), с различным содержанием сшивающего агента. Выбор ряда сорбентов проведен после предварительных опытов

по сорбции антибиотиков на различных видах сульфо- и карбоксильных катионитов и обусловлен высокой селективностью БДМ по отношению к антрациклиновым антибиотикам.

### **Основные достигнутые результаты**

Исследования связей между сорбатом и сорбентом показали, что имеет место ион-ионный и гидрофобный характер взаимодействия. Полная десорбция антибиотиков реализовывалась при разрушении гидрофобных связей и подавлении ион-ионных взаимодействий между сорбентом и молекулами антибиотиков за счет смещения ионизации смолы в область недиссоциированных форм.

После подробного исследования соотношения вкладов ион-ионного и гидрофобного взаимодействий был выбран оптимальный десорбент, при применении которого достигается эффективная десорбция и наибольшее концентрирование хроматографической зоны. Кроме подбора состава элюирующего раствора для осуществления полной десорбции антибиотиков и эффективного концентрирования хроматографической зоны необходимо было определить оптимальную величину скорости подвижной фазы при элюции. Показано, что при больших скоростях протекания подвижной фазы форма хроматографических пиков резко ассиметрична, задний фронт хроматографической зоны сильно размыт, при этом концентрация антибиотиков в максимуме хроматографической зоны уменьшалась с увеличением скорости протекания элюирующего раствора. С уменьшением скорости протекания подвижной фазы происходила постепенная регуляция режима динамики десорбции и форма хроматографических пиков становилась менее ассиметричной.

Показано влияние кислотности сорбционной среды на величины эффективных коэффициентов диффузии и средних времен сорбции. Из сравнения значений эффективных коэффициентов диффузии и средних времен сорбции для различных антрациклинов следует, что в нейтральной среде значения данных параметров близки по абсолютной величине, в щелочной же и кислой средах различаются более чем в 7 раз. Показано, что при реальном хроматографическом процессе возможность разделения веществ на колонке позволяет оценить константа кинетической селективности сорбции, которая учитывает и равновесные и кинетические характеристики сорбции целевого компонента. В щелочной и кислой средах различие в величинах эффективных коэффициентов диффузии приводит к существенным различиям в значениях константы кинетической селективности.

### **Области возможного использования полученных результатов**

Практическим результатом работы, проведенной в рамках данного проекта, явилась возможность оптимизации процесса получения антрациклиновых антибиотиков и создание экономичных и безопасных для окружающей среды и человека технологий их выделения и очистки.

### **Расчет статистического фактора времен релаксации нематического эластомера**

*В. П. Тощевиков*

Институт высокомолекулярных соединений РАН

Нематические эластомеры представляют собой сшитые полимерные системы (полимерные сетки), в которых имеют место сильные взаимодействия жидкокристаллического типа между сегментами полимерных цепей. К настоящему времени достаточно подробно исследованы равновесные ориентационные и упругие свойства нематических эластомеров (см., например, [1–5]). В то же время, локальные релаксационные свойства этих систем, проявляющиеся в методах ЯМР, поляризованной люминесценции, механической и диэлектрической релаксации, до настоящего времени практически не рассматривались.

В настоящей работе на основе «трехцепочечной» модели сетки [1], состоящей из свободно–сочлененных гауссовых субцепей с фиксированной средней длиной элемента [6], выведены уравнения движения элементов цепей нематического эластомера. Учитывается влияние натяжения цепей между узлами сетки на динамику элементов цепей на фоне межмолекулярного самосогласованного поля квадрупольной симметрии. Для рассматриваемой модели времена релаксации нематического эластомера определяются (1) «динамическим» фактором, связанным с влиянием диссипативных эффектов в системе — трением элементов о внешнюю среду, преодолением энергетического барьера при переориентации элементов цепей в молекулярном поле и (2) «статистическим» фактором, который определяется среднеквадратичными флуктуациями проекций элементов цепей в различных направлениях по отношению к оси упорядочения (директору).

Рассмотрены флуктуационные характеристики ориентации элементов цепей, входящие в уравнения движения и определяющие статистический фактор времен релаксации нематического эластомера. Получены зависимости статистического фактора времен релаксации элементов цепей от степени порядка, густоты шивки и степени деформации эластомера. По-



казано, что в упорядоченной (нематической) фазе возникают две ветви релаксационного спектра нематического эластомера, отвечающие движениям элементов цепей вдоль и поперек оси нематического порядка. При увеличении степени порядка характерные времена релаксации проекций элементов цепей вдоль директора растут, времена релаксации проекций элементов цепей в направлении, перпендикулярном директору, уменьшаются. Увеличение степени натяжения цепей и густоты шивок приводит к сдвигу характерных времен релаксации обеих ветвей в область малых времен.

Флуктуационные характеристики ориентации элементов цепей, определяющие статистический фактор времен релаксации нематического эластомера, рассчитаны также на основе более строгой модели цепи, состоящей из абсолютно жестких элементов. Для редко сшитых «гауссовых» сеток имеет место хорошее согласие между флуктуационными характеристиками модели гауссовых субцепей и модели цепи из жестких элементов. В области густо сшитых сеток, составленных из сильно натянутых цепей, жесткость элементов цепей приводит к дополнительному расщеплению линий релаксационного спектра нематического эластомера по сравнению со спектром в модели гауссовых субцепей.

Результаты, полученные в настоящей работе, будут существенными в дальнейшем при развитии общей теории релаксационных свойств нематических эластомеров, учитывающей вклады как статистического, так и динамического факторов времен релаксации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 99-03-33313, 01-03-06276), Федеральной целевой программы «Интеграция» (код проекта 326.38), INTAS (гранты 99-1114, 00-445), Правительства Санкт-Петербурга (грант АСП № 301 602).

### Список литературы

- [1] Jarry J.P., Monnerie L., *Macromolecules*. v.12., n2. pp.316–320 (1979).
- [2] Русаков В.В., Дисс. канд. физ.-мат. наук. – Пермь: ИМСС, 1987. – 193 с.
- [3] Абрамчук С.С., Ныркова И.А., Хохлов А.Р., *Высокомолек. соед. А*, т. 31, 8, с. 1759–1765 (1989).
- [4] Warner M., Wang X.J., *Macromolecules*, v.24, n.7, pp.4932–4941 (1991).
- [5] Warner M., Terentjev E.M., *Prog. Polym. Sci.*, v.21. pp.853–891 (1996).
- [6] Gotlib Yu., Medvedev G., Fridrikh S. *Macromol. Chem., Macromol. Symp.*, v.65, pp.153–162 (1993).

## **Строение литосферы западной части Русской платформы по данным о дисперсии поверхностных волн**

*Ю. Г. Фарафонова, Т. Б. Яновская*

Санкт-Петербургский государственный университет

Для исследования строения верхней мантии по дисперсии фазовых и групповых скоростей поверхностных волн необходимо использовать данные для достаточно больших периодов (до  $\sim 80$ – $100$  с). Такие данные можно получить только по записям сильных землетрясений на больших эпицентральных расстояниях. Для изучения особенностей строения отдельных регионов необходимо иметь дисперсионные кривые, отвечающие коротким трассам. Для построения таких «локальных» дисперсионных кривых фазовых скоростей используется метод двух станций: если эпицентр события располагается на одной дуге большого круга с рассмотренной парой станций, то по разности фаз можно определить фазовую скорость на участке между станциями.

Такой метод был использован для исследования строения земной коры и верхней мантии в западной части Русской платформы. Для работы использовались события, зарегистрированные на станциях сетей NARS-DEEP и IRIS GSN. Сеть станций NARS-DEEP была специально создана для изучения строения Русской плиты. Использовались следующие пары станций: Обнинск–Киев, Обнинск–Петербург, Обнинск–Нарочь, и др. Подбирались землетрясения, эпицентры которых находились в створе с этими парами станций, на каждой станции определялись фазовые спектры с помощью пакета SAC, и по разности фазовых спектров строились дисперсионные кривые фазовых скоростей. На каждой паре станций проводилось несколько определений фазовой скорости по данным разных землетрясений, и результаты усреднялись. Так же строились разностные дисперсионные кривые групповых скоростей. По полученным дисперсионным кривым определялось скоростное осредненное строение коры и верхней мантии на участках между соответствующими парами станций.

Скорости, восстановленные по данным волн Релея и Лява, оказались различными, что может быть объяснено наличием анизотропии в коре и верхней мантии, а также разной чувствительностью локальных дисперсионных кривых по отношению к вариациям структуры в пределах соответствующей области сглаживания. Для того чтобы оценить трехмерное распределение скорости в регионе, по полученным скоростным разрезам на каждой из глубин методом двумерной томографии строилось двумерное распределение скорости. По этим данным строилось вертикальное

распределение скорости вдоль некоторых выбранных профилей. Было обнаружено существенное изменение строения Русской платформы с севера на юг. В результате в южной части исследуемой области обнаружено резкое возрастание скорости на широте  $54^\circ$ . На глубине порядка 100–200 км выявлено высокоскоростное тело (скорость S-волн  $5.1 \div 5.3$  км/с), корни которого простираются дальше на юг. В северном направлении высокие скорости поперечных волн в мантии прослеживаются лишь до широты  $57^\circ$ , где скачком уменьшаются до значения порядка  $4.7 \div 4.8$  км/с. При дальнейшем продвижении на север наблюдается практически однородное строение мантии с низкими скоростями поперечных волн, которые плавно растут с глубиной.

### **Взаимодействия элементов ударно-волновых систем между собой и с различными поверхностями**

*М. В. Чернышов*

Балтийский государственный технический университет

Многие сложные сверхзвуковые течения газа характеризуются образованием ударно-волновых систем — последовательностей скачков уплотнения и волн Прандтля-Майера. Элементы этих систем (скачки и волны) вступают во взаимодействия, исследование которых необходимо для решения более сложных задач. Однако из-за сложности ряда не локализованных в одной точке взаимодействий скачков и волн между собой с различными поверхностями их полный теоретический анализ в литературе отсутствует.

В данной работе на основе достоверных моделей проводится теоретический анализ взаимодействий догоняющих скачков уплотнения и волн Прандтля-Майера. Анализируются особенности формы взаимодействующих скачков, получены критерии смены типа отраженных возмущений, выявлено возможное образование областей дозвукового течения в зоне взаимодействия. Аналогичное исследование проводится в задаче об отражении волн Прандтля-Майера от твердых поверхностей различной формы, свободной поверхности, границы области квазиодномерного течения.

Результаты проведенного исследования применимы в сверхзвуковой аэродинамике и в газовой динамике струйных течений. В частности, показана связь между изменением аэродинамических коэффициентов многоугольных профилей в сверхзвуковом потоке и типом возмущений, отраженных при взаимодействии скачков и волн на их наветренных сторонах. Аналогичные результаты получены в модельной задаче обтекания пластины с передним щитком.

Полученные решения задач позволяют построить приближенные модели ряда струйных и канальных течений с маховским отражением возникающих скачков уплотнения, определить высоту образующегося маховского скачка и длину дозвуковой области за ним. Решения задач о взаимодействии элементов ударно-волновых систем имеют не только теоретическое, но и практическое значение.

# Поисковые проекты

---

## Спиновая релаксация в полупроводниковых гетероструктурах

*Л. Е. Голуб*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

golub@coherent.ioffe.rssi.ru

Изучена зависимость времён спиновой релаксации электронов от электрического поля и температуры в треугольной квантовой яме и в гетеропереходе. В расчётах, проведённых для реальных полупроводниковых систем, показано, что разница времён может достигать нескольких порядков величины.

На многокомпонентных волновых функциях рассчитано сечение рассеяния в квазидвумерном случае с переворотом спина. Для дырок в гетероструктурах  $p$ -типа рассчитаны квантово-механические средние значения оператора псевдоспина.

Объяснены недавние эксперименты по температурной зависимости сопротивления двумерного дырочного газа в гетероструктурах на основе GaAs. Построена фазовая диаграмма двумерного дырочного газа, связывающая критическую температуру и критическую плотность, при которых наблюдается переход металл-изолятор.

## Гранулированные сверхпроводники и новая модель для изучения самоорганизации критического состояния

*Н. Е. Савицкая*

Санкт-Петербургский институт ядерной физики РАН

Ранее нами было показано [1], что критическое состояние гранулированных сверхпроводников (многоконтактных СКВИДов) при большом значении основного параметра  $V \sim j_c a^3 / \Phi_0$ ;  $a$  — размер гранул,  $j_c$  — плотность критического тока межгранульных контактов,  $\Phi_0$  — квант потока магнитного поля) может быть самоорганизованным. Согласно концепции самоорганизованной критичности (СОК) [2] это означает, что представляет собой набор метастабильных критических состояний, переходящих друг в друга посредством «лавины».

Однако самоорганизация критического состояния в изучаемых многоконтактных СКВИДах возможна лишь при определенных способах внешнего воздействия на систему, которые сложно реализовать на эксперимен-

те. При наиболее распространенном на практике способе внешнего воздействия, помещении системы в меняющееся внешнее магнитное поле, самоорганизации в модели не возникало. Таким образом возникла необходимость корректировки модели.

В настоящей работе мы представляем принципиально новую модель системы с самоорганизацией — модель одномерного многоконтактного СКВИДа со случайно расположенными контактами, помещенного в возрастающее магнитное поле. Основное отличие нашей модели от ранее изучавшихся моделей СКВИДов — случайное расположение контактов. Оно является вполне естественным для реальных СКВИДов, поскольку там практически невозможно создание идеально-упорядоченной решетки контактов. Введенная же таким образом в систему «внутренняя пространственная случайность» заменяет собой необходимую для возникновения самоорганизации «внешнюю» стохастичность, которая ранее превносилась в систему извне с помощью случайного возмущения. Мы показываем, что в результате самоорганизация в системе возникает даже в одномерном случае при полностью детерминированном возмущении.

Мы также рассматриваем упрощенную модель такой системы, описываемую системой отображений, и являющуюся моделью типа кучи песка [3] со случайным рассыпанием и показываем, что она также обладает всеми свойствами исходной системы. Заметим, что в ранее рассматриваемых моделях самоорганизация в одномерном случае либо не возникает [2], либо требуется специальный режим возмущения системы [4].

### Список литературы

- [1] С. Л. Гинзбург, *ЖЭТФ*, **106**, 607 (1994); С. Л. Гинзбург, Н. Е. Савицкая, *ЖЭТФ*, **117**, 227 (2000).
- [2] P. Bak, C. Tang, K. Wiesenfeld, *Phys. Rev. Lett.*, **59**, 381 (1987).
- [3] D. Dhar, *Phys. Rev. Lett.*, **64**, 1613 (1990).
- [4] L. Kadanoff, S. R. Nagel, L. Wu, S.-M. Zhou, *Phys. Rev. A*, **39**, 6524 (1989).

## Коррекция аберраций и фокусировка излучения в РОС-лазере с искривленными штрихами решетки

*Г. С. Соколовский*

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН  
Gregory@kuch.ioffe.rssi.ru

Очевидные успехи оптоэлектроники в создании компактных источников когерентного излучения — полупроводниковых лазеров — сделали в настоящее время весьма привлекательными для их применения многие обла-

сти науки и техники, яркими примерами которых являются оптоволоконная связь и фото-медицина. Однако для этих и большинства подобных приложений требуется хорошо сфокусированное одночастотное излучение высокой мощности.

Одним из наиболее удобных путей решения этой проблемы — сочетания высокой мощности излучения полупроводникового лазера с его спектральным и пространственным совершенством — стал недавно предложенный лазер с распределенной обратной связью с искривленными штрихами решетки (и-РОС) [1]. Фокусировка выходного излучения и-РОС-лазером достигается без применения дополнительной оптики за счет искривления штрихов дифракционной решетки, которые представляют собой дуги концентрических окружностей, обеспечивая концентрацию всех мод лазерного излучения в общий фокус в плоскости р-п-перехода [2].

Однако существенным затруднением на пути применения и-РОС для фокусировки излучения с высокой апертурой (например, для фокусировки излучения лазерных линеек в одномодовое оптическое волокно) стало «размывание» фокуса и-РОС-лазера из-за аберраций фокусируемого решеткой излучения на плоском выходном зеркале. Решением этой проблемы может стать использование «квазигиперболического» искривления штрихов решетки, обеспечивающего такую форму волнового фронта внутри резонатора, которая при преломлении на плоском выходном зеркале преобразуется в «идеальную» цилиндрическую волну, тем самым обеспечивая фокусировку без заметных аберраций.

Благодаря частотной селективности и-РОС резонатора и «квазигиперболической» форме штрихов, обеспечивающей коррекцию аберраций при фокусировке выходного излучения, предлагаемая конструкция является на сегодняшний день наиболее эффективным и простым решением чрезвычайно актуальной проблемы фокусировки излучения полупроводниковых лазеров с высокой апертурой.

### Список литературы

- [1] G.S.Sokolovskii et al, *Optical and Quant. El.*, **31**, 215–221 (1999).
- [2] G.S.Sokolovskii et al, *IEEE Journal of Quant. El.*, **36**, 1412–1420 (2000).

## **Неоднородная модель ускорения тяжёлых ионов солнечных космических лучей**

*М. Ф. Ствтюк*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

На примере ионов железа, принадлежащих солнечным космическим лучам, исследовалось зарядово-согласованное ускорение тяжёлых частиц на сферической ударной волне. Показано, что энергетическая зависимость среднего заряда определяется соотношением между характерными временами ускорения и изменения заряда. Последнее изменяется вместе с параметрами неоднородной фоновой плазмы и зависит от скорости распространения ударной волны. Согласно проведённым исследованиям, влиянием фотоионизации на формирование зарядовых состояний тяжёлых ионов можно пренебречь для большинства случаев их ускорения в постепенных солнечных событиях.



# Содержание

<b>Предисловие</b>	<b>3</b>
<b>Дипломные проекты</b>	<b>5</b>
Электронная структура органических макромолекулярных полупроводниковых пленок на поверхности металлов и полупроводников <i>Ю. Г. Аляев</i> . . . . .	5
Сигнальные белки нервных окончаний GAP-43 и BASP1: исследование структурных и функциональных аспектов <i>М. Н. Богданова</i> . . . . .	6
Компьютерный анализ медьсодержащих фероксидаз, участвующих в метаболизме железа <i>А. В. Васин</i> . . . . .	8
Формирование ландшафта Павловского парка (XVIII–XX вв.) <i>А. Б. Глебова</i> . . . . .	9
Импульсная активность канонического кортикального модуля вследствие депрессии и рефрактарности синаптических связей <i>С. А. Евдокимов</i> . . . . .	11
Оптимизация параметров излучения светодиодов на GaN <i>В. А. Забелин</i> . . . . .	11
Двухфотонные волноводные фотоприемники для длины волны 1.55 мкм <i>Л. Я. Карачинский</i> . . . . .	13
Моделирование действия космических факторов на микроорганизмы (сообщение 1) <i>Н. В. Ларионов, А. Ю. Ферапонтов</i> . . . . .	14
О зарастании заброшенных карьеров строительных материалов Ленинградской области <i>О. В. Лисицына</i> . . . . .	15
Термогазодинамическая модель атомно-абсорбционного спектрометра с двухступенчатым атомизатором <i>В. В. Макаров</i> . . . . .	18
Деградационная устойчивость синие-зеленых $A_2B_6$ светодиодов <i>И. И. Новиков</i> . . . . .	19
Взаимодействие цис-диаминодихлорплатины (II) с гистоновыми белками хроматина <i>М. В. Новоженова</i> . . . . .	21

Исследование структуры новых лазерных конденсированных сред методом комбинационного рассеяния света <i>А. В. Поволоцкий</i> . . . . .	22
Энергетический баланс гидратации белков в приближении модели площади поверхности, доступной растворителю <i>Г. Н. Рычков</i> . . . . .	23
Моделирование действия космических факторов на микроорганизмы (сообщение 2) <i>А. Ю. Феропонтов, Н. В. Ларионов</i> . . . . .	24
Расчет корреляционной функции кулоновского кристалла <i>А. И. Чугунов</i> . . . . .	25
Время-разрешенные фотолюминесцентные исследования InAs/GaAs квантовых точек, выращенных на разориентированных подложках <i>А. С. Школьник, Е. Б. Догонкин, В. П. Евтихий, Е. Ю. Котельников, И. В. Кудряшов, В. Г. Талалаев, Б. В. Новиков, J. W. Tomm, G. Gobsch</i> . . . . .	26
Рост сечений адрон-адронных взаимодействий <i>А. А. Шнайдер</i> . . . . .	28
Модель полиэлектролитной щетки, помещенной в смесь из двух несовместных растворителей <i>П. А. Яковлев</i> . . . . .	28
<b>Кандидатские проекты</b>	<b>30</b>
Применение квазилокальных кварковых моделей к исследованию спектральных характеристик мезонов <i>С. С. Афонин</i> . . . . .	30
Мониторинг коллоидных примесей водопроводной воды Санкт-Петербурга, являющихся потенциальными токсикантами <i>Л. М. Молодкина, М. Ю. Андрианова</i> . . . . .	31
Исследование влияния специфических нековалентных взаимодействий на динамику переориентации в полимерных жидких кристаллах <i>В. В. Андропов</i> . . . . .	31
Разработка принципов построения и исследование комплекса для неконтактного измерения геометрических параметров рельсового пути <i>А. М. Боронахин</i> . . . . .	32

Квантовые гальваномагнитные эффекты в двумерном электронном газе гетероструктур InGaAs/InP	
<i>Д. Д. Быканов</i> . . . . .	33
Исследование критического поведения геликоидальных магнетиков и слоистых треугольных антиферромагнетиков методом ренормализационной группы в больших порядках	
<i>К. Б. Варнашѐв</i> . . . . .	35
Анализ неточностей стыковки участков ферритодиэлектрического волновода в интегральной фазированной антенной решетке (ФАР) для систем ближней радиолокации и связи	
<i>К. В. Гузенко</i> . . . . .	37
Исследование динамики турбулентности при переходе в режим улучшенного удержания на токамаке ФТ-2	
<i>А. Д. Гурченко</i> . . . . .	38
Исследование электронной компоненты плазмы при переходе от нижнегибридного увлечения тока к нагреву ионов на токамаке ФТ-2	
<i>В. Б. Ермолаев</i> . . . . .	39
Радиальные электрические поля в окрестности сепаратрисы и переход в режим улучшенного удержания плазмы	
<i>Е. Г. Кавеева</i> . . . . .	41
Статистический анализ фазового распределения звезд окрестности Солнца	
<i>Е. Э. Казакевич</i> . . . . .	41
Изменение скорости химических реакций в гетерогенных системах по действием электрического тока	
<i>К. Б. Козлов</i> . . . . .	42
Термомеханические исследования пористых пленок полиэтилена и композиционных систем на их основе	
<i>И. С. Курьиндин, А. В. Сидорович, Е. Ю. Розова, Г. К. Ельяшевич</i> . . . .	43
Роль маскирующего оксида на кремнии в процессах дефектообразования при формировании SIMOX-структур	
<i>А. Ю. Аскинази, А. П. Барабан, В. А. Дмитриев, Л. В. Милоглядова</i> . .	44
Научное обоснование выбора способов хранения сверхчистого водорода для морских электроэнергетических установок	
<i>А. В. Нефедьева</i> . . . . .	45
Кинетика первичного нуклеосинтеза	
<i>А. В. Орлов</i> . . . . .	47

Нелинейная теория радиальной рефлектометрии Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов . . . . .	48
Моделирование электрических свойств границ зерен в поликристаллических полупроводниках И. В. Рожанский, Д. А. Закгейм . . . . .	49
Кооперативное комбинационное рассеяние фотонов, излучаемых параметрическим источником, на системе двух пространственно разделенных атомов Д. В. Куприянов, А. В. Славгородский, И. М. Соколов . . . . .	51
Верхний гибридный резонанс в турбулентной плазме Е. З. Гусаков, А. В. Сурков . . . . .	52
Электрический ток, вызванный спиновой релаксацией поляризованных электронов в квантовых ямах С. А. Тарасенко . . . . .	53
Исследование равновесия, кинетики и динамики сорбции антрациклиновых антибиотиков на полимерных сетчатых сорбентах А. Ю. Тощевикова . . . . .	54
Расчет статистического фактора времен релаксации нематического эластомера В. П. Тощевиков . . . . .	56
Строение литосферы западной части Русской платформы по данным о дисперсии поверхностных волн Ю. Г. Фарафонова, Т. Б. Яновская . . . . .	58
Взаимодействия элементов ударно-волновых систем между собой и с различными поверхностями М. В. Чернышов . . . . .	59
<b>Поисковые проекты</b>	<b>61</b>
Спиновая релаксация в полупроводниковых гетероструктурах Л. Е. Голуб . . . . .	61
Гранулированные сверхпроводники и новая модель для изучения самоорганизации критического состояния Н. Е. Савицкая . . . . .	61
Коррекция аберраций и фокусировка излучения в РОС-лазере с искривленными штрихами решетки Г. С. Соколовский . . . . .	62
Неоднородная модель ускорения тяжёлых ионов солнечных косми- ческих лучей М. Ф. Стовпюк . . . . .	64