

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИ-  
ТЕТ

МАТЕРИАЛЫ  
XLV МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**«Студент и научно-технический прогресс»**

**ФИЗИКА**

Новосибирск  
2007

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕКЦИИ «ФИЗИКА»

### XLV Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»

1. АЛЕКСЕЕНКО Сергей Владимирович, зав. кафедрой физики неравновесных процессов ФФ НГУ, чл.-кор. РАН, профессор – председатель.
2. ЗАРВИН Александр Евгеньевич, зам. декана ФФ НГУ по научной работе, канд. физ.-мат. наук, доцент – заместитель председателя.
3. АУЛЬЧЕНКО Владимир Михайлович, зав. кафедрой физико-технической информатики ФФ НГУ, д-р техн. наук, профессор.
4. БАГРЯНСКИЙ Петр Андреевич, доцент кафедры общей физики ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, доцент.
5. БОЯРСКИЙ Леонид Александрович, зав. кафедрой физики низких температур ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, профессор.
6. ГРИЦАН Нина Павловна, профессор кафедры химической и биологической физики ФФ НГУ, д-р хим. наук, профессор.
7. КВОН ЗЕ ДОН, профессор кафедры физики полупроводников ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, профессор.
8. ЛИ Роман Николаевич, доцент кафедры теоретической физики ФФ НГУ, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
9. МАЛЬЦЕВ Валерий Павлович, зав. кафедрой медбиофизики ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, доцент.
10. МЕДВЕДКО Анатолий Степанович, и.о. зав. кафедрой радиофизики ФФ НГУ, канд. техн. наук, доцент.
11. ЦЫБУЛЯ Сергей Васильевич, зав. специализацией физических методов исследования твердого тела ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, доцент.
12. ЧЕКМАРЕВ Сергей Федорович, профессор кафедры физики неравновесных процессов ФФ НГУ, д-р физ.-мат. наук, профессор.
13. ШАДРИН Михаил Юрьевич, зам. зав. кафедрой автоматизации физико-технической информации ФФ НГУ, доцент.
14. ШАЛАГИН Анатолий Михайлович, зав. кафедрой квантовой оптики ФФ НГУ, чл.-кор. РАН, профессор.

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА**

## **НОВЫЙ МЕТОД КОРРЕКЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТИ МЕТОДОМ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ЧАСТИЦЕЙ**

Е.К. Ахметбеков  
Институт теплофизики СО РАН

Современные методы цифровой трассерной визуализации представлены методиками кросскорреляционного анализа пар изображений частиц в два момента времени (Particle Image Velocimetry -- PIV) и слежения за траекторией отдельной частицы (Particle Tracking Velocimetry -- PTV). Техника PIV получила широкое распространение и является наиболее полно изученной. Однако, для достижения большего пространственного разрешения, предпочтительно использование техники PTV.

Расчет нерегулярного поля скорости методом PTV можно разбить на следующие основные этапы: поиск частиц на изображении, идентификация пар объектов на двух кадрах и расчета вектора смещения, отсева неверных векторов. Использование метода PTV связано с проблемой точного определения значения центра частиц, что чрезвычайно важно при расчете высших статистических моментов необходимых для глубокого изучения физического объекта. Однако, точность определения положения центра частиц недостаточна и подвержена эффекту peak locking (группировка рассчитанных смещений частиц на изображении около целочисленных значений). Для уменьшения ошибки конечного вектора скорости был разработан новый алгоритм коррекции на основе корреляции образов частиц формирующих вектор. Коррекция является новым, промежуточным шагом между построением вектора скорости и отсевом неверных векторов. По изображениям частицы на обоих кадрах считается корреляция и полученное смещение дает поправку в вектор скорости. Изображение частицы перестраивается с дробным значением смещения в позиции центра определенного ранее. Для восстановления изображения в точках с дробными координатами используется интерполяционная схема высокого порядка (кубический B Spline). Такая коррекция значительно снижает действие эффекта peak locking и уменьшает погрешность метода. Возможно дальнейшее улучшение результата посредством итерационного применения алгоритма коррекции к исправленному вектору смещения.

Коррекция была апробирована на искусственных изображениях частиц моделирующих равномерное течение для определения точности и на экс-

периментальных данных из PIV Challenge 2003, Westerweel для оценки подверженности метода эффекту peak locking.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, зам. дир. ИТ СО РАН  
Д.М. Маркович

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАВЯЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ**

Б.М. Бидус  
Сибирский федеральный университет

Автоматизация проектирования систем охлаждения с использованием устройств охлаждения на фазовом переходе имеет ряд особенностей по сравнению с проектированием других видов систем охлаждения, что в свою очередь ставит задачу выбора специфических проектных процедур.

Важное место в процессе разработки ЭС занимают средства моделирования и оптимизации тепловых характеристик, создаваемых устройств.

Нами было разработано программное обеспечение, которое позволяет при помощи математического моделирования физических процессов происходящих в устройствах охлаждения на фазовом переходе исследовать тепловые характеристики. С его помощью можно подобрать оптимальный тепловой режим электронного устройства на этапах его схемотехнического проектирования.

Метод и алгоритм расчета, которые были использованы при написании программного обеспечения, учитывают возможность многократного воспроизведения результатов моделирования.

Основные возможности программы:

- позволяет получить зависимость температуры источника от одиночного импульса, от периодической последовательности импульсов;
- позволяет вносить в свою базу новые материалы рабочих веществ;
- минимальный ввод исходных данных;
- графическое представление результатов расчета;
- сохранение и печать полученных результатов.

Эффективность применения программы достигается за счет наглядности полученных результатов моделирования и в результате:

- замены отдельных этапов проведения натуральных экспериментов на физической модели проведением вычислительного эксперимента на математической модели;

- повышения надежности радиоэлектронной аппаратуры за счет обеспечения нормальных тепловых режимов в ИС;
- снижения затрат при проведении проектных работ.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. В.И. Томилин

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПЛАТ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИЕМА И КОММУТАЦИИ ПОТОКОВ КАНАЛОВ ИКМ-30**

Д.Б. Воробьева

Новосибирский государственный университет

При проведении оперативно-технических мероприятий (ОТМ) для субъектов оперативно розыскной деятельности (ОРД) большое внимание уделяется процессам сбора, доставки, хранения и обработки звуковых и цифровых данных. Одним из устройств, предназначенным для сбора и передачи информации, является плата многоканального приема и коммутации потоков каналов ИКМ-30 (Е1), разработанная в ООО «Сигнатек». Платы РМСЕ1 позволяют принимать и передавать до 512 звуковых потоков каналов ИКМ-30 (Е1).

Так как системы сбора и передачи данных для проведения ОТМ должны соответствовать требованию высокой надежности, и в связи со специфичностью устройства, существует необходимость в создании системы автоматического тестирования плат РМСЕ1, позволяющей определять работоспособность плат и выявлять неработающие компоненты.

Целью работы является создание системы, позволяющей проверить все составляющие компоненты платы, максимально приблизив тестовые ситуации к реальным условиям эксплуатации. Данная система позволяет провести тестирование как в автоматическом режиме так и предоставляет возможность полного доступа и управления платой посредством обращения к регистрам.

Согласно поставленной задаче системе необходимо определить ошибки, которые могут возникнуть при приеме данных. Ошибки могут быть: неправильная коммутация данных, потеря данных, непоследовательная передача данных, искажение данных.

Для определения этих ошибок были разработаны следующие специфические алгоритмы генерации и анализа детерминированного сигнала при передаче и приеме данных: синусоидальный сигнал с определенной частотой и амплитудой для определенного тайм-слота и канала ИКМ-30 (Е1), псевдослучайный сигнал, пакетная передача данных.

Данная система автоматического тестирования позволит избежать установки неисправных плат РМСЕ1 в оборудование для субъектов оперативно розыскной деятельности.

Научный руководитель – А.С. Чаринцев

## **ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ МЕТОДОМ ГЕНЕРАЦИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСХОДНЫХ ТЕКСТОВ**

А.Г. Гарага

Новосибирский государственный университет

Типичный процесс эффективной реализации программного алгоритма состоит из нескольких этапов (уровней), на каждом из которых имеются свои альтернативы. Вкратце эти уровни: задача, алгоритм, программный текст, бинарное представление. Задача оптимизации производительности программы сводится к тому, чтобы среди этого множества альтернатив найти ту, которая дает наилучшую производительность. Выбор наилучшего варианта зависит от платформы.

На сегодняшний день имеются много программных продуктов для осуществления поиска на определенных этапах. Например, инструмент SPIRAL[2], используемый для генерации математических функций, выполняющих обработку сигналов; x-language[1], для генерации альтернативных текстов программ на языке С; IFDO компилятор[3], используемый для подборки наилучших трансформаций над исходным текстом при компиляции программ на С. Однако, нет универсального средства для поиска на любом уровне, который мог бы работать с любым языком программирования для выполнения произвольных задач. В связи с этим был спроектирован инструмент, который смог бы решить эти проблемы. Имея специально разработанный язык разметки и систему правил перезаписи, инструмент может автоматически генерировать альтернативные исходные тексты на определенном языке программирования, и выполнить итерации по оптимизации, базируясь на измерениях производительности полученного бинарного кода (обратная связь).

Инструментальное средство делается независимым от языка программирования, и потому его можно будет использовать с равным успехом как в языках высокого уровня, такие как C/C++, Fortran, так и на уровне ассемблера.

- 
1. Sebastien Donadio et al. Language for the Compact Representation of Multiple Program Versions.
  2. M. Puschel, J. Moura, J. Johnson et al. SPIRAL: Code Generation for DSP Transforms. Proceedings of the IEEE. To appear 2005. Special issue on Program Generation, Optimization, and Adaptation.
  3. Cherny Ilya. Iterative Feedback Directed Optimization, User Documentation.

Научный руководитель – Д.Г. Бакшеев

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ Z-СКАНИРОВАНИЯ**

О.В. Горинова

Новосибирский государственный технический университет

Метод z-сканирования является одним из методов измерения коэффициентов нелинейного поглощения лазерного излучения. В его основе лежит измерение интенсивности прошедшего через вещество излучения, при последовательном перемещении образца через фокус лазерного пучка.

Обычно эксперименты по z-сканированию автоматизированы в части измерения интенсивности прошедшего излучения. Так в наших экспериментах используется высокоточная однокоординатная подвижка “Newport” с управлением от ПК, а также система сбора и обработки данных с фотоприемника ФД-24К, используемого для измерения интенсивности излучения, прошедшего через образец. Существующее программное обеспечение позволяло задавать шаг движения, экспозицию фотоприемника и выводить на экране график зависимости интенсивности прошедшего излучения от положения образца относительно фокуса.

Для вычисления коэффициентов нелинейного поглощения необходимо на основе экспериментальных данных построить аппроксимирующую кривую (фитинги) и вручную подобрать ряд коэффициентов. Такая обработка существенно увеличивала время экспериментов, создавало дополнительные затраты электроэнергии и воды, так как все измерения проводились на фемтосекундном лазерном комплексе с накачкой мощным аргоновым лазером.

Целью настоящей работы была разработка программного продукта, содержащего алгоритмы обработки данных, для предварительной оценки коэффициента и сечения нелинейного поглощения, исследуемых образцов непосредственно в процессе измерений.

Программный пакет был написан на базе среды MatLab 7.0. Он позволяет непосредственно во время эксперимента конвертировать данные в пакет MatLab, где автоматически выполняется процедура нормирования и центрирования экспериментальной зависимости, построения приближенного фитинга и оценка значения коэффициента нелинейного поглощения в режиме реального времени.

Более точный расчет коэффициентов и сечений ДФП может производиться независимо от экспериментов, при помощи второго модуля программного продукта, находящегося на вычислительном компьютере куда данные с измерительного компьютера переносятся автоматически и вызывается диалоговое окно встроеного модуля MatLab 7.0.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.П. Мешалкин

## **МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ 3D ГЕОМЕТРИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

С.В. Двойнишников  
Институт теплофизики СО РАН

Методы оперативного прецизионного контроля трехмерной (3D) геометрии крупногабаритных объектов актуальны для машиностроения и энергетики, для гидротурбостроения, транспорта и многих промышленных технологий. В работе представлен разработанный по заказу ОАО «Силловые машины - ЛМЗ» (г. Санкт-Петербург) оптоэлектронный метод измерения и анализа 3D геометрии - профиля поверхности лопаток гидротурбин - в процессе производства. Цель работ – создание класса отечественных недорогих конкурентоспособных систем для замены дорогостоящих (более 300 тыс.евро) координатно-измерительных импортных измерителей.

В основе метода лежит использование адаптивно структурированного освещения, оптической триангуляции и компьютерной обработки изображений. В качестве источника структурированного освещения используется цифровой проектор. Отличительными особенностями метода являются инвариантность к отражательным свойствам поверхности объекта и автоматическая генерация оптимального набора проецируемых сеток, обеспечивающие требуемую точность и разрешение [1].

В докладе представляется метод и созданный на его основе прототип координатно-измерительного комплекса, а также результаты тестовых измерений предоставленной ОАО «Силловые машины ЛМЗ» модели лопатки гидротурбины с линейными размерами 10x13 см. Показано, что увеличе-

ние размеров измерительного объема достигается за счет пространственного масштабирования элементов измерительной схемы и принципиально не увеличивает погрешность алгоритма обработки. В экспериментах достигнута абсолютная погрешность измерений не более 60 мкм в объеме 200x200x100 мм при числе одновременно измеряемых точек более 300000. Продемонстрирована работоспособность метода оперативного бесконтактного измерения 3D геометрии крупногабаритных объектов и перспективность его дальнейшего развития для отечественного гидротурбомашиностроения.

---

1. Заявка № 2006118624/28(020251). Способ бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов. Двойнишников С.В., Аникин Ю.А., Главный В.Г., Меледин В.Г., заявитель Двойнишников С.В., Меледин В.Г.

Научный руководитель – д-р техн. наук В.Г. Меледин

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА КМД-3**

И.Б. Лабутин

Новосибирский государственный университет

Современный детектор элементарных частиц, используемый в экспериментах в области физики высоких энергий, представляет собой сложное инженерное устройство, состоящее из множества регистрирующих систем, позволяющих измерять с хорошей точностью параметры частиц, определять траектории частиц. Аппаратно-программное обеспечение детектора, как правило, является уникальным, ввиду специфических требований, зависящих от определенного вида эксперимента. Неотъемлемой частью любого современного детектора, является система сбора данных.

Данная работа проводилась в рамках модернизации накопителя ВЭПП-2000 и детектора КМД-3, работающего на нем. Детектор КМД-3 сохранил общую структуру своего предшественника, КМД-2, и его наиболее дорогостоящие элементы. В то же время все системы детектора и платы АЦП для них, были серьезно модернизированы либо изготовлены заново. Новая электроника обслуживает большее число измерительных каналов, обладает большим быстродействием и надежностью. В связи с увеличением светимости нового накопителя и количества информационных каналов детектора, увеличился и поток информации с регистрирующей аппаратуры до 3МБ/с при ожидаемой частоте 1КГц.

Для передачи информации из плат АЦП в компьютер, сотрудниками лаборатории были разработаны последовательная линия связи (со скоростью передачи 25Мб/с) и блок приема передачи данных (БППД), позволяющий коммутировать до 30 линий связи в единый канал FastEthernet. Ввиду значительного обновления аппаратной части системы сбора данных детектора и её архитектуры, возникла необходимость в разработке программного обеспечения для сбора и первичной обработки данных с новой электроники детектора. Работа ПО с экспериментальными данными должна осуществляться с требуемой скоростью и максимально надежно.

Целью данной работы являлась разработка и тестирование программного обеспечения для системы сбора данных детектора КМД-3, заключающаяся в

- 1) разработке протокола взаимодействия с блоком БППД, разработке формата данных передаваемых в систему для дальнейшей обработки
- 2) реализации хранения и редактирования конфигурации (калибровок, пьедесталов) всех видов плат АЦП.
- 3) реализации программы-фронтенда для чтения и первичной обработки сырых оцифрованных данных

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И.Б. Логашенко

## **ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЛЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МУЛЬТИМЕДИА ДАННЫХ**

И.В. Масалов

Новосибирский государственный университет

В настоящее время все большее распространение получают различные системы воспроизведения разнородных мультимедийных данных. Примером могут служить системы телевизионного вещания, которые работают с видео, звуковыми и текстовыми данными. Подобные системы, предоставляющие неавтоматизированный способ управления не могут обеспечить необходимую надежность для ряда работ (например, для вещания в прямом эфире).

В лаборатории №13 ИАиЭ СО РАН в течение многих лет разрабатывались и разрабатываются системы автоматизации телевещания с использованием одного персонального компьютера. Однако данные системы не могут обеспечить высокую надежность (работа 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году). Рассмотрение факторов, снижающих надежность, позволяет выделить три основных фактора: человеческий фактор (ошибки оператора), сбои оборудования и сбои, вызванные дополнитель-

ной нагрузкой, несвязанной с воспроизведением. Использование распределенной системы автоматизации телевещания позволило бы снизить влияние указанных факторов.

В данной работе представлен прототип распределенной системы автоматизированного воспроизведения мультимедийных данных. Данный прототип представляет собой набор сервисов (интерфейсных модулей), каждый из которых установлен на отдельный персональный компьютер и соединенных через ТСР/РР. Основная задача интерфейсных модулей передача сообщений между объектами (клиентскими приложениями, плеерами, осуществляющих воспроизведение материалов, и базами данных материалов). При этом сообщение может быть послано: всем сервисам, всем объектам конкретного сервиса или конкретному объекту заданного сервиса. Также предусмотрено ограничение прав операторов, работающих с клиентскими приложениями, на посылку различных запросов плеерам и базам данных материалов на основе идентификации пользователей в операционной системе Windows.

Научный руководитель – И.Г. Таранцев

## **СИСТЕМА ХАРАКТЕРИЗАЦИИ КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНОГО ДИФРАКЦИОННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА**

С.В. Остапенко

Новосибирский государственный университет

Актуальным направлением исследований в области разработки технологий изготовления оптических систем, является совершенствование и оптимизация процессов производства дифракционных оптических элементов (ДОЭ). При изготовлении ДОЭ, крайне редко удается получить форму микрорельефа, точно соответствующую заданной. Это происходит из-за отклонения параметров процесса изготовления: нестабильности аппаратуры, внешних факторов (например, изменения температуры, влажности) и геометрических ошибок установок, формирующих топологию ДОЭ. Для своевременной корректировки параметров процесса изготовления, требуется оперативно контролировать точность формирования микрорельефа на различных этапах технологического процесса изготовления.

Используемые в настоящий момент методы контроля обладают рядом таких недостатков как, например, большие временные затраты на контроль одного элемента, а также большой объем действий выполняемых вручную. Для решения этой задачи было решено создать систему автоматизированного оперативного контроля ДОЭ. Основным методом при контроле про-

цесса изготовления ДОО в настоящее время является профилометрический метод, основанный на непосредственном измерении формы микрорельефа. Однако, для осуществления контроля ДОО, данные, полученные профилометрическим методом, нуждаются в характеристике. Характеризация состоит из коррекции измерительных данных и их анализа. Коррекция заключается в устранении из профилограммы искажений вносимых измерительной установкой. Анализ представляет собой определение основных параметров профиля.

В работе рассматривается система характеристики кусочно-линейных профилей полученных методом конфокальной профилометрии. Кусочно-линейный микрорельеф выбран в качестве первого этапа работы, как основной типовой элемент кусочно-непрерывных ДОО.

Как результат проделанной работы была создана система позволяющая корректировать искажения, внесенные в данные конфокальным профилометром (клин образца, ошибочные измерения глубины профиля в областях сильного рассеяния света, итд) а также определять основные геометрические параметры элементов кусочно-линейного микрорельефа.

Научный руководитель – канд. техн. наук В.П. Корольков

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОНВЕРТЕРА ВИДЕОПОТОКА IEEE 1394 DV В SDI**

А.В. Рудаков

Новосибирский государственный университет

Лаборатория, в которой выполняется представляемая работа, специализируется на разработке алгоритмов и программно-аппаратного обеспечения для обработки видеоинформации и автоматизации телевидения. В настоящее время телестудии практически полностью перешли на цифровое оборудование, а на смену аналоговым трактам передачи аудио- и видеосигналов приходят цифровые тракты.

Так на студиях всё большее распространение приобретает последовательный интерфейс передачи цифровых видеоданных SDI (Serial Digital Interface). Этот интерфейс позволяет передавать несжатое, нешифрованное цифровое видео по коаксиальному кабелю в формате, максимально соответствующем по таймингу традиционному аналоговому видеосигналу. Кроме того, допускается встраивание в SDI-поток цифрового звука.

При этом основными видеисточниками являются видеокамеры формата DV (Digital Video), позволяющие записывать видеоматериалы на магнитную ленту в сжатом цифровом представлении. Формат DV обеспечива-

ет приемлемое для телевидения качество видеоизображения и стереозвук. Для передачи видеоматериалов в формате DV предусмотрен интерфейс IEEE 1394.

Таким образом, среди многообразия студийной техники выделяются два типа устройств: DV-камеры и DV-видеомагнитофоны, оснащенные интерфейсом IEEE 1394, и монтажное оборудование, работающее с несжатými потоками через интерфейс SDI. Возникает проблема их сопряжения. Для решения этой проблемы была поставлена задача разработки аппаратно-программного конвертера видеопотока IEEE 1394 DV в SDI, включающая анализ существующих решений и формулирование требований к устройству и его функциональности, проектирование принципиальной электрической схемы, разработку управляющей программы, отладку устройства и программы.

Разработанное устройство решает проблему сопряжения оборудования формата DV и SDI-совместимых устройств. Применение конвертера на телестудиях позволяет отказаться от аналоговых трактов и, соответственно, повысить итоговое качество видеоматериалов, а также производить обработку материалов налету, что ускоряет и упрощает техпроцесс и обеспечивает работу в прямом эфире.

Научный руководитель – М.Ю. Шадрин

## **РАЗРАБОТКА ТРЕХКАНАЛЬНОГО РЕГИСТРАТОРА ТЕЛЛУРИЧЕСКИХ И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ**

С.Ю. Тикунов

Новосибирский государственный университет

Некоторые задачи и методы геологической разведки, геофизики требуют измерения постоянного или медленно меняющегося напряжения. Значение разности потенциалов между двумя точками на земле дает значение напряженности электрического поля, которое используется для интерпретации данных замеров. Измерение в течение 15 минут напряжения между двумя точками, позволяет исследовать состояние блуждающих токов, что является необходимым при проектировании электрозащиты подземных коммуникаций от коррозии. Длительное измерение напряженности электрического поля между двумя точками дает информацию о теллурических токах, что позволяет узнавать о проводимости глубоких слоев грунта.

Для решения других исследовательских задач требуется создать гибкий прибор, имеющий широкий диапазон настроек. Имеющиеся приборы, выполняющие схожие измерения, недостаточно гибкие, и, как правило, рабо-

тают совместно с собственными генераторами, и, соответственно, оптимизированы под конкретные замеры. С помощью серийно выпускаемых микросхем можно сделать прибор, который позволит производить измерения для достаточно широкого класса геофизических исследований. В том числе, прибор может быть достаточно гибким для удовлетворения задач, которые еще могут появиться в связи с развитием геоэлектрических методов. Для этого необходимо создать принципиальную электрическую схему прибора, осуществить подбор элементной базы, изготовить плату, собрать всю схему, написать прошивку для микроконтроллера, написать программу для компьютера. После создания аппаратуры нужно будет произвести отладку и проверку работы, как компонентной части, так и программной. После чего прибор будет проверяться в натуральных экспериментах, и участвовать в исследовательских геофизических экспериментах.

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Мир. 1993.
2. Бобровников Л.З., Орлов Л. И., Попов В. А. Полевая электроразвечная аппаратура. Недра. 1986.
3. Клаассен К. Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. Постмаркет. 2002.

Научный руководитель – канд. техн. наук А.К. Манштейн

## **ИНВАРИАНТНЫЕ К ПОВОРОТУ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

А.С. Тятюшкин

Новосибирский государственный университет

Развитие систем восприятия и обработки изображений поставило задачу совместного анализа серии изображений одной и той же сцены, полученных в различных условиях и/или с помощью различных датчиков [1]. Яркими примерами могут служить системы космического мониторинга местности, системы автоматического распознавания и идентификации различного рода объектов. В связи с этим возникает ряд проблем координатной привязки, а как следствие – и идентификации фрагментов двух изображений, а также точной взаимной геометрической и амплитудной коррекции для последующего совместного анализа.

Работа посвящена исследованию алгоритмов идентификации цифровых изображений, инвариантных к их взаимному повороту. В ходе выполнения работы был программно реализован и модифицирован разработанный в лаборатории вероятностных методов исследования информационных про-

цессов ИАиЭ СО РАН (зав. лаб. – д.т.н Резник А. Л.) ускоренный алгоритм идентификации, основанный на гармоническом разложении двумерного сигнала.

Для выяснения свойств алгоритма проведен ряд численных экспериментов над множеством реальных и аналитически задаваемых модельных изображений. Целью численных экспериментов было получение статистической оценки следующих свойств алгоритма:

- Степень устойчивости к шумам (рассмотрены оба типа изображений)
- Устойчивость к амплитудным искажениям (рассмотрены только аналитически задаваемые модельные изображения)
- Устойчивость к геометрическим искажениям, вызванным неравномерностью сканирования
- Устойчивость к проективным искажениям, вызванным перемещением регистрирующей аппаратуры в пространстве

---

1. В. М. Ефимов, В. С. Киричук, А. И. Пустовских, А. Л. Резник  
Методика обработки серий изображений // Автометрия. 1989 №2

Научный руководитель – д-р техн. наук А.Л. Резник

# АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ

## ЭНЕРГИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ВИХРЕВОЙ НИТИ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ

В.А. Андрющенко  
Новосибирский государственный университет

При определенных условиях в объеме сверхтекучего гелия возникают квантовые вихри сверхтекучей компоненты. Квантовые вихри играют фундаментальную роль при описании квантовых жидкостей, сверхпроводников и других систем. Фазовые превращения, кинетические свойства, а также множество других физических явлений связаны с появлением в системах квантовых вихрей и с их динамикой. По этой причине изучение квантовых вихрей является очень важной и актуальной задачей.

Энергия является основной характеристикой любой динамической системы. Знание энергии, дает возможность вычислить статистическую сумму тела т. е. получить все термодинамические свойства рассматриваемого объекта. Поэтому очень важно получить выражение для энергии через известные параметры системы. Энергетический спектр – главная характеристика диссипативных систем.

Данная работа основана на Гауссовой модели вихревого клубка, являющаяся обобщением теории случайных блужданий. С помощью этой модели [1] можно вычислять любые средние в пространстве случайных вихревых петель. Суть этого метода - построение пробной функции распределения вихревых линий в конфигурационном пространстве петель.

Была получена зависимость энергии от длины  $L$  –одной из основных характеристик вихревой нити

$$E \sim L^{\frac{1}{H}} \quad (1)$$

где  $H$ - размерность Хаусдорфа вихревой нити.

Также вычислен энергетический спектр, случайного поля скорости, индцируемого вихревой нитью. Для больших волновых чисел  $k$ .

$$E \sim k^{H-2} \quad (2)$$

При малых  $k$ , для замкнутых петель

$$E \sim k^2 \quad (3)$$

---

1. S. K. Nemirovskii Gaussian model of vortex tangle in He II (Phys.Rev. B1, 1998, v.57, N10, p.5972-5986 )

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С.К. Немировский

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ ПО ИЗВЕСТНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ**

М. Ю. Андреев

Новосибирский государственный университет

Распределение электропроводности в детонационной волне конденсированных взрывчатых веществ является важнейшей электрофизической характеристикой. Электропроводность определяется типом носителей, природой их возникновения, их концентрацией и длиной свободного пробега. Сведения о носителях несут информацию о кинетике процессов в детонационной волне. Самостоятельный интерес к распределению электропроводности в детонационной волне вызван поведением вещества в экстремальных состояниях.

Существуют различные методы исследования электропроводности. Наибольшее распространение получил контактный метод. При использовании контактного метода возникает обратная задача восстановления распределения электропроводности в детонационной волне по измеренной проводимости. В случае распространения детонационной волны между протяженными электродами восстановление распределения электропроводности невозможно. На помощь привлекаются или конечные электроды или электроды разной длины. Однако, в этом случае возникает краевой эффект, вызванный растеканием тока с концов электродов и изменением распределения поля.

Данная работа предназначена для исследования влияния краевого эффекта на восстанавливаемую электропроводность и предсказания формы электродов для наиболее выгоднейших условий проведения экспериментов.

Задача решалась численным методом. Численный эксперимент проводился с заданными распределениями электропроводности, полученными в предварительных оценочных экспериментах.

Задача сводится к нахождению электрического потенциала при заданной конфигурации электродов и проводимости. Для его нахождения использовалось уравнение  $div(\vec{j}) = 0$ . Были использованы метод конечно-

разностных схем и метод последовательных итераций. Для решения задачи была написана программа на языке C++.

Результатами работы являются распределения потенциала полученные при различных условиях, а также распределения электрического поля, и свободных зарядов. Также была восстановлена осциллограмма полученная экспериментально.

Научный руководитель — канд. техн. наук, доцент. П.И. Зубков

## **УСИЛЕНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ КОНФУЗОРНЫЙ УЧАСТОК УДАРНОЙ ТРУБЫ**

И.С. Ануфриев<sup>1</sup>, А.А. Клочков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

<sup>2</sup> Томский государственный университет

Решение физико-технической задачи генерации ударных волн с заданными характеристиками имеет важное прикладное значение, связанное с тушением низовых лесных пожаров. Лесные пожары представляют собой сложные физико-химические явления, воздействие на них ударных волн изучено недостаточно. В работе на основе экспериментальных и теоретических методов исследованы возможности повышения интенсивности генерируемых ударных волн за счет применения конфузорных насадков.

Предложено новое техническое решение для генерации ударных волн в ударной трубе. Выполнены экспериментальные исследования параметров ударных волн, инициируемых пороховыми патронами [1] в каналах различной геометрии. В экспериментах осуществлялось варьирование угла конфузорной части и диаметра выходного отверстия. Проанализированы закономерности усиления ударных волн в результате прохождения через конфузорную часть ударной трубы. Найдены оптимальные геометрические характеристики канала.

Математическое моделирование поставленной задачи осуществлялось на основе интегральных законов сохранения массы, импульса и энергии и уравнений горения пороха [2] с помощью метода Годунова [3]. Результаты численных расчетов удовлетворительно согласуются с результатами экспериментов.

---

1. И.С. Ануфриев, Экспериментальное исследование пересжатых ударных волн // Материалы международной конференции “V Окуневские чтения”. – Санкт-Петербург: Балт.гос.техн.у-т. СПб., 2006. – С. 58-59.

2. Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическое моделирование внутривальностических процессов в ствольных системах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 256 с.

3. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов М.Я. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. – 400 с.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, доц. О.В. Шарыпов, д-р техн. наук, проф. А.Н. Голованов.

## **ОПУСКНОЕ СНАРЯДНОЕ ТЕЧЕНИЕ**

Г.В. Богословцев

Новосибирский государственный университет

Газожидкостное снарядное течение в трубах существует в широком диапазоне расходных скоростей жидкости и газа. Снарядный режим течения характеризуется квазипериодическим чередованием газовых снарядов и жидких пробок. Газовый снаряд занимает почти все поперечное сечение трубы. В вертикальных трубах газовые снаряды имеют скругленную носовую часть, тогда как кормовая зона практически плоская. Структура течения в жидкой пробке существенно отличается как от однофазного течения в трубе, так и от двухфазного пузырькового течения.

Исследования восходящего снарядного течения широко представлены в литературе, тогда как опускное снарядное течение исследовано в значительно меньшей степени.

В работе представлено экспериментальное исследование напряжения трения на стенке в опускном снарядном газожидкостном течении в вертикальной трубе диаметром 20мм. Измерения локальных характеристик выполнены электродиффузионным методом. В работе использовался двойной датчик трения, позволяющий получать абсолютное значение трения и направление потока вблизи стенки. А также два датчика проводимости, установленные на оси трубы, из обработки сигналов которых можно было получить скорость и размер проходящего мимо них газового включения. Использовалась методика условного осреднения по ансамблю реализаций, которая позволила выделить крупномасштабные структуры на фоне турбулентных пульсаций жидкости. При осреднении учитывалась индивидуальная скорость каждого снаряда. Получены осредненные распределения трения на стенке под газовым снарядом для различных режимных параметров.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук О.Н.Кашинский

## **ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ПОТОКЕ МЕТАН-КИСЛОРОДНЫХ СМЕСЕЙ**

А.А. Галоян

Новосибирский государственный университет

В связи с предстоящей переориентацией ближайшем будущем химической промышленности с нефтяных источников сырья на альтернативные, в том числе природный газ, разведанных запасов которого на территории СНГ более 40%, безусловный интерес представляет собой разработка новых высокоэффективных способов переработки природного газа. Одним из таковых является переработка метана с помощью линейного сверхзвукового пиролизического реактора описанного в работе [1]. Проблема состоит в неустойчивости разряда в сверхзвуковом потоке метана. Работа посвящена исследованию тлеющего разряда в сверхзвуковом потоке метана и метан-кислородных смесей. Целями и задачами работы были: получение устойчивого диффузного электрического разряда, перекрывающего сверхзвуковой поток метана; исследование влияния кислорода на контракцию разряда в сверхзвуковом потоке метана; получение вольт-амперных характеристик разряда; измерение газодинамических параметров потока. Были проведены эксперименты с исследованием разряда в потоках метана, воздуха и метан-кислородных смесей. В ходе работы получен устойчивый диффузный электрический разряд, перекрывающий сверхзвуковой поток метана. Установлено, что кислород уменьшает контракцию разряда в сверхзвуковом потоке метана. Получены вольт-амперные характеристики разряда в сверхзвуковом потоке воздуха, метана и метан-кислородной смеси.

---

И.Б.В. Постников, С.С. Правдин, В.М. Фомин, В.П. Фомичев. Линейный сверхзвуковой пиролизический реактор. – Новосибирск, 2003. – 17 с. – (Препр. / Ин-т теор. и прикл. механики СО РАН; № 8-2003).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. Б.В. Постников

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТРЁХМЕРНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО СТЕКАЮЩИХ ПЛЁНОК ЖИДКОСТИ

В.В. Гузанов

Новосибирский Государственный университет

При умеренных числах Рейнольдса пленочного течения конечной стадией эволюции волн являются трёхмерные волны, непрерывно взаимодействующие друг с другом. Теоретическое решение, описывающее стационарную уединённую подковообразную волну, похожую по форме на наблюдаемые в эксперименте волны, получено в [1] для случая  $Re \rightarrow 0$ . В то же время экспериментальное изучение характеристик детерминированных трехмерных волн затруднено из-за малой скорости эволюции и хаотического взаимодействия трехмерных волн между собой.

Получить уединённые трехмерные волны и изучить ряд закономерностей их развития на компактной экспериментальной установке удастся при возбуждении их точечным источником на начальном участке пленочного течения, где уровень естественных волн мал, и пленку можно считать гладкой.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования трехмерных волн, возбуждаемых точечным источником на вертикально стекающей плёнке водо-спиртового и водо-глицеринового растворов при числах Рейнольдса пленочного течения  $1,2 < Re < 25$ . При помощи метода флуоресцентной визуализации [2] зарегистрированы стационарные подковообразные волны, измерены их характеристики. Представлен пример эволюция начального возмущения в уединённую подковообразную волну.

Форма зарегистрированных стационарных волн при  $Re \sim 2$  близка к полученной в [1], однако уже при  $Re \sim 3$  наблюдаются существенные отличия: изгиб гребня возрастает, его боковые стенки сильно удлиняются в продольном направлении, а между ними возникает узкая желобообразная впадина. Вместе с тем, амплитуды и скорости зарегистрированных в эксперименте стационарных волн для всех исследованных чисел Рейнольдса плёночного течения оказались близки к полученным в [1].

---

1. Петвиашвили В.И., Цвелодуб О.Ю. Подковообразные солитоны на стекающей вязкой пленке жидкости // ДАН – 1978. – Т. 238, № 6 – С. 1321-1323.

2. Jun Liu, Jonathan D. Paul and J.P. Gollub Measurements of the primary instabilities of film flows // J. Fluid Mech. – 1993. – vol. 250, pp. 69-101.

Научный руководитель – науч. сотр. С. М. Харламов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ PIV ДИАГНОСТИКИ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

А.В. Достовалов

Новосибирский государственный университет

В настоящее время для экспериментальной аэродинамики большой интерес представляют оптические методы измерения поля скоростей потоков, среди наиболее перспективным является метод PIV-диагностики (particle image velocimetry), основанный на регистрации лазерного излучения, рассеянного на частицах, присутствующих в потоке.

Цель данной работы – исследование возможностей применения PIV-диагностики в аэродинамическом эксперименте. PIV системы для исследования воздушных потоков в аэродинамических установках должны обеспечивать регистрацию как низкоскоростных потоков ( $\leq 1$  м/с), так и в высокоскоростных потоках со скоростями достигающими 1000 м/с.

В работе использовалась PIV система «Laser Oxford Twin PIV», состоящая из: лазера (Nd:YAG), генерирующего два импульса энергией 300 мДж, длительностью 4 нс и длиной волны 532 нм; CCD-камеры; блока синхронизации; программного обеспечения по обработке изображений (алгоритмы авто- и кросс-корреляции).

Приведены результаты исследований по настройке и тестированию измерительной системы в различных экспериментах. Выполнены опыты по регистрации отраженного света от поверхности вращающегося диска с известной частотой вращения. Получены поля скоростей жидкости в кювете лазера на красителе, через которую прокачивалась вода с примесью частиц оргстекла (диаметр 50-200 мкм, плотность 1.2 кг/см<sup>3</sup>). Представлены результаты экспериментов на модельной аэродинамической установке для тестирования термоанемометров «DISA calibration unit type 55a60». В данных опытах в качестве «засеивающего» устройства использовался источник дыма (размер частиц 0.25-60 мкм). С помощью метода PIV получены поля скоростей однородного потока, и проведено сравнение с результатами, полученными другими методами (ЛДА, трубка Пито). Проведены эксперименты и получены поля скоростей (до 100 м/с) при обтекании модельных объектов (шар, плоская преграда), помещенных в камеру Эйфеля.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности успешного применения PIV диагностики в жидких средах и дозвуковых газовых потоках.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.М. Бойко

## **ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ФОРМУ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОЛОСТЯХ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ**

Д.А. Дудин

Новосибирский государственный университет

Конвекция Рэлея-Бенара является универсальной моделью для описания различных природных и техногенных процессов. Теоретические исследования проводились в основном в приближении бесконечного равномерно подогреваемого снизу слоя жидкости. В реальном эксперименте слой жидкости всегда имеет ограниченные размеры по горизонтали. При этом вопрос о влиянии этих размеров на структуру течения изучен достаточно слабо. В таком слое при увеличении градиента температуры происходит последовательное усложнение структуры течения от двумерных валов до развитого турбулентного течения. Ранее в работах, выполненных в ИТ СО РАН, было показано, что пространственно-временные характеристики течения имеют чёткую корреляцию с тепловым потоком, протекающим через слой. Форма возникающего течения и её эволюция сильно зависят от условий на горизонтальных границах и размеров полости, ограничивающей слой. Важными параметрами, определяющими задачу, являются числа  $Pr$  и  $Ra$ , а также относительные размеры слоя жидкости  $\Gamma = \Gamma_x \cdot \Gamma_y = (L/H) \cdot (D/H)$ , где  $L$  и  $D$  – горизонтальные размеры слоя, а  $H$  – его высота. Исследования проводились в слоях этилового спирта ( $Pr \sim 15$ ), ограниченных рамками из оргстекла по периметру. Использовались ячейки с горизонтальными размерами, соответствующими значениями  $\Gamma = 2, 3, 6, 10$  в диапазоне чисел  $Ra$  от  $10^3$  до  $10^5$ . Нижняя жёсткая граница во всех экспериментах была изготовлена из меди и поддерживалась при постоянной температуре при помощи электронного регулятора. Верхняя граница была как жёсткой стеклянной, так и свободной (паровоздушные прослойки различной толщины). Температура верхней границы поддерживалась постоянной при помощи прокачки термостатированной воды через прозрачный теплообменник. Течение визуализированной жидкости снималось на цифровую видеокамеру. Было обнаружено стабилизирующее влияние боковых стенок на структуру течения в узких полостях. При этом вид течения в

различных полостях при одинаковом числе Рэлея, но различных значениях параметра  $\Gamma$ , может сильно различаться. Получены видеоизображения периодических структур течения и их эволюция с ростом числа Рэлея в зависимости от параметра  $\Gamma$ . Проведено сравнение процессов самоорганизации течения из шума и из индуцированного начального течения.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.С. Бердников

## **ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЛЯ ТОЛЩИН ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ НА ВРАЩАЮЩЕМСЯ ДИСКЕ**

И.А. Елисеев, И.К. Кабардин  
Новосибирский государственный университет

Изучение процесса течения пленки жидкости по поверхности вращающегося диска является актуальной задачей. Необходимость изучения пленочных течений жидкости на вращающихся поверхностях возникает при проектировании турбомашин, различных технологических аппаратов, в других областях науки техники.

В работе описывается фотометрический метод диагностики поля толщины пленки жидкости на вращающемся диске. Метод основан на поглощении света веществом, растворенным в текущей жидкости. Интенсивность проходящего через вещество света изменяется по экспоненциальному закону. Зная интенсивность прошедшего света, можно найти толщину поглощающего слоя в каждой точке по формуле:

$$h(x) = \frac{1}{k} \ln \frac{I_0(x)}{I(x) - b},$$

где  $h$  – толщина слоя,  $k$  – коэффициент ослабления,  $x$  - пространственная координата,  $I_0$ ,  $I$  - интенсивность светового потока до и после ослабления пленкой соответственно. Основными преимуществами метода являются бесконтактность и высокая частота измерений (30 – 2000 кадров/с) поля толщин пленки жидкости, определяемая применяемой камерой.

Фотометрический метод диагностики поля толщин пленки жидкости успешно реализован в опытной измерительной установке. Проведена калибровка метода, показано, что погрешность измерения не превышает 5%. Показана применимость метода на практике на примере изучения пленки жидкости, движущейся по поверхности вращающегося диска. В качестве рабочей жидкости использовался водный раствор перманганата калия. Выполнена визуализация течения и построен профиль поверхности пленки жидкости на вращающемся диске. Показано, что фотометрический

метод диагностики поля толщин пленки жидкости перспективен для использования в составе измерительных комплексов для бесконтактной диагностики жидкостных потоков.

---

I. Leneweit G., Roesner R.G., Koehler R. Surface instabilities of thin liquid film on a rotating disk. *Experiments in Fluids* 26 (1999). 75-85.

Научный руководитель – д-р техн. наук В.Г. Меледин

**ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА  
В ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН:  
АРРЕНИУСОВСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ КОНСТАНТЫ  
СКОРОСТИ, КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ  
ПРОДУКТОВ АБЛЯЦИИ**

Л. А. Захаров  
Новосибирский государственный университет

Воздействие лазерного излучения на полимерные материалы в последние годы представляет все больший интерес для прикладных и фундаментальных исследований. Импульсная лазерная абляция полимеров используется в качестве аналитического инструмента в технике MALDI, в целях модификации поверхности с формированием периодических структур, для напыления полимерных пленок и др.; при этом важным аспектом является процесс полимеризации в газовой фазе и на подложке.

В работе представлена теоретическая модель, разработанная для описания испарения полимерных материалов под действием импульсного лазерного излучения. Модель основана на уравнении теплопроводности с объемным источником лазерной энергии в предположении Аррениусовской зависимости скорости деполимеризации от температуры поверхности. В модели учтена зависимость теплоемкости и теплопроводности облучаемого материала от температуры образца. Особое внимание уделено исследованию колебательного возбуждения испаряемых мономеров, являющихся основным продуктом абляции полимеров лазерным излучением в ИК-диапазоне длин волн. Колебательная энергия испаряемых мономеров, которая определяет их реакционную способность в газовой фазе и на подложке при напылении, определялась вычислением теплоемкости мономера по его колебательному спектру в зависимости от температуры поверхности в момент испарения.

С помощью модели выполнено численное моделирование воздействия импульса CO<sub>2</sub>-лазера (длина волны 9,17 мкм) на мишень из полиметилме-

такрилата (ПММА) в диапазоне интенсивностей импульса 4-10 Дж/см<sup>2</sup>. Показано, что при увеличении интенсивности лазерного излучения полная энергия молекул ММА в момент испарения (сумма колебательной, вращательной и поступательной энергий) в процессе действия импульса (~1мкс) возрастает от 1,27eV при 4 Дж/см<sup>2</sup> до 2,37eV при 10 Дж/см<sup>2</sup>, что должно обуславливать активную полимеризацию продуктов абляции при их конденсации в капли и/или на подложке. Испарение полимера продолжается в течение нескольких миллисекунд после воздействия лазерного импульса, и энергия последних испаренных мономеров составляет ~0,85eV независимо от энергии импульса.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Н.М.Булгакова.

## СОПРЯЖЕННАЯ ЗАДАЧА ОБ АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ НАГРЕВЕ ЗАТУПЛЕННОГО ТЕЛА

А.С. Ильина

Томский государственный университет

При рассмотрении обтекания тела потоком газа с высокой температурой возникает необходимость в решении сопряженной задачи. Тепловой поток к телу зависит от температуры поверхности и вдува продуктов разложения в пограничный слой. Эти параметры, в свою очередь, определяются тепловым потоком [1,2].

Рассмотрена задача сопряженного теплообмена осесимметричного затупленного тела с ламинарным пограничным слоем в окрестности оси симметрии. Задача в газовой фазе сводится к решению уравнений сжимаемого пограничного слоя; в твердом теле – к решению нестационарного уравнения теплопроводности. Эти задачи связаны граничным условием 4-го рода.

Для решения поставленной задачи используется численный метод И.В. Петухова [3], имеющий 4-й порядок аппроксимации по пространственной координате, а также его модификация для уравнения 2-го порядка [4]. Для нестационарного уравнения теплопроводности используется неявная разностная схема. Разработан специальный алгоритм решения разностных уравнений, не требующий итераций для удовлетворения граничного условия 4-го рода. Для решения поставленной задачи написана программа в среде Delphi 7. Получены результаты, проведен их анализ, проведено сравнение с решением в несопряженной постановке.

---

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М. Высшая школа. 1967.

2. Гришин А.М., Фомин В.М. Сопряженные и нестационарные задачи механики реагирующих сред. – Новосибирск. 1984.

3. Петухов И.В. В сб.: Численные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений и квадратурные формулы. - Москва, 1994.

4. Гольдин В.Д., Ёркина Е.В. В сб.: Исследования по баллистике и смежным вопросам механики. – 2001. – Вып. 4.

Научный руководитель – В.Д. Гольдин

## **ИЗУЧЕНИЕ ПЛЕНОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА**

И.К. Кабардин, И.А. Елисеев  
Новосибирский государственный университет

Экспериментальные исследования поведения пленок жидкости на вращающихся поверхностях важны для фундаментальной науки и для создания новейших турбомашин, технологических аппаратов и других приложений. Частным случаем такого рода течений является течение пленки жидкости по поверхности плоского вращающегося диска. Оно возникает, например, в технологическом процессе получения металлических порошков центробежным способом и при производстве базальтового и стекловолокна.

В работе экспериментально исследован процесс течения пленки жидкости по поверхности плоского диска, вращающегося с постоянной угловой скоростью. На стеклянный диск через сопло подавалась вода из бака. В центре вращающегося с постоянной частотой плоского диска располагался точечный источник жидкости с постоянным объемным расходом. Визуализация течения была выполнена оригинальным теневым методом с использованием офисного LCD-проектора. Свет проектора, отраженный от поверхности пленки, формировал на экране теневую картину. Теневая картина течения на экране регистрировалась цифровым фотоаппаратом и программно обрабатывалась на компьютере. Частота вращения диска контролировалась с помощью герконового датчика и периодамера.

В ходе проведения эксперимента зарегистрированы три различных режима течения пленки жидкости по вращающемуся диску: невозмущенное течение, течение с образованием концентрических волн и течение с образованием спиральных волн. Построена карта течений. Установлено, что спиральные волны неподвижны в лабораторной системе отсчета. Установка отличается своей простотой и дешевизной элементов. Созданная экспериментальная установка позволяет исследовать волновые режимы пленоч-

ных течений жидкостей по поверхности вращающегося диска в широком диапазоне параметров.

1. Алексеенко С.В., Накоряков В.Е., Покусаев Б.Г. Волновое течение пленок жидкости / Новосибирск: Наука. - 1992. 255с.
2. Lenewit G., Roesner R.G., Koehler R. Surface instabilities of thin liquid film on a rotating disk/ Experiments in Fluids - 1999, №26, p75-85.

Научный руководитель – д-р техн. наук, с.н.с. В.Г. Меледин

## **ДИНАМИКА ПЛОТНОСТИ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ НАСЫПНЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА**

А.О. Кашкаров

Новосибирский государственный университет

Приводится описание и результаты применения методики рентгеновской томографии для определения распределения плотности в высокоскоростных течениях. Методика основана на определении плотности по ослаблению прошедшего через образец излучения предполагая цилиндрическую симметрию образца. Эксперименты проводились в Сибирском международном центре синхротронного излучения Института ядерной физики СО РАН, Новосибирск.

Представлены результаты экспериментов по определению динамики плотности при иницировании зарядов насыпного тэна в непрочной оболочке с размером частиц 100-300 мкм. Диаметр зарядов составлял 16 мм. Исследуемый заряд иницировался потоком горячих газов от взрыва специальной навески взрывчатого вещества. Иницирующее динамическое давление менее 200 бар.

Распространение волны иницирования представлено в виде профиля волны уплотнения вдоль заряда и распределения плотности от времени в радиальном срезе на фиксированных расстояниях от плоскости иницирования. Представлена динамика кривизны фронта от момента иницирования до перехода к стационарной детонации.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук. Э.Р. Прууэл

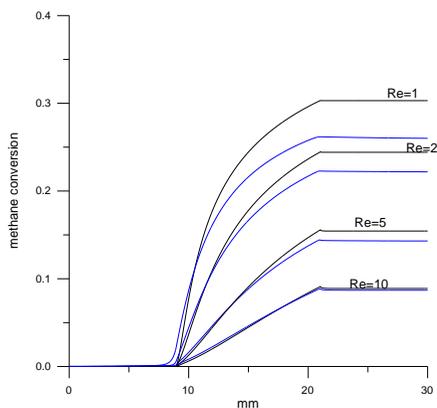
# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ЭЛЕМЕНТЕ МИКРОКАНАЛЬНОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

С. П. Козлов

Новосибирский Государственный Университет

Химические процессы, связанные с протеканием каталитических реакций, в настоящее время широко распространены в современной промышленности. К таким процессам, например, можно отнести паровой риформинг метана или его неполное каталитическое окисление для получения водородсодержащей смеси. Для интенсификации химических превращений и уменьшения размеров реакторов в последнее время применяется микроканальная технология. В настоящей работе моделируются химические

превращения газовой смеси с активацией реакции на стенке, на примере парового риформинга метана, в двумерном микроканале. Рассчитывается зависимость степени конверсии метана от ширины канала, скорости потока смеси и теплового потока подводимого на стенки реактора, с целью выяснения влияния различных параметров на эффективность работы реактора. Для проведения расчетов написана программа, моделирующая каталитический паровой риформинг метана в узкой



щели на основе решения системы стационарных двумерных уравнений Навье Стокса. Проведено сравнение результатов расчетов на основе полной системы уравнений Навье Стокса с результатами расчета на основе уравнений, записанных в приближении пограничного слоя. Получен диапазон чисел Рейнольдса, в котором могут применяться эти уравнения

Рис. 1. Сравнение результатов расчета решения полной системы уравнений Навье Стокса (синий цвет) с результатами полученными в приближении пограничного слоя (черный цвет)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, В.В. Кузнецов

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ГИПЕРЗВУКОВОМ ПОТОКЕ С УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

И.А.Козулин

Новосибирский государственный университет

В настоящее время предпринимаются попытки управления восприимчивостью и развитием возмущений в гиперзвуковом пограничном слое с целью контроля над процессами ламинарно-турбулентного перехода на поверхности летательных аппаратов. Важную роль в реализации идеи управления отводится изучению восприимчивости и пространственной структуры возмущений, возникающих за ударной волной под воздействием акустических волн внешнего потока и излучаемых с поверхности модели [1]. Данная работа посвящена изучению процесса взаимодействия акустических волн с головной ударной волной и взаимодействию возмущений, возникающих за ней, в рамках задачи управления интенсивностью пульсаций в ударном слое. Эксперименты были выполнены в гиперзвуковой азотной аэродинамической трубе Т-327А Института теоретической и прикладной механики СО РАН для следующих условий: число Маха  $M_\infty=21$ ; единичное число Рейнольдса  $Re_{1,0}=6 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ ; температура торможения  $T_0=1200\text{К}$ . Измерения проводились в ударном слое на пластине под нулевым углом атаки и за прямым скачком. В набегающий гиперзвуковой поток вводились контролируемые периодические акустические возмущения с помощью искрового разряда в форкамере сопла, возмущения с поверхности пластины вводились кососрезным газодинамическим свистком. Измерения выполнены методом электронно-пучковой флюоресценции азота.

Показана возможность подавления пульсаций плотности в ударном слое, генерируемых внешними акустическими волнами, с помощью возмущений, генерируемых свистком, при соответствующем подборе их амплитуды и фазы. Результаты сопоставлены с данными прямого численного моделирования. Получены коэффициенты преобразования акустических возмущений на ударной волне, которые сопоставлены с данными аналитических и численных расчетов.

---

1.Мионов С.Г., Цырюльников И.С. Экспериментальное исследование развития периодических контролируемых возмущений в гиперзвуковом вязком ударном слое на пластине. // Теплофизика и аэромеханика. 2006. Т. 13, №3. С. 353-360.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С.Г. Мионов

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КРЫЛА НА СВОЙСТВА ОТРЫВНОГО ТЕЧЕНИЯ

А.В. Крюков

Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время ведутся активные разработки в области исследования малоразмерных летательных аппаратов (МЛА). В результате развития микроэлектронных технологий появилась возможность изготовления беспилотных летательных аппаратов размером с птицу и даже с большое насекомое. Необходимость в таких аппаратах стоит достаточно остро, поскольку они являются незаменимыми помощниками в ведении разведывательных, спасательных и многих других видах работ в труднодоступных и опасных для жизни и здоровья человека местах. Одна из проблем связанных с созданием летательных аппаратов данного типа – это особенность обтекания поверхности при малых числах Рейнольдса ( $Re < 5 \cdot 10^5$ ). В недавних экспериментальных работах предыдущих исследователей было показано, что при отрыве двумерного потока на прямом крыле течение позади линии отрыва является трехмерным. В работах [1] было экспериментально показано, что при числах  $Re < 5 \cdot 10^5$  крылья с волнистой поверхностью имеют лучшие аэродинамические характеристики, чем крылья с гладкой поверхностью. Это выражается в значительном увеличении устойчивости аппарата от срыва потока на за критических углах атаки, и как следствие существенном увеличении рабочих диапазонов углов атаки.

Целью данной работы были поиски параметров волнистости поверхности крыла которые бы давали наибольшее преимущество в аэродинамических характеристиках крыла. С другой стороны проводился поиск конструктивно простого способа создания волнистости на поверхности крыла. В работе было рассмотрено различное положение участков с волнистой поверхностью по хорде и по размаху крыла. Проведена сажемасляная визуализация позволившая выявить структуру течения в пограничном слое на экспериментальных моделях. Сделана серия весовых измерений на модели крыла с большим удлинением, которые показали эффективность предложенной конфигурации волнистой поверхности.

Научный руководитель – канд. техн. наук И.Д. Зверков

---

<sup>1</sup> Зверков И.Д., Занин Б.Ю. Влияние формы поверхности крыла на отрыв потока // Теплофизика и аэромеханика.– 2003. – Т. 10, № 2. – С. 205 – 213.

# ПРОТИВОГРАДИЕНТНЫЙ ПЕРЕНОС ТЕПЛА В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НАД ШЕРОХОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А. В. Лончаков

Новосибирский государственный университет

Нелокальность механизма турбулентного переноса тепла в атмосферном пограничном слое над шероховатой поверхностью проявляется в виде ограниченных зон противогradientного переноса тепла, которые фиксируются измерениями самолетной лаборатории в нижней атмосфере. Под этим обычно понимается, что если определять процесс переноса тепла gradientным выражением  $\langle w\theta \rangle = -K_H (\partial\Theta / \partial z)$ , коэффициент турбулентной диффузии тепла становится отрицательным и такая модель 'gradientной диффузии' оказывается физически некорректной. Для возможности использования gradientной модели диффузии тепла в [1] был предложен ее модифицированный вариант:  $\langle w\theta \rangle = -K_H (\partial\Theta / \partial z - \gamma_c)$ , где  $\gamma_c$  - так называемый 'противогradient', положительно определенный полуэмпирический параметр.

В [2] развита улучшенная мезомасштабная модель городского пограничного слоя с определением турбулентных потоков импульса и тепла с помощью полностью явных анизотропных выражений. 'Противогradient'  $\gamma_c$  определяется тремя искомыми параметрами модели: кинетической энергией турбулентности, ее спектральным расходом и дисперсией температурных флуктуаций. В докладе приведены результаты, показывающие, что диагностически вычисленные по 'стандартным' gradientным аппроксимациям коэффициенты турбулентного переноса импульса и тепла  $K_M \equiv -\langle uw \rangle (\partial U / \partial z)$  и  $K_H \equiv -\langle w\theta \rangle (\partial\Theta / \partial z)$  имеют отрицательные значения в локальных областях пограничного слоя. Этот результат указывает на недостаточность, используемых на практике, K-теорий турбулентного переноса ( $k - \varepsilon$  моделей турбулентности).

---

1. Deardorff J. W. The Counter-Gradient Heat-Flux in the Lower Atmosphere and in the Laboratory. J. Atmos. Sci. 1966. Vol. 23. No. 5. P. 503–506.

2. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. Трехпараметрическая модель турбулентности для атмосферного пограничного слоя над урбанизированной поверхностью. Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 4. С. 476–494.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А. Ф. Курбацкий

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОТРУБОК КАК ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИСТОЧНИКОВ ТОЧЕЧНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Р.С. Матвиенко

Новосибирский государственный университет

Термоанемометрия длительное время используется для определения различных параметров потоков газа и жидкости. Целью данной работы было изучение возможности использования полупроводниковых микротрубок в качестве датчиков термоанемометра постоянного напряжения. Актуальность работы обусловлена преимуществом микротрубок по сравнению с используемыми в настоящее время проволочными датчиками, для исследования скорости воздушного потока в пограничном слое, и её пульсаций [1]. Данное преимущество обусловлено меньшей массой микротрубок относительно проволочек, при равных размерах. И как следствие, уменьшение времени отклика, что в свою очередь даёт возможность увеличить максимальную частоту возмущений, которую датчик способен детектировать. По тем же причинам, перспективным направлением является использование микротрубок для внесения в поток высокочастотных пульсаций. Существенным преимуществом технологии изготовления трубчатых датчиков термоанемометров является их массовое производство в едином технологическом процессе [2], что делает их себестоимость значительно дешевле по сравнению с используемыми в мире методами для изготовления стандартных проволочных анемометров. В ходе измерений получены профили скорости воздушного потока над моделью. Измерены амплитудные и фазовые зависимости переносимых воздушным потоком возмущений. Исследована возможность внесения этих изменений при помощи импульсного нагрева трубчатого датчика. Проведены исследования возможности работы системы при различных частотах (до 1000Гц). Скорость потока в трубе измерена при помощи: трубки пито, напряжения на датчике ТПС, эффекта изменения фазы переносимых потоком колебаний с расстоянием и пространственно корреляционного метода.

---

1. Shpiyuk A.N., Aniskin V.M., Maslov A.A., Prinz V.Ya., Seleznev V.A.

Nano-fabricated nanotubes for flow measurements // AIAA P. 2005-1212

2. Prinz V.Ya. And others «Precise semiconductor nanotubes and nanoshells fabricated on (110) and (111) Si and GaAs» PHYSICA E:7168.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук А.Н. Шиплюк

# САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ НА ДИАФРАГМЕННЫХ КОНЦЕНТРАТОРАХ ТОКА В ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Р.Н. Медведев

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

В работе исследовался эффект самосинхронизации автоколебаний тока на параллельно подключенных концентраторах [1], располагающихся в 5% растворе NaCl. В качестве концентраторов тока были использованы отверстия ( $d=100 - 600$  мкм) в тонких (20 мкм) диэлектрических диафрагмах (тефлон). Показано, что автоколебания тока [1] на концентраторах происходят независимо друг от друга, если в разрядной электрической цепи отсутствует индуктивность (т.е. пренебрежимо мала). При подключении в разрядную цепь индуктивности (последовательно), происходит взаимная синхронизация автоколебаний тока. Синхронизация исследовалась в диапазоне размеров отверстий от 100 до 600 мкм и при относительной дисперсии по размерам до 0,26. Количество концентраторов варьировалось от 2 до 16. В экспериментах использовались индуктивности 50-7700 мкГн. Собственная индуктивность установки – 3мкГн.

На основе экспериментальных результатов работы представлена модель механизма самосинхронизации автоколебаний [2]. Также исследованы зависимости индуктивности, требуемой для обеспечения самосинхронизации, от размеров отверстий и от их разброса. Показано, что наличие индуктивности не влияет на параметры автоколебаний (период и ширина импульса) в случае с одним концентратором тока.

В результате работы показано, что для создания акустических генераторов на основе многоочаговых автоколебаний можно использовать концентраторы с большим относительным разбросом по размерам (до 26%), тем самым, облегчая технологию их изготовления [1].

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ 06-02-17453.

---

1. В. С. Тесленко, Г. Н. Санкин, А. П. Дрожжин. Электродинамический автоколебательный эффект на множественных концентраторах тока. Динамика сплошной среды. 2005. Выпуск 123

2. Пиковский А., Розенблом М., Куртис Ю., Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. Из-во “Техносфера”, М-2003, 496с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С.Е. Ждан

# ЛИНЕЙНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ГЁРТЛЕРА

Д.А. Мищенко

Новосибирский государственный университет

В рамках этой работы, впервые проведено прямое количественное сопоставление всех экспериментальных и теоретических (рассчитанных по линейной параллельной и непараллельной теории) характеристик линейной устойчивости пограничного слоя, как к стационарным (в квазистационарном режиме), так и к существенно нестационарным вихрям Гёртлера.

Эксперименты проведены при скорости потока 9,18 м/с в пограничном слое типа Блазиуса на вогнутой стенке с радиусом кривизны 8,37 м. Результаты получены в диапазонах: чисел Гёртлера от 10 до 17, поперечных волновых параметров  $\Lambda = (U_e \lambda_z / \nu)(\lambda_z / R)^{1/2} = 775, 274$  и 149 (соответствующим наиболее опасным возмущениям), чисел Срухала от 0.000074 до 0.004. Найдено, что вне ближнего поля источника, возбуждаемые возмущения представляют собой первую гёртлеровскую моду. Для всех исследованных режимов впервые получено хорошее количественное согласование экспериментальных и теоретических инкрементов, а также всех других характеристик линейной устойчивости, включая фазовые скорости и собственные функции. Найдено, что нелокальная непараллельная теория лучше согласуется с экспериментом, чем локально-параллельная. Обнаружено, что инкременты возмущений падают с частотой, но в области низких частот это падение незначительно. Фазовая скорость вихрей Гёртлера близка к 0,65 от скорости потока и слабо зависит от параметров задачи. Амплитудные профили собственных функций имеют максимум в критическом слое и консервативную форму практически независящую от параметров задачи. Фазовые профили практически линейно убывают с ростом расстояния от стенки и существенно зависят только от частоты (и практически пропорциональны ей). Выявлено, что нестационарные вихри, соответствующие первой гёртлеровской моде, наклонены к стенке и на высоких частотах образуют два и более противовращающихся вихревых слоя. Рассчитанные диаграммы устойчивости показали, что неустойчивость существенно меняется с частотой, с распадом области неустойчивости на 3 домена на высоких частотах. Для нестационарных возмущений обнаружена парадоксальная возможность стабилизирующего влияния роста числа Гёртлера.

Работа поддержана РФФИ (грант № 06-01-00519).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.С. Качанов.

## ТЕПЛООБМЕН В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУЕ, НАТЕКАЮЩЕЙ НА ПРЕГРАДУ

А.С. Небучинов

Новосибирский государственный университет

Целью данной работы является изучение нестационарного теплообмена в пристенной части осесимметричной импактной струи, а так же исследования механизмов усиления и ослабления теплообмена при воздействии на струю внешним периодическим возмущением.

Высокая интенсивность теплообмена при струйном обдуве и относительно небольшая затрата мощности на его осуществление, простота и гибкость управления этим процессом возможность достижения интенсификации только теплоотдачи только на отдельных, локальных участках поверхности – всё это обеспечивает преимущества струйного обдува по отношению к другим способам интенсификации теплообмена. Теплоотдача в импактных струях полностью определяется гидродинамикой потока, влияние когерентных структур и отрывных течений в пристенной области очень велико. Путем внесения в поток малых периодических возмущений можно влиять на процесс теплообмена и управлять им.

В работе было проведено экспериментальное исследования теплообмена в импактной турбулентной струе при помощи комбинации методов PIV (Particle Image Velocimetry) и метода PLIF (Planar Laser-Induced Fluorescence), позволяющая измерять одновременно мгновенную скорость и температуру в сечении потока жидкости. PLIF - основанный на флуоресценции, бесконтактный оптический метод измерения полей концентрации и температуры в жидкости. Измерения возможны благодаря взаимосвязи между интенсивностью флуоресценции и температуры. Метод PIV основан на измерении перемещения взвешенных в потоке частиц, дважды освещенных лазером с известным интервалом времени.

В работе были проведены измерения полей скорости и полей температуры в осесимметричной турбулентной струе воды, натекающей на нагреваемую поверхность. Результатом эксперимента являются измеренные одновременно мгновенные поля скорости и поля температуры. Показано, что в области критической точки существует отрыв потока, индуцированный крупномасштабными вихрями, натекающими на стенку. Отрыв приводит к увеличению потока тепла и утолщению температурного пограничного слоя. Зафиксированы мгновенные и осредненные величины, демонстрирующие связь турбулентных характеристик потока с процессами уноса тепла от стенки.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А.В. Бильский

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ГАЗА В НАНО- И МИКРОКАНАЛАХ

М.С. Ожгибесов

Новосибирский государственный технический университет

На сегодняшний день в мире идут активные исследования движения частиц в каналах сверхмалых диаметров. Данные разработки смогут найти широкое применение в различных отраслях науки и промышленности, например производстве микроэлектроники, использование механизма осаждение веществ из газовой фазы в микро каналы, в химической промышленности встал вопрос селекции газов, например отбор гелия из природного газа.

В данной работе при помощи метода молекулярной динамики произведено исследование потоков газа в наноканале с радиусом от 50 до 1000 ангстрем и длиной от 50 до 5000 ангстрем.

Для модели взаимодействия частиц в канале использовался одноатомный газ Аргон, выбор не случаен, а продиктован тем, что газ одноатомный и его свойства хорошо изучены.

Для моделирования попадания атомов в канал использовался метод Монте-Карло. За основу взято распределение атомов в пучке при условии, что распределение атомов в емкости описывается распределением Максвелла. Взаимодействие атомов между собой и стенкой описывается потенциалом Леннарда-Джонса. Исследуемый канал имеет круглое сечение и в первом приближении не учитывались внутренние степени свободы стенок канала. Взаимодействие атомов аргона со стенками канала описывается отталкивательной ветвью потенциала Леннарда-Джонса.

Произведено сравнение с результатами молекулярно кинетической теории.

Показаны пределы возможности использования модели молекулярно кинетической теории для описания движения частиц через канал.

Проведены расчеты при истечении из емкости смеси газов через наноканал, обнаружен эффект инверсной селекции.

Научный руководитель – канд. физ. наук, доц. И.Ф. Головнев

## УПРАВЛЕНИЕ ОБТЕКАНИЕМ МОДЕЛИ КРЫЛА С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНОГО ВДУВА ВОЗДУХА

А. М. Павленко

Новосибирский государственный университет

Важной задачей при исследовании отрывных течений является поиск наиболее эффективных способов управления их структурой с целью улучшения аэродинамики крыла. Один из таких способов заключается в воздействии на отрывное течение внешними акустическими возмущениями малой амплитуды. Другим способом управления отрывом является использование стационарных источников возмущений типа турбулизаторов, неровностей, выступов различной формы, помещённых вблизи передней кромки крыла.

В данной работе приведены результаты исследования по воздействию локального вдува на срыв потока на модели крыла. Использовалась модель крыла с хордой, равной 102 мм и размахом 200 мм. Эксперименты проводились в дозвуковой аэродинамической трубе МТ-324 института теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск. Данная установка представляет собой аэродинамическую трубу открытого типа. Корпус трубы изготовлен из дерева. Поток воздуха подаётся с помощью вентилятора, приводимого в движение от электродвигателя. Степень турбулентности свободного потока в аэродинамической трубе около 0,4%. В открытую рабочую часть помещалась модель крыла. На крыле имелось отверстие, через которое подавался воздух (локальный вдув). Проводилось несколько серий экспериментов при разных углах атаки, с вдувом и без него. В экспериментах была проведена визуализация картин течения на поверхности прямого крыла методом «саже-масляного» покрытия, представляющего собой смесь керосина с порошком двуокиси титана.

Было установлено, что точечное воздействие локального вдува на модели крыла может влиять на срыв потока, вплоть до его полного устранения, и тем самым может быть применено для управления обтеканием. При больших углах атаки более чем 14 градусов нельзя присоединить поток с помощью локального вдува.

---

Работа поддержана грантом Министерства образования и науки РФ № РНП. 2.1.2.3370

Научный руководитель - д-р тех. наук, Занин Борис Юрьевич

# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГАЗОНАСЫЩЕННОЙ ИМПАКТНОЙ СТРУИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

К.С. Первунин

Новосибирский государственный университет

В работе предложен новый оптический метод измерения характеристик газо-жидкостных потоков, основанный на подходе Planar Laser-Induced Fluorescence (PLIF). Суть метода заключается в добавлении флуоресцентного красителя в жидкость. При прохождении лазерного ножа через исследуемое сечение потока краситель излучает как плоскость малой толщины. Пузыри, находящиеся в непосредственной близости от плоскости, отражают и преломляют свет, излученный красителем, формируя яркое кольцо на изображении камеры. Применение оптического фильтра позволяет регистрировать излучение красителя, подавляя излучение лазера, сопровождающееся яркими бликами.

Разработаны комплексные алгоритмы анализа изображений на основе процедур фильтрации, бинаризации, определения размеров образов пузырей и сортировки их по размерам. В комбинации с подходами Particle Image Velocimetry (PIV) и Particle Tracking Velocimetry (PTV) предложенный метод позволяет одновременно измерять мгновенные пространственные распределения скорости непрерывной фазы и размеры, положения и скорости частиц дисперсной фазы.

Калибровка нового метода проведена в ходе тестовых измерений для одиночно всплывающих пузырей, и результаты измерений сопоставлены с результатами применения теневой методики. Показано, что при фиксированном значении порога бинаризации толщина области идентификации пузырей для теневой методики пропорциональна значению глубины резкости объектива, а для предложенного метода является почти постоянной.

Разработанный метод применен для исследования гидродинамической структуры однофазной и газонасыщенной (объемное газосодержание 3%) импактных струй. В результате впервые рассчитаны пространственные распределения статистических моментов пульсаций скорости жидкости, скорости пузырей и локального газосодержания (до третьих моментов включительно), в том числе и смешанные корреляции. Проведено сравнение пространственных распределений моментов скорости жидкости для однофазного и двухфазного потоков. Для выбранного сечения однофазной и газонасыщенной импактных струй показано, что присутствие газовой фазы оказывает существенное воздействие на турбулентную структуру

импактной струи и приводит к значительно меньшей интенсивности турбулентных пульсаций.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Д.М. Маркович

## КОНДЕНСАЦИЯ ПАРА НА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ РЕБРАХ

Д. П. Родионова

Новосибирский государственный университет

Использование оребренных поверхностей в конденсаторах существенно увеличивает интенсивность процесса конденсации.

В данной работе рассматривается установившийся процесс пленочной конденсации неподвижного пара на криволинейном ребре с непостоянной вдоль поверхности ребра температурой в условиях значительного влияния капиллярных сил. Оптимизация формы ребра, которое рассматривается в данной работе, была выполнена в [1]. Целью данной работы является исследование влияния сил Ван-дер-Ваальса (в связи с тем, что толщина пленки конденсата на вершине ребра порядка  $10^{-6}$  м и, поэтому, возможно влияние межмолекулярных сил) и кривизны пленки конденсата в канавке (физический смысл которой - есть давление отсоса конденсата) на интенсивность теплообмена. Была сделана постановка задачи конденсации на ребре с учетом сил Ван-дер-Ваальса и написана программа для расчета. В ходе вычислений было произведено исследование влияния кривизны пленки конденсата в межреберной впадине на вычисляемые величины (расход, толщину пленки конденсата, ее производные).

Результаты расчетов показали, что влияние сил Ван-дер-Ваальса незначительно, и в расчетах его можно не учитывать. Изменение давления отсоса конденсата в межреберной впадине существенно меняет толщину пленки конденсата в межреберной впадине и расход конденсата. При увеличении давления в межреберной впадине эффективность ребра значи-

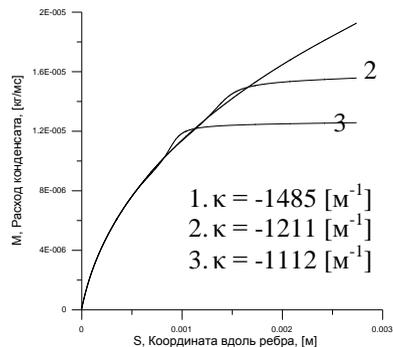


Рис. 1. Расход конденсата вдоль поверхности ребра при разных значениях давления в межреберной впадине

тельно снижается (рис.1).

---

1. И.В. Марчук, А.В. Глушук, О.А. Кабов Конденсация пара на неизо-  
термических криволинейных ребрах.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. И.В. Марчук

## **РАСПРЕДЕЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ МАГНИЯ**

Д.А.Тропин

Новосибирский государственный университет

Во многих областях науки и техники встречаются материалы, которые находятся в дисперсном состоянии, то есть имеют характерный размер от одного до нескольких десятков микрон. Такие мелкие образования привлекают внимание исследователей из-за их потенциальной взрыво- и пожароопасности. На многих промышленных предприятиях, на стенках промышленных устройств встречаются отложения используемых рабочих тел в дисперсном состоянии. При каком либо силовом воздействии на эти слои, например ударноволновом, переходят во взвешенное состояние. В результате может произойти воспламенение смеси с возможным развитием взрывного процесса.

Как правило, ранее используемые математические модели описывали только один экспериментально наблюдаемый параметр: время задержки воспламенения или предельную температуру воспламенения. Модель, представленная в данной работе, описывает оба эти параметра. Действительно, рассмотрим задачу о воспламенении образцов магния, покрытых оксидным слоем. В качестве таких образцов были взяты магниевая пластина, нить, и сферически симметричная частица с характерными размерами  $r_p = 17 \text{ мкм} - 60 \text{ мкм}$ , окруженные слоем газа толщиной  $L = n \cdot r_p$ . Математическая модель, описывающая воспламенение данных образцов представляет из себя уравнения теплопроводности.

Решением этих уравнений в стационарном случае являются константы принадлежащие многообразию катастроф/воспламенений. Это многообразие позволяет определить 3 режима тепловой динамики образцов: воспламенение, нагрев до определенной температуры и погасание.

В нестационарном случае можно определить тепловую историю образцов, то есть изменение температуры этих образцов со временем. На его основе определяются такие величины как предельная температура воспламенения и время задержки воспламенения. В данной работе представлены

рассчитанные по этой модели зависимости времени задержки воспламенения от радиуса образца и температуры окружающего газа и зависимости предельной температуры воспламенения от радиуса образцов и температуры окружающего газа. Сопоставление с экспериментальными данными показало работоспособность модели в исследованном интервале параметров частицы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.В.Федоров

## **ДЕФОРМАЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ КАПЛИ В ПОТОКЕ ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА**

А.С.Усанина

Томский государственный университет

Аэродинамическое дробление капель является одним из наиболее существенных процессов, определяющих распределение по размерам жидкокапельных аэрозолей, играет важную роль в газовой динамике двухфазных потоков. Процессы деформации и дробления в потоке на протяжении многих лет изучались авторами. Обзоры по данной проблеме представлены в [1-3].

Поскольку обратным процессом падения капли является всплытие газового пузырька в жидкости, то эксперименты проводились для второго случая. Экспериментально изучалась деформация одиночного первоначально сферического пузырька газа, движущегося в водно-глицериновом растворе при малых числах Рейнольдса  $Re \approx 1$  в области чисел Бонда близких к  $Bo_* = 22.5$ . Данный диапазон числа Бонда найден теоретически. Целью данной работы является экспериментальное подтверждение существования диапазона числа Бонда  $Bo_* = 22.5$ , в котором пузырек теряет устойчивость и дробится на фрагменты. Установка состоит из кюветы с плоскопараллельными стенками, устройства для получения пузырьков и системы визуализации течения.

Результаты проведенных экспериментов показали, что пузырьки диаметром меньше 8 мм устойчивы и при всплытии сохраняют свою сферическую форму. Соответствующее значение числа Бонда составляет  $Bo = 2.9$ . Пузырек диаметром больше 8 мм неустойчив и при движении деформируется. Значение числа Бонда  $Bo = 2.9$  следует рассматривать как оценку нижней границы устойчивости. Существование данной границы качественно подтверждает полученное теоретическое значение  $Bo_* = 22.5$ .

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 1987.- 464с.

2. Гонор А.Л., Ривкинд В.Я. Динамика капли//Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа. – М.: ВИНТИ, 1982. Т. 17. С. 86-159.

3. Шрайбер А.А. Многофазные полидисперсные течения с переменным фракционным составом дискретных включений //Итоги науки и техники. Комплексные и специальные разделы механики.- М.; ВИНТИ, 1988. Т. 3. С.3-80.

Научный руководитель – проф. В.А.Архипов

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИХРЕВОЙ СТРУКТУРЫ КРУГЛОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА LES**

М.Ю. Хребтов

Новосибирский государственный университет

Представление потока в виде совокупности разномасштабных вихрей делает наглядными основные элементы его структуры и позволяет выявить дополнительные закономерности в происходящих в потоке процессах. Крупные вихревые структуры могут переносить импульс подобно твердым объектам, такие образования оказывают прямое механическое воздействие на движущиеся части установок, крылья самолетов и т.п., что ведет к поломкам и быстрому износу. Поэтому, зачастую, бывает необходимо проследить за образованием и эволюцией крупных вихрей при расчетах турбулентных течений.

В данной работе было проведено исследование нескольких критериев идентификации вихрей для построения наиболее удобного представления вихревой структуры потока несжимаемой жидкости. Были исследованы: Q-критерий [1],  $\square_2$ -критерий[2], и  $\square$ -критерий [2]. Также было проведено исследование поведения минимумов давления, и поведения изоповерхностей модуля завихренности.

Для представления результатов был разработан программный пакет для трехмерной визуализации рассчитываемых полей.

Все исследования проводились на базе пакета LES-моделирования[3] разработанного в ИТ СО РАН. Исследования проводились для хорошо изученного поля скорости свободной турбулентной струи, на расстояниях до 21 калибра.

В качестве исходных данных брались как мгновенные, так и фазово-осредненные поля скорости.

- 
1. Hunt J C R, Wray A A and Moin P 1988 Eddies, stream, and convergence zones in turbulent flows Report CTR-S88, Center For Turbulence Research
  2. Jeong J and Hussain F 1995 On the identification of a vortex J. Fluid Mech. **285** 69–94
  3. Б.Б. Илюшин, Д.В. Красинский Моделирование динамики турбулентной круглой струи методом крупных вихрей // Теплофизика и аэромеханика - 2006, т.13, № 1, с.49-61.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Б.Б. Илюшин

# КВАНТОВАЯ ОПТИКА

## НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ БРОУНОВСКОГО ДВИЖЕНИЯ

С.Б. Аксенов

Новосибирский государственный университет

На основе анализа всей совокупности результатов проведенных ранее исследований, обнаруживающих отклонение от линейного закона броуновского движения единичной частицы в жидкости  $\overline{\Delta Z^2} = 2D\tau$  на временах наблюдения менее  $10^{-3}$  с, был сделан вывод, что физическая природа экспериментально установленного квадратичного закона  $\overline{\Delta Z^2} = 2D\alpha\tau^2$  скрыта в неизвестном механизме взаимодействия отдельного микрообъекта с окружающей средой на малых временных и пространственных масштабах. В связи с этим была высказана гипотеза, что происхождение обнаруженной квадратичности связана с существованием в жидкости нестационарных тепловых, случайным образом распределенных, неоднородностей различного пространственного масштаба. В предложенной концепции беспорядочное движение малой частицы в жидкой среде — есть результат действия знакопеременной силы, пропорциональной локальному градиенту температуры, а длительность силового воздействия определяется характерным временем релаксации тепловых неоднородностей  $\tau_{rel} \sim 1/\alpha$ .

С целью более убедительного экспериментального доказательства существования в любой жидкости мелкомасштабных тепловых неоднородностей дополнительно к имеющемуся высокоразрешающему спектрометру светового рассеяния специально создана лазерная установка, предназначенная для изучения частотно-фазовых флуктуаций когерентного излучения, прошедшего в жидкости достаточно большое расстояние (порядка нескольких метров).

Теоретическими расчетами сделана оценка ожидаемой амплитуды фазовых флуктуаций. Оказалось, что в случае использования воды как объекта исследования с оптической характеристикой  $dn/dT \approx 10^{-4}$  1/град и трассы длиной 1 м уровень фазовых флуктуаций соответствует величине  $\Delta\varphi \sim 10^{-4}$  рад. Несмотря на низкий уровень ожидаемых в эксперименте фазовых флуктуаций, тем не менее, их наличие, связанное с тепловыми ва-

риациями показателя преломления жидкости  $n$ , удалось зарегистрировать уже в первых экспериментах.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В.А. Орлов

## **ФАЗОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОМ УДВОЕНИИ ЧАСТОТЫ ВОЛОКОННОГО ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА**

В.А. Акулов

Новосибирский государственный университет

Волоконные источники лазерного излучения обладают высоким качеством выходного излучения, высокой стабильностью лазера, эффективностью использования накачки. Но практически все волоконные лазеры излучают в инфракрасном диапазоне. Поэтому достаточно актуальна проблема создания на базе волоконных лазеров эффективных источников видимого излучения. К тому же достаточно просто осуществить перестройку частоты волоконного лазера за счет деформации волоконной брэгговской решётки, что позволит создать волоконный перестраиваемый источник видимого излучения.

В работе для удвоения частоты лазера использовались два кристалла КТР со вторым типом синхронизма, длины которых составили 25 мм и 10 мм. При удвоении частоты в однопроходной схеме для длинного кристалла диапазон перестройки лежал в интервале 1080÷1086 нм, для короткого кристалла диапазон перестройки лежал в интервале 1080÷1093 нм.

Для наиболее эффективного преобразования частоты основного излучения во вторую гармонику используют метод внутриврезонаторного удвоения частоты, который и был использован для создания перестраиваемого источника видимого излучения. Для более широкого диапазона перестройки был выбран 10 мм кристалл. В отличие от однопроходной схемы, где мощность второй гармоники плавно уменьшалась с увеличением длины волны, при внутриврезонаторном удвоении наблюдалась дополнительно промодулированная зависимость. В работе [1] говорится, что при внутриврезонаторном удвоении мощность второй гармоники периодически зависит от относительной фазы двух волн, которая меняется за счёт дисперсии воздуха при изменении положения кристалла внутри резонатора. В данной работе наблюдался схожий эффект, но в отличие от работы [1], где менялось положение кристалла, мы изменяли длину волны. Изменение длины волны приводит к изменению длины оптического пути в диспергирующих средах. Для первой и второй гармоники с изменением длины волны их

оптические пути меняются на разные величины. Это приводит к изменению относительной фазы этих волн.

- 
1. С. Zimmermann, R. Kallenbach, T. W. Hansch, Opt. Communications, **71**, 229 (1989).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С.И. Каблуков.

## ПРИНЦИПЫ БРЮЛЛИЭНОВСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Н.В. Дудин, Р.З. Ибрагимов  
Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики

Принцип бриллюэновской рефлектометрии BOTDR заключается в следующем: оптическое излучение длиной волны 1.55 мкм, генерируемое DFB лазером подается на вход тестируемого оптического волокна в виде тестирующего оптического сигнала. Рассеянный и отраженный оптический сигнал, полученный на выходе оптического волокна регистрируется детектором и полученный электрический сигнал поступает на сравнивающее устройство. Тестирующий сигнал модулируется по интенсивности, что позволяет наблюдать серии выходных данных при различном тестирующем сигнале. Изменения частоты пропорционально к продольному натяжению оптического волокна и к температуре окружающей среды. Когда натяжение происходит в продольном направлении оптического волокна, рассеянный свет подвергается изменению частоты, которое находится в прямой зависимости от натяжения. Брюллиэновское изменение частоты - функция натяжения  $\varepsilon$  и может быть представлена выражением:

(6)

$$v_B(\varepsilon) = v_B(0) + \frac{dv_B(\varepsilon)}{d\varepsilon} \varepsilon$$

где  $v_B(\varepsilon)$  бриллюэновское изменение частоты в зависимости от натяжения;  $v_B(0)$  бриллюэновское изменение без натяжения;  $dv_B(\varepsilon)/d\varepsilon$  коэффициент пропорциональности натяжения, что соответствует 0,5 ГГц на длине 1.55 мкм;  $\varepsilon$  – натяжение.

Расстояние  $Z$  от входа в оптическое волокно определяется выражением 7:

$$Z = cT / (2n) \quad (7)$$

где  $c$  скорость света в вакууме;  $n$  показатель прелом-

ления оптического волокна;  $T$  период между источником света и принятым рассеянным светом.

---

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Л.В. Первушина.

## УТОЧНЕННЫЕ ОЦЕНКИ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ПОЛОСЫ, ВЕЛИЧИН КВАНТОВ И ВЕРОЯТНОСТЕЙ АКТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТА ЛЮМИНОФОРАМИ В ОБЛАСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДИСЛОКАЦИЙ

Е.Ю. Зинченко, А.А. Уткина, Е.А. Сураева  
Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарева

В [1] предложена формула (1) для расчета ширины запрещенной полосы  $E_d$ , с точностью до постоянной совпадающая с известным выражением (2) для внутренних напряжений  $\sigma$  в области локализации дислокаций:

$$E_d = E_0 \pm E_1(b/r) \cos\theta; \quad (1) \quad \sigma_d = \sigma_0 \pm G(b/r) \cos\theta; \quad (2)$$

В (1) и (2)  $E_0 = \text{const}$  и  $\sigma_0 \equiv 0$  относятся к бездефектной области,  $b$  – вектор Бюргерса одиночной дислокации,  $r$  – расстояние под углом  $\theta$  в место оценки величин  $E_d$  и  $\sigma$ ,  $E_1 = \hbar/(3ma^2)$  – энергия взаимодействия электрона с колебаниями решетки,  $m$  – масса электрона,  $a$  – по [1] параметр решетки, (указание некорректное, противоречит смыслу величины  $E_1$ , поскольку колебания решетки характеризует не ее параметр  $a$  амплитуда колебаний).  $G$  – модуль сдвига вещества. Знаки «+» и «-» относятся к областям решетки растяжения и сжатия соответственно.

Расчетные кривые  $E_d(r)$  и  $\sigma_d(r)$  совпадают для галофосфатного люминофора с плотностью упаковки 48 атомов в ячейке только для амплитуды колебаний  $A=0,000a$ , и в этом заключается суть уточнений. Логика в том, что параметр решетки близок к амплитуде колебаний только вблизи точки плавления, а люминесценция осуществляется при комнатных температурах. Для люминофоров с другой плотностью упаковки атомов уточнения должны быть другими. При изменении  $E_d(r)$  пропорционально изменяются величины межуровневых энергетических расстояний электронов активаторов, равные величинам энергии излучаемых квантов света  $h\nu_i(r) = h\nu_0 \pm \Delta h\nu_i(r)$ , где  $h\nu_0$  относится к бездефектной области с постоянной шириной запрещенной полосы  $E_0$  на бесконечно большом удалении от места локализации дислокационных линий.

Вероятности актов излучения  $p_i$  по аналогии с другими энерго активными процессами (диффузией, испарения, рекристаллизацией, эмиссией электронной и пр.) определяется экспонентой, в показателе которой

значится соотношение энергий  $p_i = \exp(-(\hbar\nu_i)/(\hbar\nu_0))$  и относится к областям решетки с напряжениями растяжения. Вероятность безызлучательных переходов для областей сжатия определяется как  $p_j = 1 - p_i$ .

---

1. Ансельм А.П. Введение в теорию полупроводников. Мир. 1972. - 386 с.

Научные руководители – д-р техн. наук В.С. Мордюк, канд. физ.-мат. наук Н.П. Тихонова

## О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОЦЕНКАХ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТИ ДИСЛОКАЦИЙ В ЛЮМИНОФОРАХ

Е. Ю. Зинченко, Е.А. Сураева, А.А. Уткина  
Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарева

Знание изменения ширины запрещенной полосы  $E$  и величин квантов излучения  $\hbar\nu_0$  в максимуме спектра при длине волны  $\lambda_0$  позволяет теоретически осуществлять расчет спектральной полосы люминесценции при различных плотностях дислокаций в кристаллах люминофоров по выражению:

$$J_{\lambda} = C\% \cdot \hbar\nu_0 \exp(-\hbar\nu_i(r)/\hbar\nu_0); \quad (1)$$

Множитель перед  $\exp$  выражает физическую сущность процесса, начальное значение и размерность вычисляемой величины, в данном случае интенсивность люминесценции, как произведение концентрации активатора  $C\%$  на величину кванта при постоянной ширине полосы  $E_0$ . Значение экспоненты определяет вероятность осуществления акта излучения при энергии активации  $\hbar\nu_i(r)$ , изменяющейся в зависимости от изменения ширины полосы и расстояния  $r$  от структурного дефекта – дислокации. Некоторая сложность расчетов заключается в том, что при изменении плотности дислокаций и характера их распределения изменяется сам вид спектра излучения и входящие в (1) параметры. В работе [1] на основе виртуального эксперимента показано, что при условии полного отсутствия дислокаций в люминофоре размытый спектр излучения превращается в линейчатый, соответствующий повсеместно постоянной величине полосы  $E_0$ , повсеместно постоянным величинам квантов и вероятностям их свертывания. В то же время расчетным путем показано, что в случае наблюдаемого в электронном микроскопе упругого скопления из 25 дислокаций в частице люминофора размером  $\sim 20$  мкм практически весь ее объем превращается в проводник с полной потерей способности к люминесценции. Расчетные оценки основываются на изменении вида ширины запрещенной

полосы при изменении плотности дислокаций с соответствующими вычислениями входящих в выражение (1) параметров.

1. В.С. Мордюк, В.Н. Молин, Н.П. Тихонова, Д.В. Маскинсков, К, А. Мордюк, Е.Ю. Зинченко. Расчетные оценки предельной световой отдачи люминесцентных ламп за счет совершенствования дефектной структуры люминофоров. «Наука и инновации в Республике Мордовия». Саранск, издательство Мордовского Государственного университета, 2005.- С. 334-336.

Научные руководители – д-р техн. наук В.С. Мордюк, канд. физ.-мат. наук Н.П. Тихонова.

## **ОБ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ**

Е. Ю. Зинченко, И.Ш. Тумпаров  
Мордовский госуниверситет им. Н.П. Огарева

С учетом физики твердых тел представления о люминофорах, как о идеальных диэлектриках с «вкрапленными» активаторами не могут признаваться обоснованными. Реальные диэлектрики и полупроводники правильнее представлять в виде смеси трех различных областей. Вдали от структурных дефектов (дислокаций) эти области действительно могут быть отнесены к разряду идеальных диэлектриков. Области, занятые дислокациями необходимо уже приписывать к проводникам. И, наконец, существуют окружающие дислокационные линии некоторые переходные области, в которых свойства материалов постепенно переходят от проводников к идеальным диэлектрикам.

При теоретическом описании и в расчетных оценках других энергоактивируемых процессов в твердых телах (диффузии, рекристаллизации, испарения, эмиссии и др.) широко используется значение энергии активации. Кажется странным, что в работах по люминесценции это понятие нигде не упоминается. В этом случае элементарные акты излучения квантов света объективно связаны с вероятностью преодоления электронами энергетических барьеров между стабильным и возмущенным энергетическими уровнями электронов в запрещенной полосе. Поэтому люминесценция тоже относится к энергоактивируемым процессам. Некоторое отличие понятия энергии активации элементарных актов люминесценции заключается в том, что она оказывается различной для различных областей кристаллической решетки. В областях растяжения под экстраплоскостью дислокаций ширина запрещенной полосы увеличивается, пропорционально ей увеличивается и энергия активации, как расстояние между стабиль-

ными и возмущенными уровнями электронов. В областях сжатия из-за уменьшения запрещенной полосы энергия активации тоже уменьшается, возмущенные энергетические уровни электронов все больше приближаются к дну зоны проводимости, увеличивается и вероятность их переброса в эту зону с учащающимися актами безызлучающих переходов. И энергия активации и вероятности элементарных актов рекомбинации, конечно, могут быть полезными в теоретических и экспериментальных публикациях по вопросам люминесценции. Тема доклада созвучна национальному проекту «Образование» и актуальной для страны проблеме «Энергосбережение».

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКАНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ ФАБРИ-ПЕРО**

А.А.Иванов<sup>1</sup>, Д.В.Баснак<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский Государственный Университет,

<sup>2</sup> Новосибирский Государственный Технический Университет

Цель исследования - создание экспериментальной схемы и проведение исследований пропускания излучения фемтосекундного лазера интерферометром Фабри-Перо для разработки новых схем прецизионных измерений длины. Широкое распространение в лазерной метрологии в задачах измерения длины получили интерферометры Фабри-Перо. Простота конструкции и высокое качество интерференционной картины являются основными достоинствами данного прибора. Фемтосекундные лазеры, генерирующие периодическую последовательность импульсов, содержит набор эквидистантных частот, которые позволяют измерять абсолютные значения частот от радио до ультрафиолетового диапазона. Фемтосекундные лазеры могут использоваться для измерения длин, что позволяет говорить о возможности создания на их основе единого эталона времени, частоты и длины [1,2].

Экспериментальная установка выполнена на основе CrF лазера на длине волны 1,23 мкм. Длительность импульса 40 фс, ширина спектра 20 нм, диапазон перестройки центральной длины волны 1230-1270 нм, длина резонатора  $150 \pm 0.1$  см. Излучение лазера вводится в интерферометр Фабри – Перо, образованный плоскими зеркалами  $R_1, R_2$  с пропусканием  $\approx 7\%$ .

Для исследования поведения пропускания излучения CrF лазера интерферометром на пьезокерамику, установленную на выходном зеркале интерферометра, подавалось пробное синусоидальное напряжение частоты

той 50 Гц. Регистрация спектра излучения CrF лазера прошедшего через интерферометр выполнялась на осциллографе с последующей цифровой записью результата.

В экспериментах использовались интерферометры с различными базами – 150 см, 75 см и 225 см.

1. Бакланов Е.В., Дмитриев А.К., Квантовая электроника, **32**, 925 (2002).

2. K. Minoshima and H. Matsumoto, APPLIED OPTICS, **39**, 5512, (2000).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, с.н.с. П.В. Покасов

## УМЕНЬШЕНИЕ ДРЕЙФА ЛИНИИ ГЕНЕРАЦИИ НЕПРЕРЫВНОГО ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛИН ВОЛН ИЗЛУЧЕНИЯ

С.Е.Кандрушин

Новосибирский государственный университет

В данной работе представлен новый способ стабилизации частоты лазера с использованием прецизионного измерителя длин волн (ИДВ) излучения. В работе использовались непрерывные одночастотные титан-сапфировый лазер и лазер на красителях и ИДВ Angstrom WS/Ultimate с относительной точностью измерений  $10^{-9}$  и температурной коррекцией показаний.

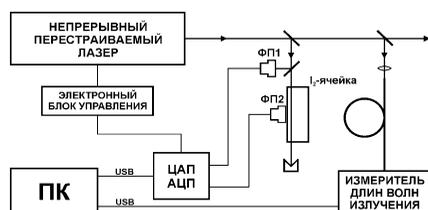


Рис. 1. Блок-схема системы стабилизации частоты.

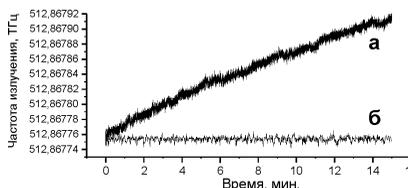


Рис. 2. Зависимость частоты лазера на красителях от времени: (а) Свободный дрейф частоты, (б) Стабилизированная частота.

Блок-схема автоматизированной системы стабилизации частоты с использованием ИДВ представлена на рис. 1. Часть излучения лазера передается в ИДВ по световоду, далее сигнал с ИДВ считывается специальной

программой, разработанной в нашей лаборатории. Эта программа вырабатывает сигнал отработки, который подается на электронный блок лазера, управляющий длиной резонатора с помощью зеркал на пьезоэлементах.

Предложенный метод позволяет, не увеличивая ширину линии излучения, уменьшить дрейф частоты излучения на порядок и даже более. На рис. 2 показана временная зависимость частоты излучения лазера на красителях в режиме свободной генерации (а) и в режиме стабилизации частоты с помощью ИДВ (б).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук С.М. Кобцев

## **ШИРИНЫ СИНХРОНИЗМА В СМЕШАННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ**

Е.П. Коцубинская

Институт мониторинга климатических и экологических систем  
СО РАН

Многие кристаллы в общем случае не позволяют выполнить условия не критичного фазового синхронизма для любой выбранной заранее длины волны накачки. Поэтому для решения этой проблемы наиболее подходят четырехкомпонентные кристаллы смешанного типа, такие как одноосные  $\text{AgGa}(\text{Se}_{1-x}\text{S}_x)_2$ ,  $\text{AgGa}_{(1-x)}\text{In}_x\text{Se}_2$ ,  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Ga}_2\text{S}_4$  и двуосные  $\text{LiIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ,  $\text{LiGa}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ , эти кристаллы представляют собой твердые растворы исходных трехкомпонентных кристаллов. Необходимым условием достижения высокой эффективности нелинейно-оптических преобразований частоты является равенство фазовых скоростей взаимодействующих волн, т.е. фазовый синхронизм [1]. Однако в реальных процессах преобразовании частоты невозможно достичь точного фазового согласования. Возникает практическая необходимость знать угловую спектральную и температурную ширины синхронизма для конкретного преобразователя частоты.

Представлены результаты исследования дисперсионных свойств четырехкомпонентных нелинейных кристаллов. Установлены коэффициенты дисперсионных уравнений Сельмейера [2]. Рассчитаны спектральные, угловые ширины синхронизма, ширины отношения смещения в одноосных кристаллах  $\text{AgGa}(\text{Se}_{1-x}\text{S}_x)_2$ ,  $\text{AgGa}_{(1-x)}\text{In}_x\text{Se}_2$ ,  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Ga}_2\text{S}_4$  и двуосных  $\text{LiIn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ ,  $\text{LiGa}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  кристаллов. Усложнение состава кристаллов дает возможность варьировать в достаточно широком диапазоне

их физические свойства и удовлетворять требованиям, предъявляемым на практике к нелинейным средам.

---

1. Артюхов В. Я. Квантово-химическое исследование природы электронновозбужденных состояний, спектров и фотопроцессов в сложных молекулярных системах: Автореф. дис. ... докт. физ.мат. наук. Томск, 1997.

2. Dmitriev V.G., Gurzadyan G.G., Nikogosyan D.N. Handbook of Nonlinear Optical Crystals, Springer-Verlag, New-York, Berlin, Heidelberg, 1999. P. 413.

Научный руководитель – д-р физ-мат наук, доц. П.П. Гейко

## **ДИАФРАГМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ЖИДКОСТЕЙ**

К.А. Ломанович

Новосибирский государственный университет

Основное предназначение данного метода - это анализ жидкости (воды в частности) на наличие в ней различных веществ. Одним из основных применений данного метода может быть мониторинг водных ресурсов в целях предотвращения экологических катастроф а так же анализ водопроводной воды.

Суть в том, что в образец опускают два электрода, пространство между которыми разделено мембраной с маленьким отверстием. При пропускании тока через отверстие диафрагмы происходит омический нагрев с дальнейшим вскипанием жидкости. Этот паровой пузырек перекрывает отверстие в мембране и между стенками происходит электрический пробой. При этом атомы и молекулы, содержащиеся в жидкости, возбуждаются и излучают. Спектр этого излучения уникален для каждого вещества, и по нему точно можно установить, состав данного раствора и количество каждого вещества содержащегося в растворе.

В представленном приборе для анализа жидкости используется диафрагменный электрический разряд. В экспериментах, в целях оптимизации исследований и улучшения установки, использовались различные диафрагмы и электроды в различных исполнениях. Для исследования спектра свечения разряда использовался спектроскоп с регистрацией при помощи ФЭУ и фотокамер (Canon, SensiCam).

Найдены оптимальные режимы разряда, условия и реализации экспериментальной установки, для повышения КПД и увеличения чувствительности установки. В конструкции представленного излучателя исключена эрозия электродов за счет их выноса из зоны разряда и, как следствие, компонента спектра разряда. Показана возможность динамичного анализа жидкости в потоке с компьютерной обработкой данных. Преимуществом метода перед остальными является дешевизна.

---

1. Зуев Б.К., Ягов В.В., Гецина М.Л., Руденко Б.А. Разряд при вскипании в канале – новый источник атомизации для атомно-эмиссионного определения металлов в потоке // JOURNAL OF ANALYTICAL CHEMISTRY 2002 V. 57: (10) 907-911

2. Санкин Г.Н., Дрожжин А.П., Ломанович К.А., Тесленко В.С. Многоочаговый диафрагменный электроразрядный генератор ударных волн в жидкости // ПТЭ. 2004. № 3.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.С. Тесленко.

## **СИЛА РЕЗОНАНСНОГО СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА АТОМЫ В НЕДИССИПАТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ**

Н.А.Матвеева

Новосибирский государственный университет

Сателлитный (бокополосный) вариант рамановского охлаждения нейтральных атомов в недиссипативной оптической решетке исследовался нами в [1]. Мотивацией к проведению такого теоретического анализа послужили экспериментальные результаты, полученные в [2]. В рамках нашего исследования были произведены качественные оценки действующей на атом силы резонансного светового давления в приближении медленных атомов. Однако для ответа на вопрос об области применимости наших результатов необходим анализ нелинейной зависимости этой силы от скорости атомов.

В данной работе была найдена зависимость силы светового давления от скорости для атомов с произвольными моментами основного и возбужденного состояния в недиссипативной оптической решетке. Рассматривалась модель, в которой атом представлялся в виде двухуровневой системы с произвольными моментами основного и возбужденного состояния, поле решетки – конфигурацией  $\text{lin}-\theta\text{-lin}$ , поле накачки – циркулярно поляризованной волной, перпендикулярной волновому вектору решетки. В системе также присутствует магнитное поле, сонаправленное с полем накачки. По-

ле решетки – далеко отстроено от резонанса; оно вызывает рамановские двухфотонные переходы между подуровнями основного состояния. Поле накачки индуцирует переход с основного состояния в возбужденное, с последующей его спонтанной релаксацией. Система уравнений для пространственных гармоник матрицы плотности решалась численно методом цепных дробей. Детальный анализ результатов расчета проводился для моментов основного и возбужденного состояния равных  $\frac{1}{2}$ .

Таким образом, нами была получена зависимость силы светового давления от скорости атомов, находящихся в недиссипативной оптической решетке. Из её анализа была определена область применимости приближения медленных атомов в данной задаче.

---

1. Н. А. Матвеева, А.В. Тайченачев, А. М. Тумайкин, В. И. Юдин, Лазерное охлаждение квазисвободных атомов в недиссипативной оптической решетке, Принято к публикации в ЖЭТФ (2007)

2. G. Di Domenico, N. Castanga, G. Mileti, P. Thoman, A. V. Taichenachev and V. I. Yudin, Phys. Rev. A 69, 063403 (2004)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук. А.В. Тайченачев.

## **О ГРАВИТАЦИОННОМ МЕХАНИЗМЕ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА СЕЙСМИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ**

М.Д. Парушкин

Новосибирский государственный университет

Ранее в работе [1] на основании обнаруженной сильной корреляции сверхдлиннопериодных колебаний (с периодом  $T > 1$  часа) в литосфере и атмосферном давлении было обосновано, что их существование и общепланетарный характер связан со сдвиговыми движениями твёрдой составляющей ядра Земли.

В настоящем сообщении приводятся новые аргументы в пользу этой интерпретации, основанные на экспериментальном наблюдении особенностей в поведении деформационных процессов в земной коре накануне землетрясений при помощи высокочувствительного лазерного метода в штольне Байкальской рифтовой зоны. Регистрируемые возмущения проявляются в виде возбуждения деформационного колебательного цуга в диапазоне периодов  $T = 30 \div 120$  ч. за  $1,5 \div 2$  суток до сейсмособытия.

Развивая идею о том, что источником сдвиговых движений ядра земли являются колебания планеты при её устойчивом орбитальном движении вокруг Солнца, было высказано предположение о том, что последние, в

частности, могут быть результатом солнечных вспышек. В этой концепции ощутимые колебательные движения ядра, вызывающие изменения гравитационного поля и соответствующие деформационные возмущения в земной коре обусловлены механическим импульсом отдачи, получаемым Солнцем при его мощном выбросе во время вспышки.

В связи с этим были проанализированы не только данные лазерных деформографических наблюдений, но и результаты регистрации общепланетарной сейсмичности приуроченных к солнечной активности. Результаты анализа подтверждают развиваемую концепцию

---

Орлов В.А., Пятигорец А.В. Лазерные деформографические исследования длиннопериодных колебаний Земли. Материалы 2-го Международного симпозиума. Активный геофизический мониторинг земли. Новосибирск. 2005. стр. 180-185.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. В.А. Орлов

## СУММАТОР ДЛЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА ТРЁХУРОВНЕВЫХ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ – КУТРИТАХ

Д.И. Пехтерев

Сибирский федеральный университет

Известно, что троичная логика [1] имеет ряд преимуществ перед двоичной: простота арифметических операций, запись числа требует меньше разрядов, смена знака числа и др. Поэтому квантовые компьютеры, работающие на трехуровневых квантовых системах - кутритах, могут оказаться более перспективными, чем работающие на кубитах. Важным компонентом квантовых алгоритмов является сумматор. Если работа сумматора на цепочке из двухуровневых квантовых систем достаточно хорошо изучена теоретически [2], то сумматор на кутритах не изучался.

Нами предложена логическая схема квантового сумматора на цепочке кутритов, как набор элементарных логических операторов [3], являющихся обобщением известных операторов для кубитов: SWAP, CNOT и CCNOT. Сумматор представляется последовательностью операторов, действующих поочередно на n-ый блок из трех кутритов, который соответствует разряду числа:

$$F_n = \text{CNOT}_{C_{n-1}A_n} \text{SWAP}_{BA_n} \text{SWAP}_{BC_n} \text{CCNOT}_{C_{n-1}BA_n} \text{SWAP}_{AB_n} \\ \text{SWAP}_{CB_n} \text{CNOT}_{BA_n} \text{SWAP}_{BA_n} \text{CCNOT}_{ACB_n} \text{SWAP}_{AB_n}$$

Работа этой схемы проверена расчетным моделированием в пакете MATLAB. В качестве физической системы была взята цепочка квадрупольных ядер со спином  $I=1$  в градиентном магнитном поле. Для описания эволюции системы решалось уравнение Шредингера с гамильтонианом, учитывающим действие радиочастотного (РЧ) поля, которое вызывает переходы между энергетическими уровнями системы спинов, необходимые для реализации соответствующих операторов. После действия последовательности РЧ-импульсов, по квантово-механическому состоянию расшифровывается содержимое соответствующих блоков разрядов и получается сумма двух троичных чисел. Результаты можно применять и к другим трехуровневым квантовым системам, например, к ионам или атомам в ловушках, управляемым лазерными импульсами.

1. Папернов А. Логические основы цифровых машин и программирования, М.: Наука. 1968.
2. Berman G., Doolen G., Lopez G., Tsifrinovich V. *Com. Phys. Commun.*, 146, 324; (qu-ph/0105133).
3. J. Daboul, X. Wang, B. C. Sanders, *J. Phys. A* 36, 7063 (2003).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В.Е. Зобов.

## **ОПИСАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЙ КЛАСТЕРОВ В РАМКАХ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ**

В.В. Попов

Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова

Кластеры по своим физическо-химическим свойствам занимают промежуточное положение между атомами и молекулами, с одной стороны, и конденсированным веществом, с другой. Эволюция кластеров ведет к образованию либо газовой фазы, либо конденсированной фазы, проходя ряд метастабильных состояний. Поэтому исследование промежуточных состояний кластеров имеет важное фундаментальное и прикладное значение. Рассмотрим идею метода описания возбуждений в атомах.

При стандартном решении спектральной задачи предполагается, что волновая функция многоэлектронного атома регулярна и непрерывна по угловым переменным. Это требование приводит к решениям с целочисленными значениям орбитального и магнитного квантовых чисел  $l=0,1,2,\dots$  и  $m=0,\pm 1,\pm 2,\dots,\pm l$ . Произвольное поведение волновой функции по азиму-

тальной переменной снимает ограничение на целочисленные значения параметра  $l$ . Будем считать его, в общем случае, комплексным  $L=l+x+iy$ , где  $l$ , как и прежде, пусть пробегает целочисленные значения. Отказ от выше указанных ограничений позволяет включить в рассмотрение и движение электронов с орбитальным затуханием. В этом случае, задача отыскания спектра возбужденных состояний атома может быть сведена к проблеме собственных значений стационарного уравнения. Заметим, что при  $y \neq 0$  она является существенно неэрмитовой с комплексными значениями энергий. Перебирая все возможные значения  $x$  и  $y$  в процессе поиска самосогласованных решений можно проследить по минимуму полной энергии возбуждённого атома за его спектральными характеристиками.

Выше изложенную идею мы применили для описания возбуждений кластера – системы атомов, не обладающей сферической симметрией, путем обобщения теории функционала электронной плотности. Задачу на собственные значения эффективного одночастичного уравнения Кона-Шема с обменно-корреляционными потенциалами различного вида мы решали методом Рутана в базе гауссовых функций. Собственные значения использовали для интерпретации рентгеновских и оптических спектров возбуждения.

В качестве объекта исследований сначала был выбран гелий – один из простейших элементов периодической системы Д.И. Менделеева. Показано, что в оптическом диапазоне в полях возбуждения большой интенсивности, возможно образование эксимеров гелия.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. С.А. Кантор.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАЦИИ ИНДУКЦИОННОГО ЛАЗЕРА НА МОЛЕКУЛЯРНОМ АЗОТЕ**

Н.С. Тарасов

Новосибирский государственный университет

Сообщается о получении генерации в импульсной индукционно связанной плазме в ультрафиолетовой области спектра с длиной волны 337 нм на электронных переходах молекулярного азота.

Разработана и экспериментально реализована система формирования импульсного индукционного цилиндрического разряда в газах. Рассматриваются особенности создания импульсной индукционно связанной плазмы посредством переменного магнитного поля.

Описываются результаты экспериментальных исследований спектральных, временных характеристик излучения индукционного разряда в азоте.

Показано, что в импульсном индукционном цилиндрическом разряде наиболее эффективное возбуждение прямым электронным ударом молекул азота из основного состояния получается в чистом азоте при давлениях 0,1 – 4 тор.

В экспериментах по получению генерации на самоограниченном переходе молекул азота была использована кварцевая разрядная трубка с внутренним диаметром 33 мм и длиной 700 мм, по торцам которой располагались юстировочные узлы с диэлектрическими зеркалами, ориентированными перпендикулярно оптической оси. На трубке располагался индуктор в виде соленоида, состоящего из набора секций, кол-во которых зависело от требуемой длины активной среды, числа витков и сечения провода. При длине соленоида 500 мм в диапазоне давлений чистого азота 0,2 – 1 тор была получена генерация с длиной волны 337 нм. Максимальная энергия генерации достигалась при давлении 0,3 – 0,4 тор и была равна 1,2 мДж. Эта величина энергии достигалась в резонаторе с двумя плоскими диэлектрическими зеркалами, имевшими коэффициент отражения 99,9% и 40%. Длительность импульсов излучения, измеренная на полувысоте, составила  $12 \pm 1$  нс. Таким образом, импульсная мощность генерации оказалась равной 100 кВт. Поперечное сечение светового пучка имело форму кольца с внешним диаметром 33 мм и толщиной 1 – 1,5 мм.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А.М. Ражев.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЕГО ФИЛАМЕНТАЦИИ В ГАЗАХ**

Д.С. Харенко

Новосибирский государственный университет

При прохождении мощного фемтосекундного излучения в оптически прозрачных средах вследствие нелинейно-оптических механизмов фазовой самомодуляции, самофокусировки, многофотонной ионизации и многофотонного поглощения происходит трансформация спектральных и пространственных характеристик сверхкоротких импульсов и формирование протяженных узких каналов – филамент [1].

В работе экспериментально систематически исследовано влияние параметров фемтосекундных импульсов при их распространении в газообразных средах на условия возникновения, пространственные размеры, количество филамент и их стабильность. Эксперименты выполнены с использованием излучения мощной фемтосекундной системы тераваттного

уровня, включающей каскады регенеративного и многопроходного усиления с длительностью импульсов 50-60 фс, разработанной в Институте лазерной физики СО РАН [2]. При энергии импульсов до 3-5мДж в экспериментах формировалась одна филамента, при большей начальной энергии наблюдалась множественная филаментация с генерацией спектрального континуума в каждой из филамент.

Экспериментально показано, что введение начального отрицательного chirpa позволяет повысить порог множественной филаментации, а профилирование поперечного пространственного распределения регуляризовать пространственное расположение филамент.

Измерены временные и фазовые параметры оптических импульсов после филаментации с использованием техники, основанной на регистрации корреляционных функций со спектральным разрешением и их последующим Фурье анализом (SPIDER). Определены условия, при которых наблюдается уширение спектра с отрицательным квадратичным chirпом. Обсуждается возможность сжатия таких импульсов с применением объемных оптических элементов, компенсирующих дисперсию.

---

1. L.Berge, S.Skupin et.all., Multiple filamentation of terawatt laser pulses in air, Phys. Rev.Lett., **92**, 225002, 2004.

2. V.I. Trunov, E.V. Pestyakov, A.V. Kirpichnikov, V.V. Petrov, Hybrid high power femtosecond laser system, Proceedings SPIE, **6054**, 210-216, 2006.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, снс. В.И. Трунов

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ КВАНТОВОГО ФУРЬЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА КУТРИТАХ МЕТОДОМ ЯМР**

В. П. Шауро

Сибирский федеральный университет

В последнее время возрос интерес к управлению квантовыми системами, в частности, с целью реализации квантовых вычислений. Большинство теоретических и экспериментальных работ по квантовым вычислениям посвящено наиболее простым двухуровневым квантовым системам – кубитам. Следующей по сложности является трехуровневая система – кутрит. Считается, что кутриты будут более эффективны при реализации вычислений на квантовых компьютерах.

В данной работе осуществлено численное моделирование реализации одного из основных элементарных логических операторов для квантового компьютера – квантового Фурье-преобразования (QFT), на кутрите мето-

дом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). В качестве кутрита выбрано ядро со спином  $I=1$  в постоянном магнитном поле, а в качестве базисных состояний – состояния с разными проекциями спина на направление этого поля. Неэквидистантность трех уровней, необходимая для адресного воздействия на состояния кутрита, обеспечивается квадрупольным взаимодействием. Известно, что оператор QFT можно получить с помощью последовательности селективных импульсов радиочастотного (РЧ) магнитного поля [1]. Однако в случае слабого квадрупольного взаимодействия длительность импульсов возрастает. Ранее на системе из двух кубитов было показано [2], как осуществить селективный поворот с использованием коротких неселективных импульсов, разделенных интервалами свободного развития. Мы разработали подобную процедуру для ядра с квадрупольным взаимодействием.

В работе представлен анализ зависимости ошибки при реализации оператора QFT от амплитуды (длительности) приложенных к системе импульсов для обоих способов. Описанный метод получения селективных импульсов с помощью неселективных позволяет значительно сократить длительность QFT, что является определяющим фактором для успешного осуществления квантовых алгоритмов на данной физической системе, так как реальный эксперимент всегда ограничен временем релаксации. Результаты, полученные в данной работе, должны заинтересовать экспериментаторов работающих в области управления квантовых систем.

- 
1. Зобов В. Е., Ермилов А. С. Письма в ЖЭТФ 83, 10 (2006).
  2. Bowdrey M. D., Jones J. A. Phys. Rev. A 74, 052324 (2006).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В. Е. Зобов

# РАДИОФИЗИКА

## УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

М.О. Жуков

Новосибирский государственный университет

В Институте Ядерной Физики существует потребность в источниках питания для корректирующих магнитов на ускорительных установках. До настоящего времени такие источники питания разрабатывались с использованием аналогового ПИД регулирования.

Цифровое регулирование имеет преимущества перед аналоговым. Оно позволяет реализовать более сложный алгоритм регулирования, с возможностью программным путём вычислять динамические коэффициенты регулирования, а также производить самокалибровку. Преимуществом также является отсутствие необходимости во внешних блоках ЦАП/АЦП для связи с ЭВМ.

Задача состояла в разработке усилителя мощности, в котором алгоритм ПИД регулирования осуществляется в цифровом виде, для чего был применен цифровой сигнальный процессор TMS320F2810.

В основе блока лежит транзисторный мост, управляемый двумя полумостовыми драйверами. Ток в нагрузке измеряется двумя бесконтактными датчиками тока. Измеренное значение подается на схему защиты и на АЦП процессора. Исходя из заданного и измеренного значения тока, процессор вычисляет сигнал ошибки, и формирует сигналы управления драйверами. Для связи усилителя с ЭВМ предполагается использовать последовательный интерфейс связи CAN, но при необходимости по желанию заказчика возможно использование интерфейсов связи RS 485 и Ethernet.

В блоке реализована как аппаратная, так и программная защита. Аппаратная защита выполнена следующим образом: сигнал с датчиков тока каждого плеча поступает на компараторы, и если значение выходного тока становится меньше  $-6A$  или больше  $+6A$  схема защиты запрещает открытие транзисторов, запрет снимается, когда ток принимает значение в интервале от  $-6A$  до  $+6A$ . Если модуль измеренного с помощью АЦП тока превышает максимальное значение, то процессор также выставляет сигнал защиты. Компараторы аппаратной защиты выполнены на операционных усилителях с открытым коллектором, что позволяет объединить программную и аппаратную защиту в логическое «или».

Научный руководитель – мл. науч. сотр. О.В. Беликов

# РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ СЛАБОТОЧНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ УСКОРИТЕЛЯ

А.А. Елисеев

Новосибирский Государственный Университет

В настоящее время в Институте Ядерной Физики СО РАН ведутся работы по запуску накопителя-охладителя комплекса ВЭПП-5. Для системы коррекции пучка необходимы 8 источников питания с выходным током до 15 А с нестабильностью менее 0.1% и выходной мощностью 1 кВт. Нагрузка представляет из себя секступольную линзу с индуктивностью 100 мГн и сопротивлением 2 Ом.

Для решения задачи предлагается вариант источника тока на основе SEPIC преобразователя. Данная топология обладает рядом достоинств: единственный активный элемент (ключ), непрерывность потребляемого тока (аналогично Boost преобразователю), широкий диапазон регулировки выходного напряжения (как выше, так и ниже входного напряжения, аналогично Flyback преобразователю), высокий КПД (94-96%), малые габариты и низкая себестоимость. Кроме того, источник создает низкий уровень гармонических искажений сети (менее 3% при коэффициенте мощности 0.99), в соответствии с требованиями международных спецификаций IEEE 519-92, IEC1000-3-2 и ГОСТ 13109-97.

Таким образом, устройство одновременно сочетает в себе однофазный источник тока и корректор коэффициента мощности. Введённая магнитная связь между реактивными элементами преобразователя позволила уменьшить индуктивность в два раза (соответственно снизить их массу и габариты), а также добиться меньших пульсаций сетевого тока. Частота работы преобразователя составляет 100 кГц, для управления используется контроллер UC3854A (Texas Instruments). Микросхема содержит: аналоговый умножитель, ШИМ-контроллер, встроенный драйвер силового ключа, механизм ограничения максимальной мощности, источник опорного напряжения и необходимые цепи защиты. Дистанционная связь с ПК осуществляется по CAN интерфейсу.

Научный руководитель – науч. сотр. А.А.Пачков

# ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КЛИСТРОНА

С.А. Кислицын

Новосибирский государственный университет

Целью данной работы было исследование и дальнейшее применение в качестве источника тока для питания фокусирующей системы клистрона мультрезонансного выпрямителя [1].

На базе схемы, предложенной в статье [1], удалось получить высококачественный выпрямитель, обладающий следующими параметрами: выходная мощность 3кВт, ток нагрузки 15А, рабочая частота 80кГц. При этом он показал достаточно высокое значение коэффициента мощности 0,99 (КМ), коэффициента нелинейных искажений 4,1% (КНИ), коэффициент нестабильности выходного тока  $10^{-2}$  (КН).

Основываясь на данном высококачественном выпрямителе, предполагается построение источника тока для клистрона, удовлетворяющего следующим параметрам:

- выходная мощность 3,5кВт
- изменение выходного тока в диапазоне 13 - 17А
- КН выходного тока  $< 2 \cdot 10^{-3}$  %
- использование CAN интерфейса
- система защиты источника тока при аварийных ситуациях, отслеживающая превышения входных значений токов, выходного тока и напряжения. В качестве элементов, отслеживающих требуемые значения токов, предполагается использовать трансформаторы тока.

Для уменьшения КН по току  $< 2 \cdot 10^{-3}$  % в схему предполагается внести обратную связь по току со схемой ЧИМ. Сигнал с трансформатора тока на выходе поступает на микропроцессор, имеющий встроенный АЦП и поддерживающий CAN интерфейс. В качестве микропроцессора, удовлетворяющего данным требованиям, был выбран T89C51CC01. Оцифрованный сигнал программно сравнивается с опорным значением напряжения, и выдает управляющий импульс на ключевой элемент выпрямителя, задавая следующее значение тока. Таким образом, происходит стабилизация и, как следствие, уменьшение КН выходного тока.

---

1. Y. Jang and Robert W. Erickson, "New Single- Switch Three-Phase High Power Factor Rectifiers Using Multi- Resonant Zero Current Switching"// IEEE Applied Power Electronics Conference, 1998 Record, pp. 194-201.

Научный руководитель – науч. сотр. П.А. Бак

## **ПРИВОД ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

К.Р. Яминов

Новосибирский государственный университет

В Институте ядерной физики существует ряд задач с применением двигателей постоянного тока, таких как изучение дифракции синхротронного излучения на кристаллах и в производстве на установке электронно-лучевой сварки. Наличие этих задач привело к необходимости разработки универсального привода двигателя постоянного тока.

Одно из применений привода – это калибровка детектора, используемого в экспериментах с дифракцией синхротронного излучения. Для этой задачи возникают следующие требования к устройству: погрешность по положению – 50 мкм, номинальный ток в обмотке двигателя – 15 А, напряжение на обмотке – до 24 В.

Привод состоит из мостового инвертора на современных МОП транзисторах и схемы управления на цифровом сигнальном процессоре TMS320LF2407A. В качестве датчика положения используется инкрементный преобразователь линейных перемещений.

Для управления положением используется алгоритм ПИД-регулирования, который реализуется программным способом в цифровом сигнальном процессоре. Сигналом обратной связи является координата. Для управления током в обмотке двигателя используется широтно-импульсная модуляция. Применение цифрового сигнального процессора позволяет программным путем изменять динамику регулирования.

Научный руководитель – мл. науч. сотр. О. В. Беликов.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШАЮЩЕГО И ИНВЕРТИРУЮЩЕГО ТИПОВ С НЕПРЕРЫВНЫМ ВЫХОДНЫМ ТОКОМ.**

И.Ю. Красников

Новосибирский государственный университет

В отличие от импульсных понижающих регуляторов напряжения, импульсные повышающие регуляторы напряжения (ИПРН) и импульсные инвертирующие регуляторы напряжения (ИИРН) редко используются для преобразования электроэнергии большой мощности. Это связано, в первую очередь, с плохим согласованием регуляторов данного типа с нагруз-

кой. В нагрузку поступает импульсный ток со 100% модуляцией, что требует применения фильтрующего конденсатора большой емкости параллельно нагрузке.

Введение дополнительных элементов в схему ИПРН и ИИРН (трансформатора и двух диодов) позволяет параллельно с накоплением тока в дросселе передавать ток в нагрузку, поэтому выходной ток регуляторов становится непрерывным, а пульсации выходного напряжения уменьшаются более чем на порядок [1].

Для данных регуляторов впервые получены регулировочные характеристики, определены коэффициенты подавления выходных пульсаций и определена область работы с непрерывным выходным током. Проведено сравнение регулировочных характеристик классических регуляторов и регуляторов с непрерывным выходным током.

Проведено математическое моделирование и исследована работа макетов классического ИПРН и ИИРН с непрерывным выходным током. Экспериментально показано, что существует два режима работы новых регуляторов – с непрерывным выходным током и импульсным выходным током. Получено хорошее совпадение экспериментальных данных и расчетной регулировочной характеристики. Также экспериментально получено уменьшение пульсаций напряжения на нагрузке более чем на порядок по сравнению с классическим ИПРН.

---

1.Боровиков В.М., Красников Ю.И. Импульсный регулятор напряжения повышающего типа. Патент RU №2241299. Опубл. 27.11.2004, Бюл. № 33. Международная заявка на изобретение WO 2006/019328 A1, опубл. 23.02.2006.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. Е.И. Пальчиков

## **ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ**

П.О. Очеретинский  
Новосибирский государственный университет

Параметры ускорителей и накопителей заряженных частиц во многом определяются магнитными полями, создаваемыми различными магнитными элементами, такими как дипольные магниты, квадрупольные, секступольные и др. Свой вклад в эти магнитные поля вносит и вакуумная камера. Как правило, вакуумные камеры изготавливаются из нержавеющей стали специальных марок с малой магнитной проницаемостью – порядка 1.01 и менее.

В последнее время в Институте Ядерной Физики появился ряд задач, где требуется, чтобы магнитная проницаемость вакуумной камеры не превышала 1.005.

Представленный в данной статье прибор помогает решать подобные задачи. Он позволяет измерять магнитную проницаемость, как исходного материала, так и конечного изделия с погрешностью не более 0.002.

В основе измерения магнитной проницаемости лежит изменение конфигурации постоянного поля под воздействием исследуемого материала, которое мы фиксируем с помощью феррозонда. Прибор состоит из датчика и электроники. Датчик включает в себя постоянный магнит и феррозонд. При поднесении к датчику исследуемого материала, в месте расположения феррозонда изменяется индукция магнитного поля, причем величина этого изменения примерно пропорциональна магнитной проницаемости данного материала. Изменение поля измеряется феррозондом. Калибровка прибора осуществляется с помощью специальных тестовых образцов с заранее известной магнитной проницаемостью.

Научный руководитель – ст. науч. сотр. Г.В. Карпов

## **ШИРОКОПРОФИЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ «CANAL»**

А.Н. Панов

Новосибирский государственный университет

В современном мире необходимо собирать и анализировать огромное количество данных о температуре, давлении, об ускорении, интенсивности света, уровне радиации и о многих других важных параметрах, о которых нельзя забывать при проектировании зданий или научных установок, при добыче нефти или при работе АЭС. Именно поэтому человек использует различные системы для сбора данных и их анализа, созданные на базе из различных активных или пассивных датчиков, АЦП с высоким разрешением, микроконтроллеров и каких либо протоколов передачи данных на ПК.

В Институте ядерной физики в проектах используется множество систем сбора данных (ССД), в частности в рамках проекта «Разработка многоакурсной рентгенографической системы на базе электронного ускорителя» потребовалось создание системы сбора данных о быстрозатухающем вибрационном процессе в элементах здания, возникающем вследствие воздействия на здание однократных ударных импульсов. Предполагается, что на основе полученных данных будет рассмотрен вопрос о необходимости разработки системы демпфирования для электронного ускорителя.

Для этих целей была создана ССД, получившая название «CANal» и представляющая собой набор коллекторов со встроенными интегральными датчиками ускорения ADXL320 и возможностью подключения до 5 дополнительных внешних датчиков.

Основные характеристики ССД «CANal»:

- Измерения вдоль трех координат;
- Чувствительность: 174 мВ/г;
- Диапазон измерения уровня вибраций:

Виброускорение (ПЗ) 0,2 - 5g;

Виброскорость (СКЗ) 0,02 - 48 см/с;

- Погрешность измерения вибрации (не более) 0,2 %;
- Возможность долговременного мониторинга;
- Быстрое получение (до 1Мб/с) данных на ПК от коллектора по протоколу CAN[1,2];
- Небольшие стоимость и габариты коллектора;

---

[1]Robert Bosch GmbH «CAN Specification Ver.2.0»,1991

[2]B. Hallgren «Controller Area Network - hardware description» // CERN ATLAS DCS

Научный руководитель – науч. сотр. П.А. Бак

## **СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СВЧ МОЩНОСТИ ИНЖЕКЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-5**

В.В. Орешонок

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте Ядерной Физики СО РАН продолжается строительство и запуск ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-5. Для эффективной проводки электронных и позитронных пучков через ускорительные модули и получения максимальной энергии на выходе 500 МэВ линака необходим контроль и регулировка амплитуды и фазы СВЧ мощности, питающей устройства умножения мощности (SLED) и ускоряющие секции форинжектора ВЭПП-5. Для прецизионного мониторинга и манипулирования параметрами ВЧ-сигналов создается система амплитудно-фазовых измерений и управления фазой [1]. На сегодняшний день введены в эксплуатацию блоки управления фазой и проведены тестовые испытания измерительных устройств. В рамках усовершенствования системы ведётся разработка новых моделей фазовых детекторов на основе

современных интегральных СВЧ элементов, что позволит существенно упростить механизм измерений. В докладе приведены структура, параметры и результаты экспериментальных исследований системы мониторинга амплитуды и фазы, а также архитектура разрабатываемых устройств.

---

1. D. Yu. Bolkhovityanov, E. A. Gusev, V. V. Oreshonok, O. V. Pirogov, D. P. Sukhanov. The RF Phase and Amplitude Monitoring System of the VEPP-5 Preinjector. RuPAC. 2006.

Научный руководитель – науч. сотр. Д.П. Суханов

## **НАСТРОЙКА УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ ПРОТОТИПА ПРОМЫШЛЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

А.Ю. Агеев

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте Ядерной Физики ведутся работы по созданию прототипа промышленного ускорителя с энергией электронов 5МэВ и средней мощностью пучка 300кВт (грант МНТЦ 2550). Для ускорения электронов используется бипериодическая ускоряющая структура с резонаторами связи на оси, работающая в режиме стоячей волны. Структура состоит из пяти ускоряющих резонаторов и четырех ячеек связи. Рабочая мода –  $\pi/2$ , частота 176 МГц, длина структуры ~ 4 метра.

В октябре–ноябре 2006 года ускоряющая структура была изготовлена в Экспериментальном производстве ИЯФ и собрана в радиационном бункере лаборатории 14 для дальнейшей настройки и доработки. Одним из критериев настройки является равенство парциальных частот ускоряющих ячеек и ячеек связи.

Для проведения настройки необходимо знать чувствительность парциальных частот ячеек к их геометрическим размерам, а также иметь методику измерения и численного расчета парциальных частот отдельных резонаторов структуры.

Целью работы являлось:

- ✓ численная проверка методики измерения парциальных частот ячеек структуры, путем закорачивания апертуры соседних резонаторов проводящими стержнями;
- ✓ расчет таблицы чувствительности парциальных частот ускоряющих ячеек и ячеек связи к их геометрическим размерам.

Расчет необходимых параметров производился при помощи современных двумерных и трехмерных программных пакетов. Полученные результаты использовались при настройке структуры.

На сегодняшний день ускоряющая структура собрана после доработки и на ней проведена серия холодных измерений, результаты которых показали, что разброс парциальных частот резонаторов лежит в допустимых пределах.

Научный руководитель – науч. сотр. К.Н. Чернов.

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЫ НА СОБСТВЕННЫЕ МОДЫ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СТЕРЖНЕМ И КОНЦЕПЦИЯ АНТЕННЫ-УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ СВЧ ИСТОЧНИКА БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ**

М.Ю. Красницкий

Томский государственный университет

В настоящее время актуальна проблема управления параметрами излучения сверхмощных релятивистских приборов: мощностью, частотой, фазой, а также направленностью СВЧ луча. Кроме того, для многих применений решающее значение приобретает компактность СВЧ источника. Одним из перспективных решений является использование для генерации и излучения диэлектрической стержневой антенны. Трубчатый электронный пучок, распространяющийся вдоль поверхности стержня, может усиливать сигнал, возбуждающий антенну. Такая конфигурация антенны-усилителя не требует наличия передающей линии между усилителем и антенной.

В докладе представлены результаты решения электродинамической задачи о круглом волноводе с диэлектрическим стержнем и слоем замагниченной плазмы, примыкающим к поверхности стержня. Получено дисперсионное уравнение азимутально-несимметричных мод; численно исследованы решения этого уравнения для обычных волноводных мод, плазменных (Трайвелписа–Гулда) мод и гибридных мод, когда частота ниже, чем плазменная частота, а фазовая скорость превышает скорость света в диэлектрике. В частности, рассмотрены зависимости фазовой скорости основной волноводной моды  $HE_{11}$  от плотности плазмы и толщины плазменного слоя. Определены такие параметры плазмы, при которых исчезает черенковское взаимодействие с электронным пучком. Анализируются распределения высокочастотных полей и потока Пойнтинга по сечению сис-

темы при наличии плазмы, а также влияние параметров плазмы на сопротивление связи различных мод.

В экспериментах по определению плотности плазмы в системе было показано, что концепция реализуема, т.е., плазма не может помешать черенковскому взаимодействию между пучком и  $HE_{11}$  модой. Для эффективной работы прибора её плотность не должна превышать порядок  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ .

В практической части работы была собрана установка на базе линейного индукционного ускорителя для экспериментальной проверки концепции антенны-усилителя.

Научный руководитель – канд. физ.–мат. наук А.С. Шлапаковский

## **МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА В ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВВОДАХ МОЩНОСТИ**

В.Е. Шачков

Новосибирский государственный университет

Институтом Ядерной Физики в течение многих лет ведутся работы по созданию мощных высокочастотных ускорителей. Одной из разработок на сегодняшний день является создание прототипа мощного промышленного ускорителя электронов на энергию 5 МэВ со средней мощностью пучка 300 кВт (грант МНТЦ 2550). Установка может быть использована для пастеризации широкого спектра пищевых продуктов и дезинфекции почтовых отправок.

В качестве ввода ВЧ мощности в ускоряющую структуру используется коаксиальный фидер, оканчивающийся петлёй связи с компенсирующей ёмкостью. В данном вводе мощности для отделения вакуумной части ускоряющей структуры от атмосферной части подводящего фидера используется керамический изолятор. Высокий уровень импульсной ВЧ мощности (3 МВт), передаваемой в структуру в рабочем режиме, приводит к развиту на керамике значительных напряжений. Поэтому керамический изолятор ввода мощности должен быть протестирован экспериментально на электрическую прочность. Испытания на высоком уровне передаваемой ВЧ мощности сопряжены с определёнными трудностями, а именно необходимостью наличия:

- соответствующего источника мощности;
- радиационного бункера;
- эквивалента нагрузки.

Целью данной работы являлось численное исследование методики тестирования керамического изолятора ввода мощности, позволяющей избежать вышеперечисленных сложностей. Для этого необходимый уровень ВЧ напряжения на керамическом изоляторе развивается при работе ввода мощности в режиме стоячей волны. Это позволяет снизить требуемую мощность источника по сравнению с рабочим режимом на несколько порядков.

Расчёт проводился с помощью новейших двумерных и трёхмерных программных пакетов.

Научный руководитель – науч. сотр. В.В. Гарнецкий.

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОРБИТРОННОГО РАЗРЯДА**

В.С. Воробьев

Новосибирский государственный университет

Создание однородного магнитного поля – важная и хорошо изученная задача современной технической физики. Однородные магнитные поля широко применяются в современной экспериментальной физике. В качестве примеров можно указать магнитные системы мюонных детекторов и поворотные магниты в ускорительных комплексах. Исследование газового разряда орбитронного типа [1] в магнитном поле представляет интерес для повышения плотности тока на выходе из разрядной области, а также для управления потенциалами зажигания и тушения разряда.

Цель работы – расчет параметров катушек Гельмгольца для создания однородного магнитного поля в цилиндрической области  $r < 45$  мм,  $|z| < 50$  мм. Необходимая величина магнитного поля, определенная исходя из условий горения разряда: 700 Гс. Неоднородность – не выше 10%.

Проведен аналитический расчет согласно работе [2] с учетом коэффициента заполнения катушек, величины максимально допустимого тока в витке, зависимости сопротивления меди от температуры, характеристик источника тока. Сделан также численный расчет поля в программе SAM (ИЯФ СО РАН). Расчетная модель проверена экспериментально с помощью модельных катушек. Результаты аналитического расчета совпали и с численными результатами и с экспериментом (в пределах погрешности измерений).

В результате установлено, что: 1- интервал величин магнитного поля, в котором наблюдается эффект захвата электронов в области разряда, а га-

зовые ионы свободно покидают разрядную область, составляет от 0,07 до 2,5 Тл. Это величины для разряда с характерным радиальным размером 10 см и разностью потенциалов между электродами не более 1кВ; 2- для питания соленоидов, создающих магнитное поле величины 700 Гс и одно-родности 10% в области  $r < 45$  мм,  $|z| < 50$  мм, достаточно источника тока 10 А и мощностью 1 кВт.

- 
1. Effect of axial magnet fields on electrical characteristics of low-pressure wire discharge, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.33(1994) pp.4243-4246.
  2. Филатов В.В. //ЖТФ, 1997, т.67, №4. с.101-106.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А.С. Золкин

## **ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ С УЧЕТОМ ИОНИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ ГАЗОВ**

Р.А. Филатов

Саратовский госуниверситет им. Н.Г. Чернышевского

В настоящее время активно изучаются источники СВЧ излучения, использующие в качестве активной среды электронный пучок с виртуальным катодом (ВК) [1]. Одним из перспективных устройств подобного класса, предложенных в последнее время, является схема с торможением электронного потока в пространстве взаимодействия (низковольтный виркатор) [2]. В подобной системе возникновение нестационарного ВК и генерация хаотического широкополосного сигнала с шириной полосы порядка 1.5-2 октавы возникает при малых токах и плотностях электронного потока [2].

Важной задачей исследования нелинейных колебательных явлений в пучке с ВК является учет ионизации остаточных газов и влияния положительных ионов на динамику электронного потока и характеристики генерации в такой системе. В докладе представлены результаты экспериментального и теоретического исследования влияния положительных ионов на излучательные характеристики низковольтного виркатора.

Результаты численного моделирования показывают, что наличие остаточных газов в рабочей камере приводит к подавлению колебаний виртуального катода и срыву СВЧ генерации в системе. Это связано с компенсацией пространственного заряда ВК положительными ионами и переходом системы в предгенерационный режим. Затем, после дрейфа положительных ионов и уменьшения положительного пространственного заряда, создаются условия для возникновения второго ВК и возобновления гене-

рации. Затем эти процессы повторяются, в результате чего выходной сигнал низковольтного виркатора представляет собой последовательность хаотических радиопульсов.

Результаты численного моделирования подтверждаются экспериментальным исследованием на макете низковольтного виркатора [3].

- 
1. Дубинов А.Е., Селемир В.Д. Радиотехника и электроника 47 (2002) 575
  2. Калинин Ю.А., Короновский А.А., Храмов А.Е., Егоров Е.Н., Филатов Р.А. Физика плазмы 31 (2005) 1009
  3. Филатов Р.А., Калинин Ю.А., Храмов А.Е. Письма в ЖТФ 32(11) (2006) 61-67

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.Е. Храмов

## **НОВЫЙ ТИП ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ НА ГРАНИЦЕ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ**

М.К. Куровская

Саратовский государственный университет

Наличие перемежающегося поведения характерно для многих нелинейных систем и наблюдается, в частности, при переходе от периодических колебаний к хаотическим, вблизи границы возникновения режима хаотической синхронизации связанных осцилляторов.

Существует определенная классификация перемежающегося поведения, в частности, выделяют перемежаемость типа I-III [1], on-off перемежаемость, перемежаемость «игольного ушка» [2].

В работе исследуется новый тип перемежающегося поведения, обнаруженный вблизи границы режима фазовой синхронизации двух однонаправлено связанных хаотических осцилляторов с достаточно большой расстройкой управляющих параметров. Построена теория для данного типа перемежаемости. Выявлен механизм, приводящий к возникновению перемежающегося поведения нового типа, получена теоретическая зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра связи, хорошо согласующаяся с численными данными. Показано, что распределение длительностей ламинарных фаз удовлетворяет экспоненциальному закону.

Новый тип перемежаемости проиллюстрирован на примере двух различных систем. В качестве первой системы были выбраны однонаправлено связанные системы Ресслера, второй рассмотренной системой являлись

два однонаправлено связанных хаотических генератора с туннельным диодом [3].

Ниже границы фазовой синхронизации зависимость разности фаз от времени содержит участки синхронной динамики (ламинарные фазы), прерывающиеся внезапными всплесками (турбулентные фазы). Проанализировав статистику ламинарных фаз (распределение длительностей ламинарных фаз), можно заключить, что известные типы перемежающегося поведения, возникающие при разрушении фазовой синхронизации, наблюдаются лишь при малой расстройке собственных частот ведущей и ведомой подсистем, в то время как при большой расстройке управляющих параметров возникает принципиально новый тип перемежаемости.

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. 2001.
2. Boccaletti S. et al., Phys. Rev. Lett., 89(19), 194101, 2002.
3. Pikovsky A.S., Rabinovich M.I., Physica D, 2(8), 1981.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А.А. Короновский

## **РАЗВЯЗЫВАНИЕ КАНАЛОВ СКОРОСТИ И МОМЕНТА В СИСТЕМЕ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ**

Е. Г. Кривенцов

Новосибирский государственный технический университет

Рассматривается двухканальная система взаимного нагружения двух двигателей постоянного тока независимого возбуждения. В системе используются двигатели серии 2ПН. Производится настройка на стандартную линейную форму Бесселя. Развязывание каналов скорости вращения и момента общего вала двигателей производится при помощи линейной пространственной обратной связи (ЛПОС) по вектору координат состояния. При этом в проектируемой системе управления не обеспечивается желаемый сдвиг всех корней характеристического уравнения, вследствие ограничения его коэффициентов конструктивными постоянными обих электрических машин. Это происходит вследствие того, что часть коэффициентов матрицы ОС задействована для компенсации нулей - «левых нулей» перекрестных каналов в замкнутой системе управления. В общем же случае могут быть задействованы все коэффициенты матрицы обратной связи или большая их часть. В этом случае, как правило, система с ЛПОС теряет устойчивость. При этом требуется применение дополнительных методов, обеспечивающих устойчивость в замкнутой системе, а также ме-

тодов, позволяющих выполнить настройку развязанных каналов управления на заданную стандартную линейную форму.

Полученная система управления не обеспечивает полной независимости каналов управления из-за грубости в системе управления. Данный недостаток может полностью окупать себя вследствие относительно низкого порядка регуляторов ЛПОС, осуществляющих развязывание в системе управления, по сравнению с аналогами. Смягчающим обстоятельством в данном случае является то, что в проектируемой системе управления может не требоваться полная независимость каналов регулирования, а требуется обеспечение независимости лишь одного канала.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.В. Панкратов

# ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР, ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА

## ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК Fe/Cr/Fe

С.А. Гудин, М.И. Куркин, А.В. Гапонцев, Н.Б. Бакулина, В.В. Устинов  
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

Интенсивное изучение магнитных металлических мультислоев Fe/Cr в последнее десятилетие обусловлено тем, что на этих структурах в 1988 году [1] был обнаружен гигантский магниторезистивный эффект (ГМЭ)-падение на десятки процентов электросопротивления в магнитном поле. Обнаружение связи ГМЭ с процессами намагничивания и перемагничивания мультислоев вызвало интерес к изучению их магнитных свойств. Магнитная структура, то есть взаимная ориентация намагниченностей ферромагнитных слоев  $M_{Fe}$ , определяется, в первую очередь, взаимодействием векторов  $M_{Fe}$  через прослойку хрома.

В работе теоретически проанализировано влияние специфического магнитного упорядочения в хrome в виде линейно поляризованной волны спиновой (лВСП) плотности на магнитную структуру трехслойной пленки Fe/Cr/Fe. Обменное взаимодействие между спинами электронов железа и хрома считалось слабым по сравнению с обменным взаимодействием Fe-Fe и обменным взаимодействием Cr-Cr и действующим только на границах раздела Fe/Cr. В этих приближениях была записана полная энергия пленки, состоящая из энергии однонаправленной  $\Phi_{un}$  и наведенной  $\Phi_{in}$  анизотропий [2], косвенного обменного взаимодействия и энергии лВСП, зависящей от фазы волны лВСП. Показано, что в исследуемых пленках возможны три типа магнитных структур: ферромагнитная, антиферромагнитная и неколлинеарная. Ранее для описания неколлинеарных структур привлекалось биквадратичное обменное взаимодействие, которое считалось при этом сравнимым с обычным билинейным, хотя по всем теоретическим моделям оно должно быть гораздо слабее. В нашей модели привлечение биквадратичного взаимодействия не потребовалось. Из минимума полной энергии пленки получены границы устойчивости ее магнитных структур. Это линии в двумерном пространстве, одно измерение которого определяется отношением  $\Phi_{un}/\Phi_{in}$ , а второе толщиной прослойки Cr в единицах длины лВСП. Найденные линии образуют фазовую диаграмму.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 05-02-16087), Президиума РАН («Квантовая макрофизика»), Фонда содействия отечественной науки, грант УрО РАН для молодых ученых и аспирантов.

[1] M.N. Baibich, J.M. Broto, A.Fert. Phys Rev Lett., 61, 2472, (1988).

[2] М.И. Куркин, С.А. Гудин, В.В. Устинов, С.А. Злобин. ФММ, 98, 6, 8 (2004).

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВОГО ПЕРЕХОДА В КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ Fe(II)

Д.П. Пищур

Новосибирский государственный университет

В некоторых кристаллических комплексных соединениях 3d- ионов экспериментально наблюдаются аномалии в температурном поведении теплоемкости, магнитной восприимчивости. Одной из наиболее перспективных групп термохромных координационных соединений являются цепочечные комплексы Fe(II) с 1,2,4-триазолом и его 4-замещенными производными, проявление термохромизма в которых связано со спиновым переходом (СП) иона Fe(II). Подобные комплексы Fe(II) изучаются в ИНХ. Показано, что на температуру и характер СП влияет большое количество факторов. В частности, состав соединения (лиганд и внешнесферный ион), присутствие растворителя, методика синтеза и пр. Данные соединения имеют перспективу технического применения в качестве температурных сенсоров, активного элемента различных типов термоиндикаторов, дисплеев, носителей информации.

Цель работы – изучить влияние на температуру и вид СП введение двух разных лигандов. Ранее был получен комплекс  $\text{Fe}(\text{NH}_2\text{trz})_3 \text{SiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , в котором наблюдался резкий СП вблизи 250 К [1]. В нашей работе исследовались два комплекса, в которых часть лигандов ( $\text{NH}_2\text{trz}$ ) была заменена на ( $\text{Htrz}$ ):  $\text{Fe}(\text{Htrz})_{0.15}(\text{NH}_2\text{trz})_{2.85}\text{SiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}(\text{Htrz})_{1.20}(\text{NH}_2\text{trz})_{1.80}\text{SiF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Htrz}$ =4-Н-1,2,4-триазол,  $\text{NH}_2\text{trz}$ =4- $\text{NH}_2$ -1,2,4-триазол). Методика – вакуумная адиабатическая калориметрия, изучалась зависимость молярной теплоемкости  $C_p(T)$  в температурном интервале от 100 до 340 К. Показано, что изменение состава существенно влияет на температуру и вид СП в комплексах. Полученные результаты обсуждаются.

1. Березовский Г.А., Шакирова О.Г., Шведенков Ю.Г., Лавренова Л.Г. Журнал физической химии, 2003, т. 77 №.7, с. 1178-1182

Научный руководитель – канд. хим. наук, Г.А. Березовский

## ТРЕНИЕ И ИЗНОС КЕРАМИКИ $ZrO_2$ - $MgO$

К.М. Пятова

Томский государственный университет

Получение прочной и вязкой керамики на основе диоксида циркония является интересной с инженерной и научной точки зрения проблемой. В настоящее время установлено, что высокий уровень механических свойств поликристаллов частично стабилизированного диоксида циркония обусловлен механизмом трансформационного упрочнения. Этот механизм заключается в мартенситном переходе нестабильной в поле изменяющихся механических напряжений тетрагональной фазы в стабильную моноклинную. Для трансформационноупрочненных материалов существует подкласс упрочненных микротрещинами. Настоящая работа посвящена изучению влияния фазового состава на процессы трения и износа керамики  $ZrO_2$ - $MgO$ , упрочнённой микротрещинами в условиях сухого скольжения, в паре с закаленной сталью в широком диапазоне скоростей.

Керамика  $ZrO_2$ -3 вес.%  $MgO$  спекалась в вакууме и на воздухе при температуре  $1600^\circ C$  в течение 1 часа. После кермика образцы содержали в составе моноклинную и кубическую фазу. Количество м-фазы на изломе было подобным ее содержанию на полированной поверхности, это говорило о том, что в исходном образце не было фаз, способных к Т-М превращению при комнатной температуре. Экспериментальные исследования поведения при трении  $ZrO_2$ - $MgO$  обнаружили, что в диапазоне скоростей 0.2-11 м/с имеет место сначала увеличение скорости изнашивания, а затем при скоростях выше 2 м/с её снижение. Коэффициент трения керамики имеет склонность к уменьшению своего значения с ростом скорости испытания. Количество моноклинной фазы на поверхности трения, измеренное рентгенографическим методом, практически не зависело от скорости скольжения и было всегда меньше, чем в исходных образцах.

Наблюдаемая в настоящей работе зависимость интенсивности изнашивания от скорости скольжения с максимумом на средних скоростях имеет сходный вид с зависимостью, опубликованной в работе, полученной в ходе изучения триботехнических характеристик керамики на основе  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ . По всей видимости, механизм упрочнения за счет микротрещин в керамике  $ZrO_2$ -3вес.%  $MgO$  влияет на формирование триботехнических свойств аналогично трансформационному механизму упрочнения. Кроме вышеизложенного, в работе обсуждается вопрос об особенностях фазового превращения  $ZrO_2$ -3вес.%  $MgO$  в условиях высокоскоростного трения.

Научный руководитель – канд. техн. наук Н. Л. Савченко

# ВКЛАДЫ КВАНТОВЫХ ПОПРАВОК В ПРОВОДИМОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ КАРКАСНЫХ НАНОСТРУКТУР

Е.Н.Ткачев, Т.И. Буряков  
Новосибирский Государственный Университет

В работе использовались два типа объектов: каталитические многослойные углеродные нанотрубки (MWNTs) и расширенные графиты. В этих образцах ранее не возможно было наблюдать квадратично возрастающую положительную магнетопроводимость в интервале полей до 1 Тл, так называемые эффекты электрон-электронного взаимодействия, из-за подавления эффектами слабой локализации. Производилась модификация образцов для выяснения природы доминирования последних эффектов в таких объектах.

Отличительной особенностью метода синтеза MWNTs являлось то, что позволило получить образцы нанотрубок с минимальным содержанием примеси аморфного углерода. Расширенный графит без примеси и с примесями сажи был получен методом быстрого термораспада интеркалированных соединений окисленного графита и аминфторида графита соответственно. Измерение проводимости  $\sigma(T)$  проводилось по четырех-контактной схеме в интервале температур 4.2 – 300 К. Измерение магнетопроводимости  $\sigma(B)$  проводилось при температуре 4.2 К в интервале магнитных полей до 1 Тл.

В области температур от 4.2 К до 20 К поправка к проводимости для исследуемых объектов с понижением температуры увеличивается логарифмически  $\Delta\sigma(T) \sim \ln(T)$ , такая зависимость проявляется в системах с локальным беспорядком в двумерном случае. Основной вклад в проводимость в таких системах дают квантовые поправки. Для образцов с примесями сажи наблюдалась логарифмическая зависимость магнетопроводимости от магнитного поля  $\sigma(B)/\sigma(0) \sim \ln(B)$ , следовательно, доминируют эффекты слабой локализации в интервале полей 0 – 1 Тл. А для каталитических MWNTs и расширенного графита без примесей аморфного углерода характерна квадратичная зависимость проводимости от магнитного поля  $\sigma(B)/\sigma(0) \sim B^2$  при  $B < 1$  Тл, что является асимптотическим приближением эффектов электрон-электронного взаимодействия. Отсутствие примеси аморфного углерода и не наблюдение эффектов слабой локализации доказывает связь доминирования эффектов слабой локализации с наличием аморфной фазы углерода в образцах.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Романенко

## ФАЗОВЫДЕЛЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КОБАЛЬТ-НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА

А. Е. Тусупжанов, Д. Ерболатулы  
Восточно-Казахстанский государственный университет  
им. С. Аманжолова

В настоящей работе исследованы механизмы сверхпластичности (СП) кобальт-никелевого сплава 67КН5Б, оценены их вклады в общую деформацию в зависимости от среднего размера зерен, а также изучено фазовыделение в сплаве. Установлено, что при отжиге 1203К (10 мин), прокатанных на 90% образцов протекают рекристаллизационные процессы, в ходе которых образуется матричная структура с равноосными зёрнами. Образцы сплава 67КН5Б с соответствующей структурой после нанесения продольных и поперечных рисков были подвергнуты деформации на одноосное растяжение до степени деформации 50% при  $T=1143\text{K}$  и  $\dot{\epsilon}=1\cdot 10^{-3}\text{c}^{-1}$ . Установлено смещение поперечных рисков преимущественно на границах зерен, что свидетельствует о действии механизма зернограницного скольжения (ЗГС). Вклад ЗГС в общую деформацию, определенный методом рисков, составляет  $\gamma_{\text{ЗГС}} \approx 60\text{-}62\%$ . Выявлено также действие внутриверного дислокационного скольжения (ВДС). Вклад ВДС, оцененный нами по методу Речингера, составил  $\gamma_{\text{ВДС}} \approx 15\%$ . Структура сплава после деформации отличается повышенной плотностью межзеренных порообразных трещин, объемная доля которых составляет  $f \approx 20\%$ .

Далее обработкой: закалка от 1223К (10мин), прокатка на 90% и отжиг при 1153К (20 мин) получили структуру с меньшим размером зерен  $\langle d \rangle \approx 2,7$  мкм. Установлено выделение сферических частиц на границах и в объеме зерен матрицы с  $\langle d_0 \rangle \approx 1\text{-}1,5$  мкм. Определено, что это частицы фазы с ГПУ решеткой, объемная доля которых составляет  $\langle f_{\eta} \rangle = 17\text{-}20\%$ . Результаты исследования микроструктуры показывают, что в процессе СПД при  $T=1143\text{K}$  и  $\dot{\epsilon}=1\cdot 10^{-3}\text{c}^{-1}$  образцов сплава с  $\langle d_0 \rangle = 2,7$  мкм основным механизмом деформации является ЗГС. Вклад ЗГС в общую деформацию составил  $\gamma_{\text{ЗГС}} = 68\%$ . При СПД образцов до степеней растяжения 60% заметного образования межзеренных пустот и трещин не наблюдается. Установлено, что при СПД происходит растворение частиц ГПУ-фазы в матрице и образование «диффузионных» зон вблизи границ зерен матрицы. Поэтому в настоящей работе предполагается, что одним из аккомодационных процессов при СПД является диффузионный массоперенос атомов, инициируемый растворением частиц вторичной фазы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М.К. Скаков

# РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЗОН СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ

Б.К. Увалиев

Восточно-Казахстанский государственный университет  
им. С. Аманжолова

Данная работа основана на результатах исследования стали 30ХГСА с помощью X-Ray дифрактометра ДРОН-3. Использовалось  $Co_{K\alpha}$ -излучение. Для изготовления образцов во избежание наклепа и закалки использовался электроискровой метод. Была подобрана сварочная проволока Св-08Г2С с повышенным содержанием марганца. Сталь 30ХГСА относится к классу конструкционных, низколегированных, высокопрочных сталей. Она обладает высоким комплексом эксплуатационных свойств и предназначена для ответственных сварных конструкций, работающих при знакопеременных нагрузках, а также при низких температурах. Однако, стали данного класса, обладают двумя недостатками. Первым является низкая ударная вязкость, вследствие чего они склонны к образованию холодных трещин после сварки [1]. Вторым недостатком является склонность к охрупчиванию в результате насыщения металла шва водородом в процессе сварки [2]. Качественный фазовый анализ образцов сварного соединения, проведенный нами выявил наличие в матрице  $\alpha$ -фазы с ОЦК - решеткой, а в металле шва и плоскости сварного шва – присутствие двух фаз:  $\alpha$ -фазы с ОЦК-решеткой и  $\gamma$ -фазы с ГЦК–решеткой. Однако, дифракционные линии  $\gamma$ -фазы слабые по интенсивности, они асимметричны и размыты со стороны малых углов дифракции. Эти данные свидетельствуют о малом количестве частиц  $\gamma$ -фазы. Периоды элементарной ячейки  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фаз соответственно равны 0,28622 и 0,36188нм.

---

1. Лобанов Л.М., Миходуй Л.И., Гордонный В.Г. Состояние и перспективы применения в сварных конструкциях высокопрочных сталей с улучшенной свариваемостью. Автоматическая сварка. 1998. № 12, с. 29-34.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений.- 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение. 1990.528 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М.К. Скаков

# РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ ВСКИПАНИЯ В СТЕКАЮЩИХ ПЛЕНКАХ ЖИДКОСТИ ПРИ СТУПЕНЧАТОМ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИИ

А.Н Чернявский., А.В.Суртаев  
Новосибирский государственный университет

Ранее исследования теплообмена, переходных процессов в стекающих плёнках жидкости проводились в условиях стационарного тепловыделения, когда время нарастания тепловой нагрузки было существенно больше характерных времен развития процессов теплообмена.

В данной работе проведено экспериментальное исследование динамики переходных процессов при нестационарном тепловыделении и получены расчетные зависимости для времени ожидания вскипания в стекающих пленках жидкости от теплового потока.

Из сопоставления полученных опытных данных и результатов численного моделирования по времени ожидания вскипания следует, что в исследованном диапазоне изменения числа Рейнольдса при разработке расчетных методик необходимо учитывать существенное влияние конвективной составляющей теплообмена и развитие испарения жидкости со свободной поверхности пленки, снижающего скорость роста температуры теплоотдающей поверхности, (Рис. 1).

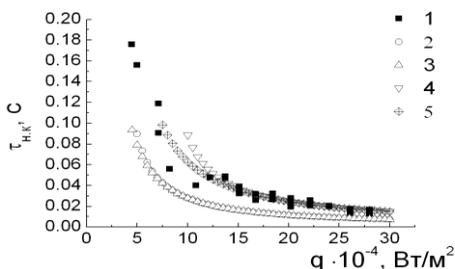


Рис. 1. Зависимость времени ожидания вскипания в пленке азота от плотности теплового потока при  $P_{нас.}=0.1$  МПа.  $Re_{вх}= 847$ .  $\Delta T_{н.к}=\Delta T_{пр}=26$ К. 1 – опытные данные; 2, 3 – расчет  $\tau_{н.к}$  при  $a=a_{конд}$  для  $\delta=\delta_{ост}$ ,  $\delta=\delta_{макс}=\delta_{зр.в}$ , соответственно; 4, 5 – расчет  $\tau_{н.к}$  при  $a=a_{эфф.конв}=2.23a_{конд}$  для  $\delta=\delta_{ост}$ ,  $\delta=\delta_{макс}=\delta_{зр.в}$ , соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-08-18022-а) и Интеграционного проекта СО РАН (№ 2.5).

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПОЛЕЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ В СЕГНЕТОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

И.Ф. Шарафуллин

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Одной из важных задач исследования свойств новых ВТСП соединений, является рассмотрение эффекта обменного усиления динамических связей в сегнетомагнитных материалах с учётом симметрии. Взаимосвязь между сегнетоэлектрической и магнитной подсистемой сегнетомагнетиков даёт возможность управлять электрическими и магнитными свойствами кристаллов при помощи соответственно магнитного и электрического поля.

Нами рассматривается взаимодействие спиновых и сегнетоэлектрических волн в антисегнетоантиферромагнитных кристаллах в орторомбической фазе. В гамильтониане системы учитывается энергия спиновой, сегнетоэлектрической подсистемы, а также энергия взаимодействия этих подсистем (энергия магнитоэлектрического взаимодействия). Путем квантования колебаний намагниченности, электрической поляризации найдены спектры спиновых, сегнетоэлектрических волн, а также явная зависимость коэффициентов связи спиновой и сегнетоэлектрической подсистем от феноменологических постоянных. Для кристаллов орторомбической симметрии определены инварианты магнитоэлектрических взаимодействий, исследованы коэффициенты связи между спиновыми и сегнетоэлектрическими волнами в зависимости от направлений волнового вектора, внешнего электрического и магнитного поля. Показано, что величина магнитоэлектрического взаимодействия увеличивается с увеличением внешнего магнитного поля, при увеличении внешнего электрического поля параметр магнитоэлектрического взаимодействия уменьшается. Получена зависимость характеристики взаимодействия спиновой и сегнетоэлектрической подсистем в зависимости от внешнего магнитного поля с учётом того, что величина волнового вектора также зависит от внешнего магнитного поля.

---

1. Кызыргулов И.Р., Харрасов М.Х. Обменное усиление магнитоупругих колебаний в кристалле  $YBa_2Cu_3O_6$  // ДАН. 2000. Т. 373, №2. С. 188-190.

2, Туров Е.А. Может ли существовать в антиферромагнетиках магнитоэлектрический эффект со слабым ферромагнетизмом и пьезомагнетизмом // УФН, 1994, т 164, №3, с.325–332.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доц. И.Р. Кызыргулов

# ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

## ДИАГНОСТИКА ПОЛЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ ГОЛ-3 С ПОМОЩЬЮ ЗОНДА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ЗЕЕМАНА

А.С. Аракчеев, А.В. Судников  
Новосибирский государственный университет

В настоящий момент одним из наиболее перспективных источников энергии считается управляемый термоядерный синтез. Одной из возможных систем для УТС является открытая ловушка.

Установка ГОЛ-3 представляет собой многопробочную (55 ячеек) открытую плазменную ловушку с полем от 3.2 Тл до 4.8 Тл. Плазменный шнур длиной ~12 м при температуре ~2.5 кэВ и плотности  $10^{20} \div 10^{22} \text{ м}^{-3}$  удерживается ~1 мс. Для разогрева сквозь плазму пропускается электронный пучок с энергией электронов ~1 МэВ, длительностью ~8 мкс, энергозапасом до 0.3 МДж.

О процессах, происходящих в шнуре, можно судить по профилю магнитного поля. При расширении плазменного шнура магнитное поле в пристеночном пространстве возрастает. Было предложено диагностировать этот процесс, исследуя зеемановское расщепление линии  $\text{Ne } 6402,246 \text{ \AA}$ .

При выполнении данной работы ставились следующие задачи:

1. Разработать схему включения импульсного и постоянного источников света с данной длиной волны, используемых в качестве датчика,
2. Откалибровать зонд по известному полю,
3. Измерить поле магнитной системы в нескольких точках установки,
4. Определить технические ограничения на использование зонда такого типа для диагностики расширения шнура.

В результате были получены снимки с тремя спектральными линиями.

Для аппроксимации данных была применена следующая модель:

- ✓ Центральным пиком на снимке является нерасщепленная линия,
- ✓ Боковые пики соответствуют  $\Sigma$ -компоненте линии при максимальной напряженности поля,
- ✓ Между ними находится картина  $\Sigma$ -компоненты линии при линейно возрастающем поле.

Наилучшая аппроксимация максимума поля соответствует  $5,2 \pm 0,8 \text{ Тл}$ . Измерение минимума дало значение  $2,8 \pm 0,5 \text{ Тл}$ .

Погрешность в 15% в максимуме даёт абсолютную погрешность в 0,8 Тл. Таким образом, измерение ожидаемого изменения магнитного поля в зазоре между плазмой и вакуумной проводящей стенкой 0,1 Тл данной

установкой невозможно. Необходимо увеличивать интенсивность излучения или использовать более точный оптический прибор.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук, науч. сотр. ИЯФ СО РАН  
И.А. Иванов

## **ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА РАЗРЯДА В ЖИДКОСТИ**

С.В. Кириловский  
Новосибирский государственный университет

Развитие техники ставит перед физикой задачу исследования процессов с большими концентрациями энергии, высокими давлениями и температурами. Импульсный электрический разряд в жидкости является одним из таких процессов. Одним из способов получения давлений с такой же амплитудой и длительностью как при взаимодействии электронного пучка с веществом, является высоковольтный разряд в воде. Так, например авторам работы по высоковольтным разрядам в жидкости удалось получить импульсы давления в десятки килобар и длительностью  $\sim 10$  мкс.

Данная работа проводилась на стенде, изготовленном в ИЯФ. Целью работы было определение напряжения и тока, проходящего через канал разряда в жидкости. Эта задача интересна тем, что давление в плазменном канале сильно зависит от тока и напряжения проходящего через него. Измерив эти две величины, мы сможем лучше понять процесс скачкообразного изменения давления в жидкости.

Для проведения эксперимента была разработана установка, состоящая из батареи конденсаторов емкостью  $C = 6 \mu\text{F}$  и предельным напряжением 50 кВ, которая через разрядник ИРТ-6 коммутируется с разрядной камерой. Разрядная камера состоит из пластикового цилиндра, наполненного водопроводной водой. В камере расположены два остроконечных медных электрода. Ток в разрядном контуре измеряется с помощью пояса Роговского, а напряжение с помощью омического делителя. В начале эксперимента батарея конденсаторов заряжалась до напряжения 15-18 кВ, затем, с помощью разрядника ИРТ-6, батарея конденсаторов замыкалась на электроды, находящиеся в воде. В процессе эксперимента выяснилось, что в начальный момент времени напряжение на электродах разрядной камеры остается почти равным напряжению зарядки конденсаторов, а ток  $I \approx 0$  А.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что имеют место оба типа разряда. После замыкания ИРТ-6 протекает тепловой, а после

~ 100 мкс переходит в лидерный. Установлено, что в начальный период времени после замыкания ИРТ-6, ток, протекающий через разрядный контур, практически равен нулю, пробой происходит с заметной задержкой ~ 100 мкс.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук И.А. Иванов

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ, ГОРЯЩЕЙ В ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ.

И.Ю. Коваль

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена экспериментальному исследованию электрической дуги, горящей в цилиндрическом канале и замкнутой на расплавленные металлические электроды. Принципиальной особенностью, отличающей исследуемый разряд от изучавшихся ранее, является использование в качестве обоих электродов расплавленного металла. Жидкометаллические электроды оказывают существенное влияние на характер разряда. Целью представленной работы является выявление основных особенностей дугового разряда, обусловленных использованием жидкометаллических электродов, и изучение того, как влияет расход плазмообразующего газа и длина открытого участка на характеристики дуги.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований вольтамперных характеристик дуги, горящей в открытом пространстве, при различных расходах плазмообразующего газа (воздуха, 10÷15 г/с) и длинах открытого участка (2÷7 см.). Вольтамперные характеристики дуги падают во всём исследуемом диапазоне, т.е. с ростом тока напряжение на дуге уменьшается. Увеличение расхода плазмообразующего газа ведёт к увеличению напряжения на дуге. В работе показано,

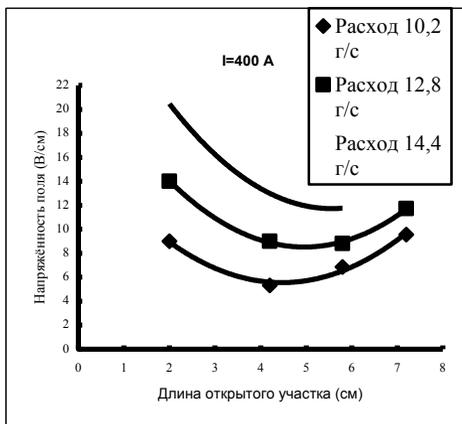


Рис. 1. Зависимость средней напряжённости на дуге от длины открытого участка

что средняя напряжённость поля на дуге имеет минимум при длине открытого участка 4÷5 см. (рис. 1). В работе проведено сравнение полученных результатов с результатами, представленными в литературе.

Научный руководитель – чл.-кор. РАН М.Р. Предтеченский

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МИШЕНИ НА ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА МАГНЕТРОННОГО ТИПА**

Т.В. Козлова, Д.И.Рогило  
Новосибирский государственный университет

Исследование процессов взаимодействия ионов с поверхностью твёрдого тела - актуальная задача для термоядерных и плазменных установок с точки зрения фундаментальных и прикладных задач. Важная проблема – распыление материалов при их различных температурах и энергиях ионных пучков. При повышении температуры следует ожидать увеличения коэффициента распыления ( $\gamma$ ). Например, в работе [1] исследована эта зависимость для меди от температуры (Ag/Cu). Показано, что в области низких температур (600÷800 °С)  $\gamma$  практически не зависит от температуры, а начиная с 850 °С он увеличивается в 1,5÷2 раза. Известно, что процесс ионного распыления происходит в приповерхностном слое металла толщиной 0,3÷0,8 нм, и на него в магнетронно-распылительных системах (МРС) затрачивается менее 3% подводимой энергии. Остальная энергия переходит в тепло, что приводит к сильному нагреву мишени, начинаются процессы испарения и самораспыления [2].

Цель работы - исследование эмиссионных характеристик распыляемой медной мишени при энергиях ионов до 700 эВ на примере работы МРС. Температура мишени поддерживалась в двух режимах: в области комнатных температур и близких к плавлению.

Давление аргона изменялось от 0,05 до 0,5 торр. Ток эмиссии катода не превосходил 1 А. Катод – медный диск диаметром 54 мм, толщина 3 мм, анод – диск из сплава D16–Т. Расстояние катод – анод: 30÷60 мм.

Выявлена чёткая зависимость вольтамперных характеристик (ВАХ) от температуры мишени. При этом переход ВАХ носит пороговый характер. При повышении температуры наблюдается резкий переход разряда в область меньших напряжений. ВАХи имеют повышенную крутизну при высокой температуре: имеют большие величины токов при постоянной разности потенциала между мишенью и анодом и постоянном давлении арго-

на. В этом случае наблюдается яркое свечение возбуждённых состояний меди, что может объяснять участие атомов меди в процессе распыления.

---

1. Ваулин Е.П. и др. Зависимость коэффициента распыления меди от температуры/Физика твердого тела. 1977, т.19, №5.

2. Данилин Б. С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы/ Радио и связь, 1982.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А.С. Золкин

## **СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ВАКУУМНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

М.В. Колосов

Новосибирский государственный университет

Анализ пространственного распределения собственного излучения является эффективным средством контроля и диагностики параметров плазмы. В субтермоядерной плазме ( $T_e \sim 0,1 \div 10$  кэВ) значительный интерес представляет исследование излучения в вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) области спектра, содержащей яркие спектральные линии ионов основных примесей.

Совместное использование видимого и ультрафиолетового спектрометров позволяет провести их абсолютную калибровку, повысив таким образом информативность получаемого спектра.

Для решения этой задачи необходимо предложить и смоделировать оптическую схему установки спектрометров на общей оптической оси. При этом из-за отсутствия пропускающих оптических элементов, в спектрометре ВУФ диапазона разложение в спектр и фокусировка должны осуществляться только отражающими элементами. Для этого разумно использовать сферическую (или вогнутую) дифракционную решётку.

Моделирование оптической схемы комплекса производилось с помощью программы ZEMAX, которая рассчитывает оптический ход лучей для схем с заданными параметрами. В результате расчётов получены оптимальные значения размеров решётки, щели, расстояний между элементами.

На установке ГОЛ-3 собран спектрометр видимого излучения, проведена его абсолютная калибровка, и на нём начаты измерения.

---

1. А.Н. Зайдель, Г.В. Островская, Ю.И. Островский, «Техника и практика спектроскопии»

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. ИЯФ СО РАН С.В. Полосаткин

## **РЕГИСТРАЦИЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ ЛАВИННЫМИ ФОТОДИОДАМИ**

Е.И. Пинженин

Новосибирский государственный университет

На установке Газодинамическая ловушка ИЯФ СО РАН существуют задачи, связанные с регистрацией потоков заряженных частиц. Для их решения может быть целесообразно использование лавинных фотодиодов с предельно тонким мертвым слоем, разрабатываемых в ИФП СО РАН. Для регистрации потоков протонов с энергией 3 МэВ, рождающихся в результате D-D реакции, сейчас применяется PIN диод, также разработанный в ИФП СО РАН. Применение диодов с лавинным усилением может существенно улучшить отношение сигнал-шум в условиях сильных электромагнитных помех. Для регистрации потоков частиц с энергией больше 10÷100 кэВ (нейтралов перезарядки), несущих информацию об энергии быстрых частиц плазмы, сейчас применяется микроканальные пластины. Применение лавинных диодов может улучшить регистрацию потоков таких частиц.

Целью работы было проверить возможность регистрации отдельных заряженных частиц диодом в режиме лавинного усиления. В качестве тестовых частиц использовались альфа-частицы с энергией 5 МэВ (источник Pu-239). Для уменьшения энергии до 2,5 МэВ использовалась Al фольга толщиной 10 мкм.

В работе представлены амплитудные распределения импульсов заряженных частиц, при различных напряжениях смещения на диоде. Увеличение импульсов от альфа-частиц при напряжения смещения 950 В относительно "полочки" при 200 В достигает 15 и более, при соответствующем усилении световых импульсов всего 2. Энергетическое разрешение при этом существенно ухудшается.

В первых экспериментах у исследуемых лавинных диодов в течение нескольких часов облучения альфа-частицами наблюдалось значительное увеличение темнового тока и исчезновение эффекта лавинного усиления. При коллимации потока (облучение только рабочей области), время работы диода значительно увеличивается.

Следующими шагами нашей работы должны стать выяснение и устранение причин большого разброса амплитуд импульсов в режиме лавинного усиления, регистрация частиц с меньшими энергиями (вплоть до  $10\div 15$  кэВ).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИЯФ СО РАН В.В. Максимов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕННИНГОВСКОГО ИСТОЧНИКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ВОДОРОДА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ ВЫТЯГИВАНИЯ ПУЧКА**

Н.С. Ряшин

Новосибирский государственный университет

Источники отрицательных ионов (ОИ) широко применяются в научных исследованиях и в различных промышленных технологиях. Например, они используются в циклотронах и тандемных ускорителях, в перезарядной инжекции протонов в накопительные кольца ускорителей высоких энергий. Их применение позволяет увеличить энергию ускоряемых частиц, расположить источник и другие основные блоки установки под земляным потенциалом, с высокой эффективностью получать пучки высокоэнергетичных нейтральных атомов для инжекции в термоядерные установки.

Для увеличения эффективности работы ускорителей необходимо использовать сильноточные стационарные источники ОИ. В настоящее время ведущие лаборатории мира активно ведут разработку подобных установок. В ИЯФ такие источники создаются для тандемов БНЗТ и циклотронов.

Важной характеристикой источников ОИ является эмиттанс, величина которого определяет возможности фокусировки и формирования пучка для последующего ускорения. Эмиттанс, а также ток пучка, стабильность и длительность работы установки во многом зависят от свойств плазмы разряда, плазменной границы и конструкции ионно-оптической системы (ИОС).

В работе исследовалось влияние различных параметров ИОС (таких, как геометрия и толщина электродов, форма эмиссионного отверстия) на характеристики экспериментального поверхностно-плазменного источника ОИ. Исследование проводилось в целях определения оптимальных условий работы источника для получения наибольшего полного тока на выходе, стабилизации работы и уменьшения токов на электроды ИОС.

С высоким пространственным разрешением зарегистрированы распределение плотности тока и локальная угловая расходимость по поперечному сечению пучка ионов. Рассчитаны фазовые диаграммы и вычислен полный эмиттанс. Представлены результаты экспериментальных измерений для различных ИОС. Численное моделирование ИОС проведено с помощью кода PBGUNS. Обработка экспериментальных результатов осуществлена с использованием специальной программы расчета эмиттанса, разработанной в ИЯФ.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. ИЯФ СО РАН А.Л. Санин

## **ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК В РАЗРЯДЕ В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ**

А.В. Сасин

Карельский государственный педагогический университет

Исследован процесс образования углеродных пленок в разряде в скрещенных полях в неоне с цилиндрической геометрией графитовых электродов. Пленки формировались на подложке из кремния или стекла путем распыления внешнего электрода – катода в режиме постоянного тока.

Предложена простая диффузионная модель образования пленок. В основу модели были положены следующие предположения:

- ✓ атомы углерода появляются в разрядном промежутке вследствие эрозии катода под действием бомбардировки положительными ионами неона;
- ✓ осаждение углерода на подложку происходит в результате диффузии атомов в неоне;
- ✓ атомы углерода оседают на аноде и на подложке;
- ✓ коэффициент прилипания атомов углерода к аноду и подложке принят равным единице.

Толщина пленки рассчитывалась в предположении плотной упаковки. Для численного расчета коэффициент диффузии углерода в неоне принят равным  $0.2 \text{ м}^2/\text{с}$ .

Для оценки толщины пленок использовалась интерференционная картина, полученная в отраженном свете при длине волны 546 нм.

Пленки имеют круговую симметрию и содержат от двух до двадцати интерференционных колец, в зависимости от пропущенного заряда.

Показано, что толщина напыления практически не зависит от установленного электрического тока и определяется, в основном, зарядом, пропущенным через разрядный промежуток.

В рассмотренном диапазоне токов (20 и 5 мА) зависимость коэффициента распыления от тока незначительна.

Установлено, что радиальный ход толщины пленки лучше согласуется с результатами расчетов вдали от центра и соответствует коэффициенту распыления 0.6 – 0.7.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. С.Д. Вагнер

## **РАСЧЕТ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ДЛЯ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ ВОДНОГО ЛЬДА**

Ю.А. Снеткова

Самарский государственный университет

Принципиальным вопросом для исследователей комет на протяжении нескольких столетий являлся вопрос о природе отталкивающей силы Солнца. Возможность объяснить природу данной силы непротиворечивым образом появилась после открытия русским физиком П.Н. Лебедевым в 1900 году явления светового давления [1].

Опытные исследования показали, что световое давление играет ключевую роль в формировании пылевых хвостов комет. Попытка объяснить большие ускорения потоков частиц в ионном хвосте лишь с помощью светового давления оказалась несостоятельной. Решение указанной проблемы нашел немецкий астрофизик Л. Бирман в 1951 г [2]. Он предположил, что большие ускорения частиц ионного хвоста достигаются взаимодействием последних с потоками плазмы, испускаемыми Солнцем, впоследствии названными солнечным ветром (SW). Согласно экспериментальным исследованиям, средняя концентрация SW-плазмы может увеличиваться в  $10^1 \div 10^2$  раз в период солнечной активности. Указанный факт свидетельствует о том, что давление SW-плазмы становится сравнимым по величине со световым давлением. Согласно сказанному, основной задачей данной работы является вычисление и анализ силы давления SW-плазмы на сферическую частицу водного льда. Данная сила (и соответствующее эффективное давление) исследована на примере зависимостей от радиуса частицы, температур SW-частиц, их концентраций. Выявлено, что зависимость давления от радиуса частицы обусловлена механизмом передачи импульса частицами, проходящими сквозь корпускулу. Показано, что основной вклад в силу давления дают протоны. При этом данная сила имеет существ-

венную зависимость от концентрации, что должно отразиться на характере движения хвоста кометы второго типа.

Полученные результаты могут быть использованы при высокоточном вычислении законов движения корпускулы хвоста кометы, исследовании физических характеристик как самой кометы, так и ближних окрестностей Солнечной системы, Солнца.

---

1. Lebedev P.N. The Experimental Study of the Pressure of the Light. Annalen der Physik. Leipzig 6. 433. 1901.

2. Biermann L. Kometenschweife und solare Korpuskularstrahlung. Zeitschrift fur Astrophysik. Vol. 29. P. 274. 1951.

Научный руководитель – Ю.П. Филиппов

## **ДИАГНОСТИКА КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЕННОГО ШНУРА УСТАНОВКИ ГОЛ-3 МНОГОКАНАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ЗОНДОМ**

А.В. Судников

Новосибирский государственный университет

Одним из альтернативных путей к решению проблемы управляемого термоядерного синтеза является развитие методов удержания плазмы в открытых ловушках. Установка ГОЛ-3 представляет собой многопробочную открытую плазменную ловушку с полем от 3.2 Тл до 4.8 Тл. Плазменный шнур длиной  $\sim 12$  м при температуре  $\sim 2.5$  кэВ и плотности  $10^{20} \div 10^{21}$  м<sup>-3</sup> удерживается  $\sim 1$  мс. Для нагрева плазмы используется электронный пучок с энергией электронов  $\sim 1$  МэВ, длительностью  $\sim 8$  мкс, энергозапасом до 0.3 МДж. Задачей экспериментов на установке является поиск режимов, в которых время жизни плазмы в ловушке было бы максимальным.

На время жизни плазмы оказывают влияние различного рода неустойчивости. Плазменный шнур может вращаться, смещаться относительно оси, изменять форму своего сечения. Во время основной фазы эксперимента по плазме протекает продольный ток амплитудой до 5 кА. Измерение азимутальной компоненты магнитного поля позволит наблюдать несколько основных мод колебаний сечения шнура.

Первым шагом при создании подобной диагностики стало конструирование одноканального прототипа малогабаритного помехозащищенного датчика. Он был изготовлен и смонтирован на установке ГОЛ-3. Помимо проверки инженерных решений, этот датчик позволил начать сбор физической информации о характерных частотах колебаний шнура и о смещении

токового центра. Эффективное расстояние от токового центра до датчика действительно изменяется в ходе эксперимента, что свидетельствует о существовании процессов, изменяющих форму и положение плазменного шнура. В спектре сигнала содержатся несколько частот, которые близки к частотам плазменных процессов (для параметров ГОЛ-3 период "магнитного звука" составляет 0.22 мкс, а возникающее в скрещенных электрическом и магнитном полях вращение плазмы имеет период  $\sim 10$  мкс)

Следующим шагом работы является разработка многоканального датчика, измеряющего в 16 точках, расположенных в одном сечении плазменного шнура. Такой детектор позволит обнаружить азимутальные моды колебаний до седьмой включительно. Временное разрешение определяется оцифровкой сигнала. Разработана конструкция датчика, которая отличается от прототипа и улучшенной помехозащищённостью. Ведётся изготовление узлов, монтаж на установке запланирован на ближайшие месяцы.

Научный руководитель – канд.физ.-мат.наук, ст. науч. сотр. ИЯФ СО РАН В.В. Поступаев

# ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

## АТОМНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

И.О. Ахундов

Новосибирский государственный университет

Атомно-гладкие поверхности полупроводников необходимы для научных исследований, а также для создания приборов нанoeлектроники и optoeлектроники. Задачу создания таких поверхностей путём термического отжига в вакууме можно считать решенной для кремния. Для полупроводниковых соединений  $A^3B^5$  дело осложняется различной летучестью компонент. В работах [1,2] был предложен метод выглаживания GaAs, состоящий в термическом отжиге в условиях равновесия между кристаллом и парами галлия и мышьяка. С помощью этого метода были получены поверхности GaAs(001) с упорядоченной системой атомно-гладких террас, разделенных ступенями монокристаллической высоты. Однако, микроскопические механизмы и оптимальные условия атомного выглаживания арсенида галлия изучены недостаточно.

В данной работе решаются две задачи. Первая состоит в выяснении вопроса о влиянии слоя оксидов на поверхности GaAs на процесс выглаживания. Для решения этой задачи подготовлены и начаты эксперименты, в которых удаление оксидов в растворе HCl в изопропиловом спирте и последующая загрузка в установку для отжига проводится в перчаточном боксе, в атмосфере азота.

Вторая задача состоит в выяснении вопроса о том, насколько экспериментальные условия выглаживания кристалла, находящегося в кассете вместе с насыщенным раствором-расплавом Ga-GaAs, близки к равновесным. Согласно термодинамике объёмных фаз, при любой заданной температуре, в замкнутой кассете должно устанавливаться равновесие между кристаллом, жидким расплавом и парами галлия и мышьяка. Однако, на реконструированной поверхности, с учётом существования поверхностных фаз, отклонения от равновесия могут приводить к росту или сублимации кристалла. Вопрос о величине и знаке отклонений от равновесия предполагается выяснить с помощью экспериментов на подложках с предварительно изготовленными мезоструктурами. Эти эксперименты позволят установить, имеет место рост или сублимация по направлению движения атомных ступеней, а также оценить величину отклонений от равновесия в нашей системе.

- 
1. V. L. Alperovich et al. Proc. 12th Intern. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology", St Petersburg, Russia, 21-25 June, 2004, p. 203.
  2. V. V. Bakin et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. **5** (2007) (in press)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.Л. Альперович

## ОСОБЕННОСТИ ЗОНДОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ В ПАРАХ $C_2H_5OH$

А.С. Васильев

Новосибирский государственный университет

Известен метод модификации поверхности полупроводников и металлов, основанный на локальном анодном окислении под иглой атомно-силового микроскопа [1]. В работе [2] был показан полученный оксид в процессе нанooksисления с использованием атмосферы этилового спирта, темп роста которого превышал аналогичный в атмосфере воды. Данная работа посвящена изучению особенностей локального анодного окисления кремневых пленок с использованием паров этилового спирта в качестве источников анионов.

АСМ эксперименты проводились на микроскопе Solver P-47H (NT-MDT) с оборудованием для литографии.

Для создания атмосферы этилового спирта возле места взаимодействия игла-образец, сканирующий зонд атомно-силового микроскопа был помещен в герметичную камеру. Для осушения атмосферы внутри камеры, камера продувалась парами жидкого азота. После осушения - напускались пары этилового спирта.

Исследования проводились на выглаженных поверхностях кремния (111). Непрерывное анодное окисление поверхности кремния, покрытого естественным окислом, наблюдалось в широком диапазоне прикладываемых напряжений и времен окисления. Спектр высот получаемого оксида изучался как функция прикладываемого напряжения и скорости движения иглы. Специальное внимание было направлено на различие процессов окисления в воде и спирте. Мы обнаружили, что окисление в атмосфере этилового спирта более интенсивно, чем в атмосфере воды.

- 
1. J.-I. Shirakashi, K. Matsumoto, M. Konagai, Appl. Phys. A, 66(1998), pp.1083-1087

2. M. Tello, R. Garcia, Appl. Phys. Lett., V.83, 12, 2339, 2003.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Д.В. Щеглов

## **СЕЛЕКТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЦЕЗИЯ И ЙОДА С As- И Ga-СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ GaAs(001)**

Н.Н. Велькер

Новосибирский государственный университет

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию селективного взаимодействия цезия и йода с поверхностью GaAs(001) с целью установления микроскопического механизма уменьшения энергии связи поверхностных атомов полупроводника. Было установлено, что при адсорбции цезия на As- стабилизированную поверхность GaAs(001)-(2x4)/c(2x8) наблюдается снижение на 100 градусов температуры сверхструктурного перехода от As- стабилизированной поверхности (2x4)/c(2x8) к Ga- стабилизированной (4x2)/c(8x2) [1]. Этот результат позволяет высказать гипотезу, что эффект обусловлен уменьшением энергии связи поверхностных атомов As. Аналогичный эффект уменьшения энергии связи атомов Ga на поверхности GaAs наблюдался при адсорбции атомов йода на Ga-стабилизированную поверхность GaAs(001)-(4x2)/c(8x2) [2]. Основной целью данной работы являлось установление взаимосвязи между электроотрицательностью адсорбата (на примере атомов Cs и молекул I<sub>2</sub>) и уменьшением энергии связи поверхностных атомов полупроводника.

Методами дифракции медленных электронов и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показано, что последовательной адсорбцией цезия и йода на As- и Ga-стабилизированную поверхность GaAs(001), соответственно, и прогревом при  $T \leq 470^\circ\text{C}$  можно обратимо осуществлять переходы между поверхностями с реконструкцией (2x4)/c(2x8) и (4x2)/c(8x2). Наблюдаемые цезий- и йод – индуцированные переходы между As- и Ga-стабилизированной поверхностями GaAs(001) могут быть объяснены уменьшением энергии связи поверхностных атомов полупроводника вследствие перераспределения электронной плотности между адсорбатом и верхними слоями атомов подложки. Таким образом, в работе реализовано атомно-слоевое травление поверхности GaAs(001) при температуре ниже  $T$  приготовления Ga-стабилизированной поверхности ( $T=550^\circ\text{C}$ ).

---

1. O.E. Tereshchenko, V.L. Alperovich, A.S. Terekhov, Phys. Rev. B 71, 155315 (2005).

2. W.K. Wang, W.C. Simpson, J.A. Yarmoff, Phys. Rev. Lett. 81, 1465 (1998);

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О.Е. Терещенко

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАЦИЕЙ ТЕРМОДОНОРОВ В КРЕМНИИ**

Д.Т. Гаипова

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

В объеме монокристаллического кремния, выращенного по методу Чохральского, всегда имеются быстродиффундирующие примеси (БДП), положения которых в кристаллической решетке нестабильны. В процессе изготовления полупроводниковых приборов, когда кристаллы подвергаются различным термообработкам, БДП, активировавшись, могут участвовать в образовании различных термодфектов

В связи с этим, целью настоящих исследований является уточнение влияния БДП кобальта и никеля на кинетику генерации термодоноров, возникающих в объеме кремния в процессе отжига кристаллов в интервале температур 300-500<sup>0</sup>С. Для решения этой задачи монокристаллический кремний марки КДБ-10 диффузионно легировался одним из (Co, Ni) примесей. Легирование осуществлялось при температуре 1250<sup>0</sup>С в течение 2-5 ч. Перед тем как подвергнуть эти образцы, а также контрольные Si<B>, последующим термообработкам в интервале температур 300-500<sup>0</sup>С, все образцы Si<B,Ni>, Si<B,Co> подверглись термоотжигу при температуре 300<sup>0</sup>С в течение 10 ч. Из приведенных результатов следует, что после термообработки практически все легированные БДП образцы, а также контрольные образцы кремния восстанавливали параметры исходного материала. Такая зависимость свидетельствует о полном распаде твердых растворов Si-Co, Si-Ni, а также термических дефектов в кремнии. После распада все образцы подвергались ТО в интервале температур 350-500<sup>0</sup>С с шагом 50<sup>0</sup>С. После ТО в интервале температур 350-450<sup>0</sup>С в образцах Si<B,Co> и Si<B,Ni> скорость образования ТД существенно повышается по сравнению с контрольными образцами.

Анализ этих результатов дает основание считать, что в составе ТД не только участвуют атомы O<sub>2</sub>, но и существенную роль играют и примесные атомы Ni,Co. В то же время концентрации электроактивных атомов практически равны растворимости этих примесных атомов при данной температуре. Поэтому можно предположить, что при образовании ТД или комплексообразовании существенно нарушается концентрация электроактив-

ных и электронейтральных частей этих примесных атомов, т.е. в этих процессах все растворы из примесных атомов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев

## СПИН-ЗАВИСИМОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПОВЕРХНОСТЬЮ НАМАГНИЧЕННОЙ ПЛЕНКИ НИКЕЛЯ

В.Г. Гришаев

Новосибирский государственный университет

GaAs фотокатоды с отрицательным электронным сродством широко применяются в экспериментальной физике в качестве источников спин-поляризованных электронов. Для поиска путей увеличения поляризации электронов из фотокатода необходимо понять физические процессы их деполяризации. Измерения спиновой поляризации фотоэлектронов, эмитированных в вакуум, помогут в понимании этих процессов. В данной работе исследована возможность использования спин-зависимого поглощения электронов окисленным слоем поликристаллического никеля для измерения спиновой поляризации электронов.

В качестве основы спин-фильтра использован жалюзийный динод от ФЭУ-83 из немагнитного алюминиевого сплава. Поверхность динода была покрыта слоем поликристаллического никеля, нанесённого термическим испарением в вакууме. Магнитные свойства слоя никеля определялись путём измерения параметров петли гистерезиса методом продольного магнитооптического эффекта Керра при комнатной температуре. Величина

коэрцитивной силы оказалась равной  $\sim 130-150$  Э. Изготовленный спин-фильтр был встроен в специальный сверхвысоковакуумный фотоэлектронный прибор (ФЭП). ФЭП состоял из полупроводникового GaAs(Cs,O) – фотокатода на стекле, медной микроструктурной сетки, жалюзийного

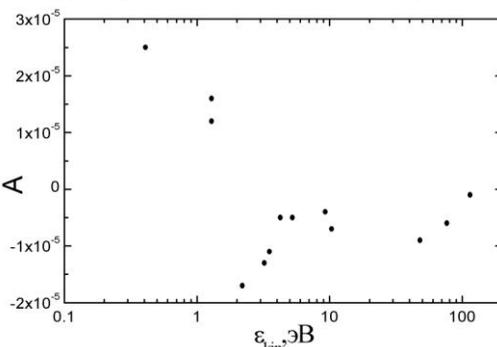


Рис. 1. Зависимость спин-зависимой асимметрии поглощения электронов намагниченной пленкой никеля от кинетической энергии электронов.

прототипа спин-фильтра и алюминированного люминофорного экрана. Перечисленные узлы ФЭП закреплены в метало-керамическом корпусе.

Используя ФЭП, была измерена спин-зависимая асимметрия поглощения электронов поверхностью намагниченной пленки никеля в зависимости от кинетической энергии падающих на нее электронов (рис.1), что доказало возможность применения такого устройства для измерения спиновой поляризации электронного пучка.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.С. Терехов

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКОГО КРЕМНИЯ

Д.А. Джаббарова

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

Наиболее близким по технической сущности предлагаемому нами способу является способ получения термостойкого кремния путем диффузионного легирования серой при 1200-1500°C длительностью 10-50 часов. При легировании серой происходит изменение исходных параметров кремния. В частности, после легирования серой образцов кремния как  $n$ , так  $p$ -типа проводимости с  $\rho \geq 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  получались образцы, имеющие  $n$ -тип проводимости с  $\rho = 1 \div 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ . Эти материалы обладали термостойкостью до 720 и 1100 °C. Преимуществом этого способа является возможность термостабилизации параметров кремния при условии сохранения однородности кристаллической решетки. Недостатком способа является узость интервала термостойкости кремния из-за интенсивного распада твердого раствора кремний-сера при  $T > 750^\circ\text{C}$ . Предлагаемый нами способ позволяет расширить интервал температурной стойкости кремния. Это достигается тем, что в способе получения термостойкого кремния путем диффузионного легирования серой осуществляется дополнительное диффузионное легирование никелем при температуре 1000-1250°C в течение 120 минут. Полученные результаты показывают, что непосредственно после диффузии серы образцы  $Si\langle B, S \rangle$  имеют  $n$ -тип проводимости с  $\rho = 2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ . Из приведенных результатов следует, что в процессе повторного отжига происходит частичный распад твердого раствора  $Si-S$ , вследствие чего по мере уменьшения температуры отжига происходит увеличение  $\rho$  контрольных образцов  $Si\langle B, S \rangle$ . Это свидетельствует о том, что действительно параметры образцов  $Si\langle B, S \rangle$  при высоких температурах отжига нестабильны. Дополнительное легирование образцов  $Si\langle B, S \rangle$  никелем приводит к уменьшению концентрации электроактивных атомов серы за

счет образования электронейтральных комплексов между серой и никелем. Вследствие этого по мере уменьшения  $\rho$  образцов  $Si\langle B,S,Ni\rangle$  увеличивается относительно  $\rho$  контрольных образцов  $Si\langle B,S\rangle$  с последующей инверсией типа проводимости. При этом наиболее эффективное взаимодействие между примесными атомами серы с никелем имеет место в интервале  $T = 800-1100^\circ\text{C}$ . Поэтому такие материалы не отличаются достаточно высокой термостойкостью.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т. У. Тошбоев

## **МЕТОД ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В $SiO_x$ СЛОЯХ**

А. Н. Карпов

Новосибирский государственный университет

Осаждение  $SiO_x$  слоя путем совместного распыления разнесенных в пространстве  $SiO_2$  и Si мишеней позволяет получать слои, толщина и состав которых зависят от координат на подложке. Достоинство таких  $SiO_x$  слоев с  $x$  в диапазоне  $0 \leq x \leq 2$  состоит в том, что участки с разным составом и толщиной получены при одних и тех же технологических условиях. Интерес к слоям  $SiO_x$  связан с наблюдением в них фотолюминесценции в видимой области спектра. [1] Спектральное положение максимума фотолюминесценции зависит от содержания кремния. Чтобы получить возможность управлять параметрами фотолюминесценции, нужно точно знать состав  $SiO_x$  слоя.

В  $SiO_2$  и  $SiO_x$  слоях исследовалось ИК поглощение в полосе частот  $1500 \div 500 \text{ см}^{-1}$  где наблюдаются три основных пика поглощения мостикового кислорода. Сравнивались координатные зависимости пиков поглощения в  $SiO_x$  слоях, полученных при распылении двух мишеней, и в слоях  $SiO_2$ , осажденных при распылении только кварцевой мишени. Найдено, что ИК поглощение в  $SiO_x$  слое больше, чем в  $SiO_2$  при одних и тех же координатах. Это означает, что распыляемый кремний захватывает кислород, что необходимо учитывать при определении состава  $SiO_x$  слоя.

1. T.Shimizu-Iwayama, S.Nakao, K.Saitoh. Visible photoluminescence in Si+ implanted thermal oxide films on crystalline Si. Appl. Phys. Lett., V. 65, N 14, P.1814-1816 (1994)

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук З.Ш. Яновицкая

## ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНАМИ ВЫСОКООМНОГО КРЕМНИЯ

М.С. Коваленко.

Кубанский государственный университет

Образование радиационных дефектов (РД) - одна из причин деградации кремниевых электронных приборов. В кремнии основными вторичными радиационными дефектами (ВРД) являются А, Е, К- центры, дивакансии (W), области разупорядочения (do), образующие глубокие уровни в запрещенной зоне. Их концентрации рассчитываются на основе решения системы уравнений квазихимических реакций первичных радиационных дефектов с примесными атомами.

Для получения численных значений концентрации ВРД в кремнии, выращенном методом Чохральского, использовалась модель [1]. Модель применима в области температур, в которой комплексы, являющиеся продуктами квазихимических реакций, стабильны. Свойства материала зависят от начальных концентраций основных примесей: атомов фосфора  $N_P$ , бора  $N_B$ , и сопутствующих примесей кислорода  $N_O$ , углерода  $N_C$ .

Расчеты демонстрируют более высокую радиационную стойкость кремния р-типа, по сравнению с n-типом.

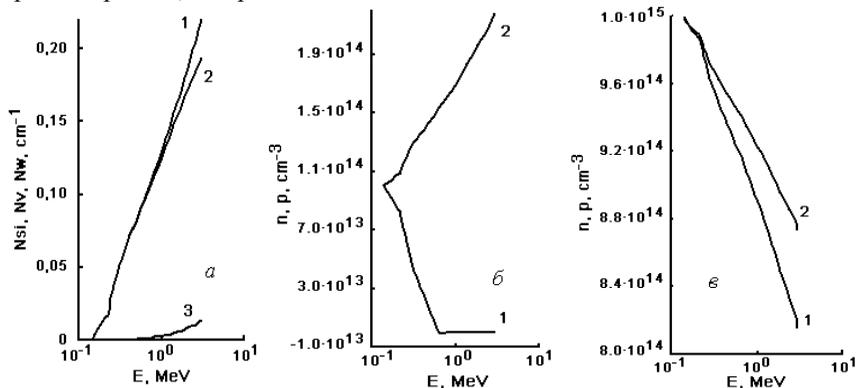


Рис. Зависимость концентрации первичных радиационных дефектов (а) и основных носителей заряда (б, в) от энергии падающих электронов

а: 1 – межузельный кремний, 2 – вакансии, 3 – дивакансии; б: 1 – электроны ( $N_P=10^{14} \text{ см}^{-3}$ ), 2 – дырки ( $N_B=10^{14} \text{ см}^{-3}$ ); в: 1 – электроны ( $N_P=1,1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_B=10^{14} \text{ см}^{-3}$ ), 2 – дырки ( $N_B=1,1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_P=10^{14} \text{ см}^{-3}$ )

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Н.М. Богатов

## ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В КОНДАКТАНСЕ КВАНТОВЫХ ПРОВОЛОК.

Д.А. Козлов

Новосибирский государственный университет

Квантование кондактанса в стандартных и широко изученных проволоках оказалось точным благодаря плавности электростатического потенциала, возникающей из-за, фактически, большого расстояния от поверхности до двумерного газа. В результате длина характерного изменения потенциала заметно превышала длину волны. Это приводило к подавлению межподзонного и обратного рассеяния, что и давало прозрачность  $T$  очень близкую к единице и, соответственно, кондактанс, близкий к  $2e^2/h$ .

В данной работе экспериментально проверен тот факт, что если границы квантовой баллистической проволоки сделать резкими (радиус скругления сравним с длиной волны электронов), то тогда будет наблюдаться разрушение квантования. Основная трудность заключалась в создании проволок с резкими границами. Чтобы изготовить их, использовался ДЭГ, расположенный на необычайно малом расстоянии от поверхности (25нм). Проволоки изготавливались по технологии локального анодного окисления и с помощью электронно-лучевой литографии. Характерные размеры наименьшей проволоки составляли 70нм (ширина), 100нм (длина) и 30нм (радиус скругления границ).

С изготовленных проволок снимались зависимости проводимости от затворного напряжения, магнитного поля и DC-смещения в диапазоне температур 0,2К-4,2К. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о справедливости сделанных предположений. При высокой температуре зависимость проводимости (кондактанса) от концентрации электронов имеет монотонный характер. При низкой

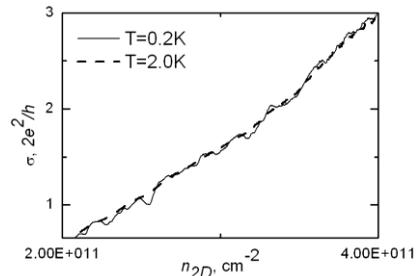


Рис 1. Зависимость кондактанса от концентрации электронов  $n_{2D}$

температуре на эту зависимость накладывается сложный набор осцилляций вместо обычного набора ступеней, что говорит о доминировании эффектов отражения и интерференции на границах щели над эффектом образования квазиодномерных подзон.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. З.Д. Квон

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ ПОДСВЕТКИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТОВЫХ ВОЛН В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА С ПРОСВЕТЛЕННЫМИ ГРЯНЯМИ**

А.А. Колегов, В.С. Беликов, Д.С. Бакланов  
Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Фоторефрактивные кубические кристаллы силленитов  $Vi_{12}MO_{20}$  ( $M = Ge, Si, Ti$ ) характеризуются быстрым нелинейным откликом, обладают естественной оптической активностью [1, 2] и с успехом применяются в устройствах обработки информации [1].

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты взаимодействия линейно поляризованных волн на отражательных голографических решетках в кристалле титаната висмута среза (100) с толщиной  $d = 1,5$  мм в условиях темновой релаксации кристалла после засветки некогерентным излучением от светодиода.

Запись решетки производилась излучением гелий-неонового лазера с длиной волны 633 нм. Стирание производилось некогерентным излучением светодиодов с длинами волн 635 нм, 570 нм, 502 нм и 470 нм. Последующие эксперименты проводились после выдержки кристалла в темноте в течении последовательно увеличивающихся промежутков времени. Эффективный коэффициент двухпучкового усиления на отражательной решетке  $\Gamma_{\text{eff}}$  рассчитывался из экспериментальных данных с использованием соотношения, полученного в работе [3] и френелевского коэффициента отражения для нормального падения. Получено, что при увеличении времени темновой релаксации  $\Gamma_{\text{eff}}$  имеет характерный максимум, затем спад. Минимальное значение  $\Gamma_{\text{eff}}$  наблюдается на длине волны 635 нм. Максимальное значение  $\Gamma_{\text{eff}}$  наблюдается на длине волны 502 нм.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ (гранты №06-02-81040\_Бел\_а и №05-02-16589-а) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)».

- 
1. Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике (СПб.: Наука, 1992).
  2. Одулов С. Г., Соскин М. С., Хижняк А. И. Лазеры на динамических решетках (М.: Наука, 1990).
  3. А.М. Плесовских, С.М. Шандаров, А.Г. Мартьянов и др. Квантовая электроника **35**, 163 (2005).

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. Н.И. Буримов

## **ПРОВОДИМОСТЬ И ТОКОВЫЙ ШУМ В СЛОЯХ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ**

И.О. Кравченко

Новосибирский государственный университет

Инфракрасное (ИК) детектирование – важный инструмент в растущей области промышленных и научных применений. Расширение сферы применения ИК приемников, наряду с повышением их чувствительности, надежности и простоты использования, требует понижения их стоимости, энергопотребления и веса. Всем этим требованиям удовлетворяют активно разрабатываемые последние два десятилетия неохлаждаемые матричные микроболометрические приемники, основанные на терморезистивном эффекте. Высокие параметры таких приемников (приближающиеся к фотонным) достигнуты, в первую очередь, благодаря разработкам технологий получения термочувствительных слоев и изготовления микромостиковых структур. Одним из наиболее перспективных материалов в качестве термочувствительного слоя является оксид ванадия.

Электрические свойства слоев оксидов ванадия, полученных золь-гель технологией, изучены слабо. Наиболее актуальным для разработки высококачественных микроболометров является изучение механизмов проводимости и токового фликкер шума, что и составляет цель данной работы.

Проведены измерения температурных зависимостей проводимости слоев оксидов ванадия толщиной  $\approx 700 \text{ \AA}$ , прошедших различный технологический путь, и их термо-ЭДС, позволяющие получать дополнительную информацию о типе проводимости, температурной зависимости подвижности и микро неоднородностях образцов.

Для выяснения природы фликкер-шума были измерены спектры шумового напряжения при различных температурах. Установлено, что спектральная плотность низкочастотного шума соответствует флуктуациям сопротивления типа  $1/f$  и не зависит от температуры в диапазоне 170 - 390

К, что может быть объяснено моделью флуктуаторов квазиравномерно распределенных по энергии.

Проведены исследования проводимости и  $1/f$  шума контакта металл (NiCr) - оксид ванадия, в результате которых показано, что в реальном болометре контактный шум и шум самой пленки оксида ванадия имеют сравнимые величины. Механизм возникновения контактного шума связывается с флуктуацией потенциального барьера на границе металла со слоем оксида ванадия вследствие захвата носителей на глубокие центры в запрещенной зоне.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук М.А. Демьяненко

## ТЕОРЕТИКО-ГРУППОВОЙ АНАЛИЗ ЭКСИТОННЫХ СОСТОЯНИЙ В СВЕРХРЕШЕТКАХ НА ОСНОВЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

А.Б. Лаковцев

Тулский государственный педагогический университет  
им. Л. Н. Толстого

В сверхрешетках на основе ферромагнитного (EuS) и парамагнитного (SmS) полупроводников создаются стабильные экситонные состояния с высокой энергией связи и силой осциллятора. В таких гетероструктурах электроны и дырки могут локализовываться в различных квантовых ямах, и образовывать не прямые экситоны с большим временем жизни вследствие слабого перекрытия волновых функций из-за барьера, разделяющего квантовые ямы [1].

В направлении  $[111]$  представление  $\Gamma_{12}$  переходит в двумерное представление  $\Lambda_3$ . Для нашего случая при помощи проекционных операторов строились пробные функции для  $4f$  - уровней, преобразующихся по соответствующему представлению:

$$\Psi_{e,h}^j = C_1 \varphi_1 \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + C_2 \varphi_2 \begin{vmatrix} \Psi_1 \\ 0 \\ -\Psi_2 \\ 0 \end{vmatrix} + C_3 \varphi_3 \begin{vmatrix} 0 \\ (i/\sqrt{3})(\varepsilon_2 + i\varepsilon_1) \\ i\varepsilon_3/\sqrt{3} \\ 0 \end{vmatrix} + C_4 \varphi_4 \begin{vmatrix} 0 \\ (2/\sqrt{15})(\varepsilon_1 - i\varepsilon_2) \\ (1/\sqrt{15})i\varepsilon_3 \\ -(1/\sqrt{15})(\varepsilon_1 + i\varepsilon_3) \end{vmatrix}$$

где  $\varepsilon_1 = yz$ ,  $\varepsilon_2 = xz$ ,  $\varepsilon_3 = xy$ ;  $\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-r/r_1} \cdot r_1^{-3/2}$  и т.д., а  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$  - численные коэффициенты, удовлетворяющие условию нормировки,  $j = 1, 2, 3, 4$ .

Из расчетов следует, что энергия связи триплетных экситонов увеличивается на величину энергии обмена.

---

1. Головнев Ю. Ф., Никольская Л. В., Известия ТулГУ. Серия физика. – Тула, 2005 – Вып. 5 – С. 104 – 110.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, проф. Ю.Ф.Головнев

## ЭПР ЭЛЕКТРОНОВ, ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НА Ge/Si КТ

А.С. Любин

Новосибирский государственный университет

В свете последних работ [1], посвященных реализациям схем квантовых вычислений на основе полупроводниковых гетероструктур, использующих спиновую степень свободы, актуальным является изучение спиновых явлений в системах с квантовыми точками (КТ). С понижением размерности время спиновой релаксации увеличивается. В Ge/Si КТ ожидается наиболее длительное время спиновой релаксации благодаря малости спин-орбитального взаимодействия в этих материалах. Ge/Si КТ, полученные в результате самоорганизации в процессе гетероэпитаксии, относятся ко II типу структур, в которых локализация внутри КТ происходит только для одного типа носителей - дырок. Локализация электронов становится возможной благодаря напряжениям в Si вблизи гетерограницы Ge/Si. Эти напряжения приводят к образованию потенциальных ям в Si для электронов вблизи вершины и под основанием КТ. Спин локализованного электрона в Si является наиболее привлекательным с точки зрения квантовых логических операций. Для управления спином электрона в отдельной КТ необходимо знать g-фактор локализованного электрона и время его спиновой релаксации. Обычно эти параметры получают на основе ЭПР-измерений.

В нашей работе мы рассматриваем спиновые состояния электронов в структурах с КТ: 1) стек из 4-х слоев Ge КТ, 2) 2D структура  $\text{Si}_{0.75}\text{Ge}_{0.25}/\text{Si}/\text{Si}_{0.75}\text{Ge}_{0.25}$  с КТ в Si проводящем канале. Также были выращены тестовые структуры: 1) 4-х слойная структура без легирования, 2) 2D структура без КТ в проводящем канале.

Исследования проводились на ЭПР-спектрометре в X-диапазоне ( $\sim 9\text{ГГц}$ ) при температурах 4,2 К – 20 К. На обоих типах структур был зафиксирован сигнал, который мы относим к электронам, захваченным на КТ. Ширина линии 0.8 Гс, что дает время спин-спиновой релаксации  $T_2 \sim 10^{-7}\text{с}$ . g-тензор аксиально симметричен, с главными значениями  $g_{\perp}=1.9995$ ,  $g_{\parallel}=1.9984$ . Отличие g-факторов для разных образцов составляет  $\Delta g \approx 10^{-4}$ . При исследовании тестовых структур подобный сигнал получен не был. На основе теоретических оценок получено, что на уширение линии не влияет разброс КТ по размерам. Основное влияние оказывают флуктуации напряжений в системе.

---

1. I.Zutic, J Fabian, S. Das Sarma, Rev. Mod. Phys. **76**, 323, 2004.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Двуреченский

## **РЕКОНСТРУКЦИОННЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД $\alpha(2\times 4) \rightarrow \beta(2\times 4)$ НА ПОВЕРХНОСТИ (001) GAAS**

А.А. Лямкина

Новосибирский государственный университет

На атомарно-гладкой и чистой поверхности арсенида галлия в условиях сверхвысокого вакуума при изменении температуры образца наблюдаются различные изменения как степени заполнения поверхности мышьяком и галлием, так и периода поверхностных структур, называемых реконструкциями. Процесс перехода от одной реконструкции к другой можно рассматривать как фазовый переход, происходящий в слое адсорбата на поверхности, т.е. в системе с пониженной размерностью. Для теоретического описания нашей системы оказывается удобным ввести модель двумерного решеточного газа, фазовый переход в которой описывается двумерной моделью Изинга [1]. Фазовые переходы в решеточном газе интересны тем, что они происходят фактически в двумерной системе, следовательно, критические индексы, зависящие, в том числе от размерности пространства, могут качественно отличаться от характерных для объемной системы.

В эксперименте исследовалось поведение параметра порядка в зависимости от температуры образца. В качестве такового была выбрана интенсивность дробного рефлекса (0 2/4) в картине дифракции быстрых электронов на отражение. Исследованное поведение параметра порядка согласуется с представлением о фазовом переходе и вблизи критической температуры описывается характерной для подобного перехода зависимостью

$\eta = (T - T_c / T_c)^\beta$  ([2]). Экспериментально полученный критический индекс перехода ( $\beta=0,141$ ) также хорошо согласуется с моделью Изинга, что говорит о том, что переходы на поверхности GaAs вполне можно описывать как двумерные.

Другим предсказанием модели Изинга является безразмерная критическая температура  $kT/J=2,27$ , где  $J$  – энергия взаимодействия ближайших соседей в решеточном газе. Так как в эксперименте критическая температура равна  $592^\circ\text{C}$ , что соответствует  $kT = 0,075\text{эВ}$ , то энергия взаимодействия равна  $0,03$  эВ.

1. L. Onsager Phys. Rev. V.65, p.117, 1944.
2. Фишер М. Природа критического состояния, М.:Мир, 1968

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Ю.Г. Галицын.

## **ДЫРОЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ИСКУССТВЕННЫХ МОЛЕКУЛАХ, ОБРАЗОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНО СОПРЯЖЕННЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ Ge/Si**

Г.Ю. Михалёв

Новосибирский государственный университет

Наличие атомоподобного энергетического спектра носителей заряда, присущего полупроводниковым наноструктурам с квантовыми точками (КТ), а также современные возможности синтеза таких электронных систем “по индивидуальному заказу” делают гетероструктуры с КТ весьма привлекательными с точки зрения создания портативных лазеров, фотодетекторов, одноэлектронных и однофотонных приборов.

Если квантовые точки расположены достаточно близко в пространстве, так, что между ними возможны когерентные переходы электронов путем квантовомеханического туннелирования, то образуются конфигурации, связанные общими электронами и называемые искусственными молекулами. Простейшим примером искусственной молекулы является туннельно-связанная пара КТ. Именно такая когерентная двухуровневая система рассматривается в настоящее время в качестве квантового бита (кубита) информации для квантового компьютера.

Методами численного моделирования в приближении сильной связи в данной работе исследованы пространственная конфигурация основного состояния и энергия связи дырки в «двухатомных» искусственных молекулах, образованных вертикально сопряженными квантовыми точками

Ge/Si(001). Учтено неоднородное пространственное распределение упругих деформаций в среде, возникающих из-за различия параметров решетки Ge и Si. Показано, что формирование дырочных состояний определяется конкуренцией двух процессов, одним из которых является обобществление дырки при перекрытии «атомных» волновых функций, а второй – возникновение асимметрии потенциальной энергии дырки в двух квантовых точках, вызванное взаимным наложением полей упругих деформаций от нанокластеров Ge. Обнаружено, что при толщине слоя Si между точками Ge ( $t_{Si}$ ) больше 2 нм энергия связи дырки в основном состоянии системы из двух точек становится меньше энергии ионизации одиночной КТ вследствие частичной релаксации эластичных деформаций при сопряжении квантовых точек и уменьшения величины связывающего дырки потенциала. Установлено, что существует промежуточная область значений параметра  $t_{Si}$ , в которой ковалентная молекулярная связь разрушается, и происходит локализация дырки в одной из КТ, характеризующейся наибольшими значениями деформаций.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А.И. Якимов

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОТ ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ И ЕЕ ПРИРОДА**

С.В. Мутилин

Новосибирский государственный университет

В 1988 году сообщалось, что показатель преломления пленки SiO<sub>2</sub> при ее послойном стравливании, начиная со значения толщины менее 20 нм, уменьшается [1]. Позже были проведены целенаправленные исследования тонких пленок SiO<sub>2</sub> на кремниевой подложке [2]. В этих работах отмечается значительная обратная зависимость показателя преломления от толщины, и она существенно превосходит учтенные ошибки измерений. Показатель преломления уменьшался с ростом толщины, стремясь к объемному значению. На первый взгляд, вырисовывается противоречивая картина зависимости показателя преломления от толщины тонких пленок.

Выявление наличия зависимости показателя преломления от толщины тонкой пленки и ее трактовка на примере конкретных образцов является целью настоящей работы. В ходе данной работы определены показатели преломления и толщины пленок TiO<sub>2</sub> полученных на поверхности плавленого кварца. Пленки TiO<sub>2</sub> были получены после полного термического окисления пленок металлического Ti на плавленом кварце. Пленки Ti наносились методом термического испарения иодидного титана (99.99%) в

вакууме из вольфрамовой лодочки. Для всех исследованных образцов поверхностная фаза идентифицирована как поликристаллический рутил.

Также, представлены результаты исследования ряда изотропных пленок разной толщины на анизотропной подложке кварца вырезанного параллельно оптической оси кристалла. Выбор анизотропного кристалла обусловлен возможностью одновременного и однозначного определения четырех параметров системы. Кроме того, кристаллический кварц, также как и плавильный, является хорошо изученным и прозрачным в области зондируемых длин волн. Данная система повышает надежность полученных результатов, так как нет необходимости задавать параметры подложки.

1. Любинская Р.И., Мардежов А.С., Свитащев К.К., Хасанов Т. Оптика и спектроскопия, том 65, вып. 3, 1988, стр. 632 – 635.

2. A. Kalnitsky, S. P. Tay, J. P. Ellul, S. Chongsawangvirod, J. W. Andrews and E. A. Irene, J. Electrochem. Soc. vol.137, p.234 (1990).

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Т.Х. Хасанов

## О НОВОМ МЕТОДЕ ОБЪЕМНОГО ГЕТТЕРИРОВАНИЯ

Ф.М. Мухсинжонов

Самаркандский государственный университет им. А. Навои

В данной работе исследовано влияние термообработки (ТО) при различных температурах на стабильность таких комплексов, с целью получения дополнительной информации о природе комплексов и уточнения их вклада в кинетику образования термодфектов. Для этого, по известной технологии, были изготовлены образцы кремния, последовательно легированные серой, никелем, кобальтом при температурах когда наблюдались эффективное образование комплексов между примесями. Затем эти образцы подвергали изохронному отжигу в интервале 1000-1150<sup>0</sup>С в течение 1 час. Для сравнения, в каждом случае, изохронному отжигу подвергали также контрольные образцы Si<B,S>, Si<B,Co> и Si<B,Ni>, изготовленные при тех же условиях.

Полученные результаты показывает, что до отжига параметры образцов Si<B,Co> Si<B,Ni> и Si<B,S> сравнимы с параметрами исходного материала до легирования: проводимость р-типа  $\rho = 10$  Ом·см. Это свидетельствует о том, что в них практически все электроактивные атомы как серы, так кобальта и никеля связаны в электронейтральные комплексы и их концентрации согласно расчетам составляют  $N_{Co} \sim 2 \cdot 10^{16}$ ,  $N_{Ni} \sim 2 \cdot 10^{16}$ , а оставшаяся часть серы находится в неравновесным состоянии в центрах распада.

В контрольных же образцах Si<B,S> этот процесс происходит в интервале 750-950<sup>0</sup>С. При этом, при 900<sup>0</sup>С образцы меняют тип проводимости на р, затем наблюдается рост  $\rho$  и при 1100<sup>0</sup>С снова меняется тип проводимости на п-тип с последующим уменьшением  $\rho$ . Таким образом, из этих результатов следуют очень важные выводы: во-первых, электронейтральные комплексы серы с атомами кобальт и никелями достаточно стабильны до температуры 1100<sup>0</sup>С, а при более высоких температурах происходит частичный или полный распад этих комплексов, а свойства материала будут определяться уже поведением изолированных атомов. Во-вторых, такие электронейтральные комплексы предохраняет в этих образцах от генерации термодфектов. Результаты исследования электрофизических параметров исследуемых образцов показали, что в интервале температур 100-1100<sup>0</sup>С, не зависимо от длительности отжига, параметры материала практически не меняются и достаточно стабильны.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т.У. Тошбоев

## МЕЖДОЛИННЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ В СВЕРХРЕШЕТКАХ (AlAs)<sub>N</sub> (GaAs)<sub>M</sub> (001)

Л.Н. Никитина

Томский государственный университет

На основе метода псевдопотенциала и феноменологической модели сил связи изучено рассеяние электронов на фононах в ультратонких сверхрешетках (AlAs)<sub>n</sub>(GaAs)<sub>m</sub> и твердых растворах соответствующего состава. Расчет деформационных потенциалов проводился аналогично [1].

Размерное квантование приводит к сложному многодолинному устройству зоны проводимости и увеличению числа фононных ветвей. В зоне проводимости сверхрешеток возникают долины  $\Gamma_1, (\Gamma_3, M_5), (X_3, X_1)$  с близкими энергиями, являющиеся аналогами сфалеритных долин  $\Gamma, X, L$ . Наиболее интенсивное рассеяние между этими долинами происходит с участием фононов с симметрией  $M_5, X_1, X_3$ , связанных в основном с колебаниями катионов. В таблице приведены объединенные по фононам

сверхрешеточные деформационные потенциалы  $\left| D_{\mu k, \mu' k'}^s \right|$  ( $10^8$  eV/cm).

Переход	n=1, m=3	n=2, m=2	n=3, m=1
$\Gamma_1$ - $M_5$	5.35	5.91	5.56
$\Gamma_1$ - $\Gamma_3$	5.12	5.15	3.49
$\Gamma_3$ - $M_5$	8.26	8.80	9.39
$M_5$ - $M_5$	8.30	4.06	9.23
$\Gamma_1$ - $X_3$	5.56	4.75	5.28
$\Gamma_1$ - $X_1$	3.15	3.71	5.21
$X_3$ - $X_3$	0.73	0.92	2.38
$X_1$ - $X_1$	1.21	1.08	1.77
$X_1$ - $X_3$	0.90	1.21	1.07
$X_3$ - $X_1$	0.90	1.21	1.07

Из нее следует, что смешивание состояний сфалеритных  $\underline{L}$  долин тетрагональной компонентой потенциала играет в междолинном рассеянии сверхрешеток более существенную роль, чем смешивание  $\underline{\Gamma}$  и  $\underline{X}$  состояний. В целом рассеяние в сверхрешетках более интенсивно, чем в твердых растворах, причем у аналогов  $\underline{\Gamma}$ - $\underline{L}$ ,  $\underline{\Gamma}$ - $\underline{X}$  и  $\underline{L}$ - $\underline{L}$  переходов зависимость от состава носит немонотонный характер. Как показывает анализ распределения электронной плотности, эти особенно-

сти непосредственно связаны с эффектами размерного квантования, приводящими к локализации волновой функции в пределах достаточно глубоких  $\Gamma$  и  $L$  квантовых ям.

Найденные потенциалы позволяют получить более точное описание транспортных свойств гетероструктур GaAs/AlAs с учетом двух основных механизмов рассеяния электронов - на гетерограницах и фононах.

1. Л. Н. Никитина, С. Н. Гриняев, В. Г. Тютерев. ФТТ **48**, 120 (2006)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. С.Н. Гриняев

## РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ В СВЕРХРЕШЕТКАХ НА ОСНОВЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Д.А. Нургулеев

Тульский государственный педагогический университет  
им. Л.Н. Толстого

Проблема осуществления спинового токопереноса в электронных приборах является предметом исследований гетероструктур на основе магнитных полупроводников.

Рассматривается задача о просачивании электронов в сверхрешетке, содержащей ферромагнитные слои. В приближении точечного возмущения  $4f$ - состояний в рамках формализма  $S$ - матрицы проведен расчет туннельной прозрачности и степени спиновой поляризации электронов гетеросистемы EuS-PbS.

В гетероструктуре EuS-PbS электроны, туннелирующие через барьерные слои EuS, фильтруются по спину. Это связано как со спиновым рас-

щеплением зоны проводимости ферромагнитного EuS, так и резонансным вкладом  $4f^7$ -состояний магнитных ионов в общую туннельную прозрачность. Подобные фильтрующие свойства исследуемой гетероструктуры могут найти применение в спиновых клапанах, спиновых транзисторах и источниках спин-поляризованных электронов.

Задачей теории рассеяния является установление связи амплитуд электронных волн слева и справа от многослойной системы. Для расчета коэффициента проникновения через сверхрешетку необходим элемент  $S_{11}$  матрицы рассеяния. При его определении использовались рекуррентные соотношения

$$S_{1j}(n+1) = (I_{11}(n+1) - S_{12}(n)I_{21}(n+1))^{-1} S_{1j}(n)I_{22}(n+1)^{j-1} + (1-j)I_{12}(n+1), \quad (1)$$

где  $S_{1j}$  – элементы верхней строки матрицы рассеяния,  $I_i$  – элементы трансферной матрицы, переносящей решение уравнения Шредингера через гетерограницы и  $4f$ -состояния.

Результаты расчетов показывают, электронный транспорт в системе PbS-EuS при низких энергиях туннелирующих частиц будет достигать ~ 95%. С ростом энергии степень спиновой поляризации уменьшается и сходится практически на нет при энергии, сопоставимой с высотой барьера. Вклад резонансного туннелирования проявляется в том, что в области низких энергий соответствующих положению  $4f$ -состояний в барьере наблюдается узкий всплеск туннельной прозрачности.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, проф. Ю.Ф. Головнев

## **РАССЧЁТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ И ФОНОННОЙ СТРУКТУРЫ $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Т.В. Перевалов

Новосибирский государственный университет

Решение проблемы больших токов утечки через слой подзатворного диэлектрика МДП структур стимулирует активное изучение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (альтернативные или high-k диэлектрики) [1]. Использование альтернативных диэлектриков актуально в конденсаторах ячеек памяти динамических оперативных запоминающих устройств, и электрически перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств (ФЛЭШ памяти).

Областью исследований являются зонные расчеты электронной структуры одного из перспективных альтернативных диэлектриков  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

( $\epsilon \approx 10$ ) в аспекте альтернативного диэлектрика. Расчеты осуществлялись квантово-химическим неэмпирическим методом с использованием программного пакета ESPRESSO, основанного на теории функционала плотности и приближении псевдопотенциалов. В работе проводятся численное моделирование структуры  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , расчёт зонного спектра  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , анализ парциальных плотностей состояний и сравнение с экспериментом, расчет фононного спектра, расчет электронной составляющей диэлектрической проницаемости  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , являющегося прямозонным диэлектриком, с вершиной валентной зоны и дном зоны проводимости в центре зоны Бриллюэна. Расчетная ширина запрещенной зоны 6.29эВ. Валентная зона  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  состоит из двух подзон, разделённых ионной щелью. Нижняя зона сформирована, в основном, 2s-состояниями кислорода. Верхняя зона - 2p-состояниями кислорода с вкладом 3s-, 3p-состояний алюминия. Наблюдается сильная анизотропия эффективной массы для дырок -  $m_{h\perp}^* \approx 6.3m_0$ ,  $m_{h\parallel}^* \approx 0,36m_0$ . Значения эффективной массы электронов не зависит от направления  $m_{e\perp}^* \approx m_{e\parallel}^* 6.3 \approx 0.4m_0$ . Расчёт спектра собственных фононных частот в  $\Gamma$  точке k-пространства показывает наличие собственных колебаний решетки  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  с низкими частотами по сравнению с собственными частотами для  $\text{SiO}_2$ , так называемых «мягких фононных мод».

Расчеты электронной (высокочастотной) составляющей диэлектрической проницаемости  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  дают диагональный тензор  $\epsilon^\infty$  с практически совпадающими диагональными компонентами  $\epsilon=3.2$ .

- 
1. A.I. Kingon, J.-P. Maria, S.K. Streiffor, Nature **406**, 1032 (2000).
  2. S. Barony, A. Dal Corso, S. de Gironcoly, et. al., <http://www.pwscf.org>

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук В.А. Гриценко

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАРЯДА НА ДИНАМИКУ НАПРЯЖЕНИЯ ХОЛОСТОГО ХОДА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Н.В. Першин

Кубанский государственный университет

В современных полупроводниковых солнечных элементах (СЭ) потери энергии в объеме сведены к минимуму. Следовательно, возрастает доля потерь энергии, обусловленных процессами на поверхности и границах раздела диэлектрик-полупроводник, полупроводник-полупроводник, ме-

талл-полупроводник. Целью работы является моделирование влияния поверхностного заряда на динамику напряжения холостого хода ( $U_{oc}$ ) кремниевых СЭ.

Исследовались двусторонние кремниевые СЭ с субмикронным *n-p*-переходом, текстурированной поверхностью, на которую наносилось пассивирующее просветляющее покрытие  $SiO_2$ , изготовленные НПФ "Кварк" (г. Краснодар). Динамика  $U_{oc}$  исследуемых СЭ объясняется двумя процессами. Первый определяется временем жизни неравновесных носителей заряда, даёт резкий подъём до максимума за время меньше, чем время дискретизации измерений. Второй – захват носителей на медленные поверхностные состояния (центры «прилипания»), динамика имеет экспоненциальный вид с характерным временем  $\tau$  (время изменения  $U_{oc}$ ). Для субмикронного *n-p*-перехода область пространственного заряда (ОПЗ) для поверхностного заряда и ОПЗ *n-p*-перехода сливаются. Поэтому наблюдается изменение фотоэлектродвижущей силы общее, то есть для всей ОПЗ.

Характерное для исследуемых СЭ при низких уровнях освещенности  $U_{oc}$  обусловлено захватом основных носителей заряда на медленные поверхностные электронные состояния на границе  $Si-SiO_2$ , имеющие достаточно большие времена обмена зарядами с разрешенными зонами. Явление накопления неравновесного поверхностного заряда на границе  $Si-SiO_2$  является дополнительной причиной снижения эффективности собирания фотогенерированных носителей заряда. Физический процесс, лежащий в основе этих потерь заключается в увеличении тока инжекции за счет дополнительного падения напряжения на *p-n*-переходе, индуцированного неравновесным поверхностным зарядом.

Результаты моделирования показывают, что захват неравновесного поверхностного заряда является дополнительным источником потерь мощности СЭ, так как индуцирует увеличение падения напряжения на *p-n*-переходе. Вклад этого эффекта зависит от способа обработки поверхности и нанесения пассивирующего просветляющего покрытия.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Н.М. Богатов

# САМОФОКУСИРОВКА СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ СИЛИКАТА ВИСМУТА В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В.Г. Поляков, М.В. Бородин

Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники

Кристаллы семейства силленитов достаточно часто используются при реализации и изучении эффектов самовоздействия на основе экранирующей фоторефрактивной нелинейности. Самовоздействие световых пучков в фоторефрактивных кристаллах реализуется при сравнительно малых входных мощностях излучения. При выборе направления приложенного внешнего электрического поля и распространения светового пучка учитывается анизотропия электрооптических свойств кристалла.

В данном сообщении представлены результаты экспериментального исследования и численного анализа самофокусировки гауссовых лазерных пучков различной поляризации в кристалле силиката висмута  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  среза (110), во внешнем постоянном электрическом поле, приложенном вдоль кристаллографического направления  $(1\bar{1}1)$ .

Зависимость полуширины выходного пучка от напряженности внешнего электрического поля была рассчитана с помощью векторной модели самовоздействия света в гиротропных кристаллах с приложенным постоянным полем, принимающей во внимание дополнительный вклад в фоторефрактивный отклик пьезоэлектрического и фотоупругого эффектов.

Таким образом, в данной работе было экспериментально и теоретически исследовано влияние входной поляризации лазерного излучения на самофокусировку светового пучка в кристалле силиката висмута в условиях внешнего прикладываемого постоянного электрического поля. Численное моделирование на основе теоретической модели, описанной в статье [1], не противоречит данным эксперимента и достаточно точно повторяет поведения светового пучка на выходе кристалла.

1. Кашин О.А., Шандаров С.М., Фролова М.Н., Шепелевич В.В., Голуб А.А., Коваршик Р., Кислинг А., Матусевич В. Влияние оптической активности на самоискривление светового пучка в кубических фоторефрактивных кристаллах во внешнем знакопеременном электрическом поле // Изв. вузов. Физика, 2004. №7. С. 26.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С.М. Шандаров

## ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ РАЗРЯДНЫХ ТРУБОК НА УРОВЕНЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

С.А. Сафроненков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Эти источники света и в настоящее время обладают световой отдачей (СО) около 145 лм/Вт, что ~ в 10 раз выше по сравнению с лампами накаливания, а по прогнозам в будущем могут достигать значения 385 лм/Вт [1]. С учетом особой актуальности проблемы энергосбережения и перспектив дальнейшего совершенствования им в настоящее время уделяется повышенное внимание. Исследовалась начальная СО и ее стабильность при эксплуатации ламп с трубками различной структуры: монокристаллическими (1), крупнозернистыми (2), мелкозернистыми (3) и недостаточно спеченными (4). Распределение начальных СО и их снижения за 2500 час следующее. (1) - 145 лм/Вт, 3%, (2) – 130 лм/Вт, 7%, (3)–120лм/Вт, 10% и (4)–110лм/Вт, 15 %. Масс-спектрометрические исследования показали, что причина нестабильности СО кроется в диффузионной утечке натрия из разрядных трубок по границам зерен. Лампы (1) показывают ~ на 25 % большую отдачу, чем лампы с поликристаллами. И это логично объясняется только тем, что в поликристаллах вокруг границ зерен локализуется значительно большее количество слабосвязанных с решеткой ионов, поэтому на диффузионный их дрейф вдоль переменного поля затрачивается больше подводимой к лампам электроэнергии. Диэлектрические потери являются основной причиной еще недостаточно высокой световой отдачи этих ламп. Поэтому, для повышения их энергоэффективности необходимо совершенствовать дефектную структуру разрядных трубок. В настоящее время плотность дислокаций в трубках составляет  $\sim 10^8$  дефектов на  $\text{см}^2$ , и ее уменьшение до возможных значений  $10^3$  -  $10^4$   $\text{см}^{-2}$  с применением физических методов обработки (ультразвуковых колебаний, электростатических полей и некоторых других) представляет собой вполне реальную перспективу дальнейшего повышения световой отдачи этих, и так достаточно высокоэффективных источников света. Описываемое здесь научное направление соответствует и национальному проекту «Образование», поскольку для его реализации привлекаются студенты, и важной для страны проблеме энергосбережения.

---

1. Zackrisson Harro B. Trends in the lighting industry//LDA<1984.-Vol. 4.

Научный руководитель д-р. техн. наук, проф. В.С. Мордюк.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИБЕЛИ ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ ФТОРА И ХЛОРА ПРИ РЕАКТИВНОМ ИОННОМ ТРАВЛЕНИИ

Н.В. Ситников

Новосибирский государственный университет

Одна из главных проблем изучения процессов травления заключается в их неравновесности и многоканальности. Другими словами, один и тот же суммарный процесс, в зависимости от параметров плазмы (давление, степень ионизации, удельный энерговклад и т.д.), может происходить принципиально различными путями. Поэтому в плазме нельзя рассматривать физические и химические процессы независимо. Так, химическая активность плазмы во многом определяется процессом передачи энергии от внешнего источника на внутренние степени свободы тяжелых частиц и зависит от характеристик электронной компоненты плазмы, а именно, функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) и их концентрации, которая в свою очередь зависит от напряженности электрического поля в плазме и каналов потерь энергии электронами в столкновениях с тяжелыми частицами. Эти процессы зависят от состава плазмы. Следовательно, чтобы понять механизм реакций травления, необходимо иметь представление о составе травящих газов.

В качестве реакционно способных частиц при травлении оксида кремния в плазме аргона использовались атомы и ионы хлора и фтора. Эти частицы образуются в камере при ионизации и возбуждении газов  $\text{NF}_3$  и  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ . Состав плазмы определялся регистрацией переходов возбужденных атомов фтора и хлора в основное состояние на наиболее интенсивных линиях. Так, для фтора эта линия составляет 703,75 нм, для хлора – 837,60 нм.

В данной работе показаны как меняются относительные концентрации атомов фтора и хлора в зависимости от таких параметров плазмы, как давление в камере, скорости потоков газов и мощность источника возбуждения. Были проведены дополнительные исследования по определению роли газа-носителя аргона в реакциях травления.

Таким образом, следя за переходом на линиях 703.75 и 837.60 нм, мы можем проследить динамику процессов в плазме, определить относительные концентрации атомов фтора и хлора, оценить скорости травления.

Научный руководитель – канд. хим. наук Ф.Н. Дульцев

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНЫХ АТОМОВ С ПОВЕРХНОСТЬЮ GaAs(001) С СУБМОНОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ Cs

К.В. Торопецкий

Новосибирский государственный университет

Изучение совместной адсорбции кислорода и щелочных металлов на поверхность полупроводников связано с практической задачей создания высокоэффективных фотоэммиттеров, с активацией каталитических реакций на поверхности и окислением полупроводников. Несмотря на многолетнее изучение системы (Cs,O)-GaAs(001), причина значительного увеличения ( $10^4$  раз) коэффициента прилипания  $O_2$  на поверхность Cs/GaAs(001) по сравнению с чистой поверхностью GaAs(001) остаётся до сих пор не выясненной. Целью настоящей работы было выяснение микроскопического механизма адсорбции  $O_2$  на поверхность Cs/GaAs(001).

В работе использовались образцы GaAs(001), полученные жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ). Эксперименты были выполнены на сверхвысоковакуумном электронном спектрометре ADES-500. Структура и состав поверхности определялись методами дифракции медленных электронов (ДМЭ) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

В результате проведённой работы было показано, что коэффициент прилипания молекулы  $O_2$  на поверхность Cs/GaAs(001) определяется соотношением между работой выхода поверхности и энергией электронного средства молекулы  $O_2$ . Адсорбция  $O_2$  на поверхность Cs/GaAs(001) обусловлена захватом электрона на антисвязующую орбиталь молекулы  $O_2$  из объёма полупроводника и имеет место в том случае, когда работа выхода поверхности меньше энергии электронного средства молекулы  $O_2$  на поверхности, которая составляет по полученным данным 3.1 эВ. Пороговое увеличение коэффициента прилипания  $O_2$  на поверхность Cs/GaAs(001) обусловлено понижением работы выхода при нанесении Cs, а наблюдаемое насыщение по количеству кислорода связано с ростом работы выхода до уровня электронного средства молекулы  $O_2$ . Рост работы выхода при адсорбции  $O_2$  происходит в результате уменьшения дипольного момента покрытия вследствие возврата электронной плотности на атомы Cs. Аналогичный эффект наблюдается при адсорбции другого электроотрицательного элемента  $I_2$  на поверхность Cs/GaAs(001), что также обсуждается в работе.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О.Е. Терещенко.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА ТВЕРДОГО РАСТВОРА Si-S

Р.Р. Усманов

Самаркандский государственный университет им. А Навои

Хотя проведено достаточно подробное исследование кинетики распада различных твердых растворов, но нам кажется остается не ясным, куда уходят электроактивные части примесных атомов в процессе распада. Большинство авторов предполагает, что в процессе распада примесные атомы уходят из равновесных состояний к центрам распада -дислокации, дефекты или нарушения кристаллической решетки, и образуют типы примесных преципитатов. Известно, что, элементы I, II и переходной группы, могут образовывать комплексы с серой. Поэтому представляет интерес изучить распад твердого раствора Si-S с этой точки зрения.

Результаты исследований показали, что независимо от времени отжига до температур  $650^{\circ}\text{C}$  электрофизическое свойства  $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$  практически остаются без существенного изменения или, по другому, распад твердого раствора Si-S не происходит. Отжиг при  $T=650^{\circ}\text{C}$  в течение длительного времени приводит к увеличению удельного сопротивления материала максимально в два раза. При отжиге  $T=700^{\circ}\text{C}$  в течение 30 часов происходит полный распад твердого раствора Si-S и материал практически приобретает исходные параметры. Дальнейшее увеличение температуры отжига показывает, что необходимое время ( $\tau$ ) для восстановления исходных параметров материала уменьшается. Если это время для  $T=750^{\circ}\text{C}$  было 20 часов, то для  $900^{\circ}\text{C}$  он составляет 1 час, а начиная с  $800^{\circ}\text{C}$  распад твердого раствора идет очень интенсивно.

В результате этого в эксперименте наблюдаем уменьшение электроактивных атомов серы в кремнии, что мы привыкли называть распадом твердого раствора. Для подтверждения вышеизложенного предположения нами была исследована кинетика образования ТД при  $450^{\circ}\text{C}$  в образцах  $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$ , которые отжигались в интервале температур  $800-900^{\circ}\text{C}$ , т.е. в которых произошел полный распад твердого раствора Si-S. В образцах  $\text{Si}\langle\text{B},\text{S}\rangle$ , в которых произошел полный распад, практически все неконтролируемые примесные атомы образуют электронейтральные комплексы с серой, при отжиге  $T=450^{\circ}\text{C}$  независимо от времени отжига генерация ТД отсутствует.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Т.У. Тошбоев

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ ТИТАНАТА ВИСМУТА, ЛЕГИРОВАННОМ АЛЮМИНИЕМ

С.В. Шлыков, А.С. Вишнев, А.С. Акрестина  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Фоторефрактивные кристаллы титаната висмута благодаря высокой фоточувствительности в видимой области спектра находят применение в различных устройствах динамической голографии. На характеристики и работоспособность таких устройств могут оказывать влияние температурные условия. Одним из важнейших параметров для кристаллов, используемых в устройствах динамической голографии, является оптическое поглощение.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований температурных зависимостей оптического поглощения в кристалле титаната висмута, легированном алюминием.

Исследовался кристалл толщиной 6.6 мм вдоль кристаллографического направления [100]. Эксперименты проводились на установке, позволяющей изменять температуру в диапазоне от 25 до 110°C и поддерживать ее с точностью  $\pm 1$  °C.

С ростом температуры в диапазоне  $T = 27 - 90^\circ\text{C}$  коэффициент поглощения увеличивается для длин волн 660, 570, 505 нм. Однако при дальнейшем увеличении температуры коэффициент поглощения начинает уменьшаться. Для длины волны 470 нм увеличение коэффициента поглощения наблюдается в диапазоне  $T = 27 - 80^\circ\text{C}$ . Характерно, что изменение коэффициента поглощения с температурой растет с уменьшением  $\lambda$ .

При охлаждении кристалла, следующим за нагревом, коэффициент поглощения уменьшается во всем исследованном диапазоне температур. Эксперименты, проведенные при нагревании и последующем охлаждении кристалла свидетельствуют о наличии гистерезиса в поведении коэффициента поглощения независимо от скорости нагрева.

Температурную зависимость коэффициента поглощения связывают с влиянием дефектных центров. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о сложном характере перераспределения электронов между центрами и изменением параметров этих центров под действием температуры.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и БРФФИ (грант № 06-02-81040\_Бел\_а) и программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)».

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. М.Г. Кистенева

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ШУМА КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК**

А.В. Шмаргунов, В.Г. Божков, В.А. Бурмистрова.  
Томский Государственный Университет  
ОАО "НИИ полупроводниковых приборов"

Исследование низкочастотного (НЧ) шума контактов металл-полупроводник (м-п) с барьером Шоттки (БШ) остаётся актуальным в течение длительного времени в связи с неизменным интересом к приборам на основе этих контактов и расширением области их применения. Отличаясь высокой чувствительностью к технологии и конструкции прибора, уровень НЧ шума может быть использован в качестве критерия его качества и надёжности, как при эксплуатации, так и при разработке.

В предлагаемой работе проводились исследования характеристик контактов Au-Ta-Si, Au-Ti-Si (n+n- и p+p- типа) и Au-W-pp+GaAs. Концентрация носителей заряда в pSi, nSi и nGaAs составляет  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $5,8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , соответственно. Используется промышленная технология создания контактов.

Анализируемая зависимость спектральной плотности флуктуаций тока  $S_I$  от частоты (в диапазоне  $10-10^5$  Гц) рассчитывалась по измеренным значениям шумового напряжения. Основной составляющей НЧ шума является, фликкер- или  $1/f$ -шум. С ростом частоты уровень шума должен выходить на насыщение, соответствующее уровню дробового шума.

Исследования показали, что:

- уровень насыщения НЧ-шума с ростом частоты действительно соответствует уровню дробового шума барьера в диапазоне токов  $10^{-6} - 10^{-4}$  А, что одновременно является критерием корректности измерений. Впервые показано, что при токах, меньших тока насыщения диода, также наблюдается соответствие измеренного и рассчитанного уровня дробового шума;
- величина шума и форма спектра существенно зависят от применяемых обработок: понижение уровня шума можно добиться высокотемпературным отжигом (при  $500^\circ\text{C}$ ) или снятием защитного диэлектрика;
- существенное влияние на величину и спектр шума оказывает длительная выдержка контактов на воздухе;

- рост уровня шума с уменьшением диаметра контакта свидетельствует о возможном вкладе краевых эффектов.

Понимание причин изменения шумовых характеристик может быть использовано как для оценки качества контакта, так и для поиска конкретных причин ухудшающих его характеристики.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.Г. Божков

## **ИЗУЧЕНИЕ (Cs,O) АКТИВИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ p+-GaAs(Cs,O) ФОТОЭМИТТЕРОВ С ОЭС, ОПИСЫВАЕМЫХ МОДЕЛЯМИ ДИПОЛЬНОГО СЛОЯ И ГЕТЕРОПЕРЕХОДА.**

А.Н. Шорников

Новосибирский государственный университет

Используемые в настоящее время высокоэффективные фотоэмиттеры с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС) на основе  $p^+$ -GaAs(Cs,O) имеют активирующее покрытие (АП) толщиной около 1.5 монослоев, которое описывается с помощью модели дипольного слоя, сформированного на поверхности GaAs адсорбированными атомами Cs и O.

Несмотря на то, что после достижения максимума чувствительности при увеличении толщины АП происходит дальнейший рост величины ОЭС, подробное исследование фотоэмиссионных характеристик фотокатодов с активирующим покрытием, толщина которого значительно превышает толщину АП, соответствующую максимуму чувствительности фотокатода, не проводилось.

В настоящей работе исследовались особенности процессов фотоэмиссии с поверхностей  $p^+$ -GaAs(Cs,O) имеющих АП, толщина которого в несколько раз превышает толщину, соответствующую максимуму чувствительности фотокатода. В широком динамическом диапазоне измерены энергетические распределения эмитированных электронов и спектры квантового выхода при температурах 77 К и 300 К. В энергетических распределениях эмитированных электронов обнаружены электроны, вышедшие в вакуум из L долины, эмиссия которых для поверхности с ориентацией (001) ранее наблюдалась [1] для поверхностей, прошедших отжиг в вакууме при температуре близкой к температуре неконгруэнтного испарения GaAs. Такой отжиг ухудшает гладкость поверхности и меняет ее эмиссионные свойства. Для исследованного образца наблюдаемое явление не связано с низким качеством приготовления поверхности и является следствием толстого АП.

Также рассмотрен вклад АП в формирование поверхностных состояний, находящихся в запрещенной зоне GaAs и определяющих величину темнового тока фотокатода. В работе исследовано влияние утолщения АП на квантовый выход фотозмиттера и энергораспределения эмитированных электронов при  $\hbar\omega < E_g$ .

I.H.-J. Drouhin, C. Hermann, and G.Lampel, Phys. Rev. B 31, 3859(1985)

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г.Э. Шайблер

# ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТРИГГЕРА ДЕТЕКТОРА КМД-3

С. Н. Видюк

Новосибирский государственный университет

Детектор КМД-3 является одним из двух детекторов, на которых в следующем году будут проводиться эксперименты на ВЭПП-2000. Важную роль для измерений играет первичный триггер, который в процессе эксперимента осуществляет оперативный отбор полезных и отбраковку фоновых событий. Для обработки экспериментальных данных очень важно знать эффективность используемой схемы принятия решений триггера. Наиболее простым способом определения эффективности является моделирование, которое позволяет также производить оптимизацию триггера.

В данной работе реализуется моделирование аппаратных компонент первичного триггера, а также написание программного обеспечения для моделирования в условиях оффлайн обработки, которое, используя данные, полученные с детектора, строит входные аргументы триггера, получает решение триггера и сравнивает полученные данные с тем, что выдала аппаратура. Это позволит в процессе работы отслеживать исправность первичного триггера.

К данному моменту близится к завершению написание программного обеспечения нейтрального триггера, в ближайшее время планируется начать работу над моделированием смешанного триггера. Моделирование заряженного триггера полностью готово и уже проведены оценки эффективности регистрации однострековых центральных событий и процесса  $ee \rightarrow \pi^+ \pi^-$ .

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. ИЯФ СО РАН Е.П. Солодов

# ОГРАНИЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ АПЕРТУРЫ СОВМЕСТНЫМ ВЛИЯНИЕМ ЭФФЕКТОВ ВСТРЕЧНОГО ПУЧКА И НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.А. Глухов

Новосибирский государственный университет

Одним из факторов, ограничивающих светимость коллайдеров, является размер динамической апертуры. Динамическая апертура - это область фазового пространства, в которой совершают движение частицы пучка. При увеличении токов сталкивающихся пучков размеры апертуры уменьшаются, что приводит к уменьшению времени жизни пучка и снижению светимости. В данной работе проводились измерения размеров динамической апертуры и сравнение результатов с оценками, полученными методами численного моделирования.

В работе [1] был предложен метод измерения динамической апертуры ускорителя, согласно которому поперечная апертура пучка искусственно ограничивается, а граница динамической апертуры находится из графика зависимости времени жизни пучка от величины ограничения. Измерения по данному методу проводились на электронном накопителе BESSY (Берлин, Германия). В настоящей работе они были повторены на ускорительном комплексе ВЭПП-4М (ИЯФ, Новосибирск, Россия).

Численное моделирование проводилось с использованием структуры, содержащей встречный пучок в сильно-слабом приближении, секступоли хроматической коррекции и линейные элементы. Было установлено, что помимо геометрической апертуры существует т.н. диффузная апертура, размеры которой значительно меньше. Её наличие связано с появлением областей фазового пространства со стохастическим движением.

В работе [2] был предложен метод определения степени стохастичности фазовой траектории по диаграмме амплитуд основных гармоник в зависимости от времени. На основе этого метода в данной работе определяются размеры диффузной апертуры.

Результаты моделирования получились сходными с результатами эксперимента, несмотря на то, что модель была сильно упрощена. Оценки по критерию Чирикова перекрытия резонансов также дали близкие результаты.

---

1. Simon B., Kuske P. The dynamic aperture of BESSY. 2nd Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop. 1988.

2. Chandre C., Wiggins S., Uzer T. Time-frequency analysis of chaotic systems. Elsevier Science. 2003.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. Е. Б. Левичев

## НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК АТОМА НА «СИЛЬНЫЕ» РАСПАДЫ ЯДРА

А. В. Горшков  
Лицей №31 г. Челябинска,  
Южно-Уральский государственный университет

Теоретическая работа относится к фундаментальной проблеме управления распадом атомных ядер низкоэнергичным воздействием, отличным от захвата нейтронов. С 30-х и 40-х гг. XX века известны многочисленные работы нескольких десятков исследователей в мире по исследованию низкоэнергичных воздействий на бета-процессы (распады и захваты), т.е. «электрослабые». Получены изменения периода полураспада от  $10^{-2}$  до  $10^9$  раз. Исследовано (Ткаля и др., конец 2006 г.) также опосредованное влияние воздействия на электронную оболочку, а также на низколежащие изомерные состояния, через электрослабые распады, на альфа-распад как последствие в цепочке бета-распадов и захватов.

Но до работ автора (1987, весна 2005, весна 2006 г.) не обнаружено упоминания о каких-либо теоретических моделях прямого, а не опосредованного, влияния состояния электронных оболочек на «сильные» распады – эмиссию нуклонов, кластеров (в т.ч. альфа-распад), спонтанное деление.

Здесь показано, что глубокая ионизация атома или снабжение ядра электронными оболочками может заметно (в наблюдении, эксперименте) влиять непосредственно на «сильные» распады. Снабжение "голого" ядра низколежащими электронными оболочками приводит для протонов и кластеров, 1) к углублению потенциальной ямы, 2) к снижению внешней части потенциального барьера. "Знак эффекта" – т.е. уменьшение либо увеличение вероятности распада – неоднозначен: имеются области различных знаков в зависимости от зарядов, масс ядра и эмитируемых частиц, энергий. Возможно управление постоянной «сильных» распадов путём глубокой ионизации атомов либо, наоборот, путём снабжения «голого» горячего компаунд-ядра электронными оболочками в основном состоянии, для различных элементов и изотопов и изомеров, для фрагментов различного нуклонного состава. Обнаружены новые закономерности таких явлений. По порядку величины найдено относительное изменение периода полураспада для рядов ядер, частиц и энергий. При существующем уровне техники явление можно обнаружить экспериментально, во-первых, для средних ядер изотопов и их изомеров, испускающих альфа-частицы особо низкой энергии, во-вторых, для горячих компаунд-ядер сверхтяжёлых элементов, в-третьих, для ядер с эмиссией протонов и дупронов. В 2006 г. уточнена модель влияния не одной, а всех электронных оболочек атома на величину исследуемого эффекта. Множитель порядка единицы экспоненциально

сильно влияет на результат. Показаны некоторые астрофизические и практические следствия этих явлений.

## **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И ВРЕМЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЯ Z-КАМЕРЫ ДЕТЕКТОРА КМД-3**

П. А. Иванов

Новосибирский государственный университет

В настоящее время для экспериментов на коллайдере ВЭПП-2000 создается детектор КМД-3. Z-камера является одной из подсистем детектора. Она представляет собой цилиндрическую двухслойную пропорциональную камеру с возможностью снятия сигнала как с анодных проволочек, так и с полосковых катодов. Z-камера используется для определения Z-координат треков частиц (по зарядам, наведенным на катоды), в качестве первичного заряженного триггера. Также измеряется время прихода сигнала с анодных проволочек, которое используется для синхронизации события, зарегистрированного в детекторе с моментом столкновения пучков.

Работу можно разделить на три этапа: создание программы моделирования камеры, создание программы реконструкции события и собственно запуск камеры, набор статистики и измерение разрешений. Моделирование осуществлялось на основе Geant4. В программе учтены различные физические процессы в камере, смоделирована электроника. Программа реконструкции осуществляет первичную обработку “сырых” данных, далее ищет катодные кластеры и сработавшие секторы, восстанавливает Z-координату методом центра тяжести. Программа реконструкции была опробована на данных из моделирования. Запуск камеры включал в себя монтаж камеры и электроники на ВЭПП, а также создание программного обеспечения для чтения данных. На сегодня проведено несколько тестовых заходов на космике, в ближайшее время планируется набрать статистику и измерить разрешения.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Г.В. Федотович

## РАЗЛИЧНЫЕ ВАКУУМНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ДВУДУБЛЕТНОЙ МОДЕЛИ ХИГГСА

К. А. Канищев

Новосибирский государственный университет

Принято считать, что наблюдаемое нарушение электрослабой симметрии описывается механизмом Хиггса. В простейшем случае этот механизм реализуется с помощью скалярного изоспинорного поля Хиггса с гиперзарядом  $Y=1$ . Возможны и более сложные реализации этого механизма, первой из которых является дудублетная модель Хиггса (2HDM), которая в частности, реализуется в минимальной суперсимметричной модели. 2HDM содержит два скалярных изодублета с одинаковыми квантовыми числами. В самом общем случае потенциал Хиггсова поля 2HDM имеет 6 действительных и 4 комплексных параметра. В зависимости от параметров модели могут реализовываться вакуумные состояния различных типов. Среди них - "заряженный вакуум" с массивным фотоном и т.п. Проводится анализ свойств различных вакуумных состояний 2HDM, в частности, исследование возможности сосуществования нескольких вакуумов или переходов между ними (например, в ранней Вселенной).

В случае, когда все параметры потенциала действительные (случай явного CP сохранения), произведена классификация возможных экстремумов. Результаты можно представить в виде таблицы.

Тип экстремума	Количество возможных состояний
Заряженный	0 или 1
Со спонтанным CP нарушением	0 или 2 вырожденных
Без спонтанного CP нарушения	Четное число от 0 до 8
$\varphi = 0$	1

В частности, обнаружено, что в случае, когда все параметры потенциала действительные, в некоторой области их значений вакуумное состояние может спонтанно нарушать CP симметрию, причем такое состояние двукратно вырождено, с высоким барьером между минимумами потенциала. Если в Природе реализуется такой набор параметров, представления о современном состоянии Вселенной могут заметно модифицироваться.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. И.Ф. Гинзбург.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЕ ДЕТЕКТОРА КМД-3**

А. В. Каравдина

Новосибирский Государственный Университет

В настоящее время в Институте Ядерной Физики (ИЯФ) им. Г.И.Будкера заканчивается строительство накопителя на встречных  $e+e-$  пучках ВЭПП-2000 с энергией до 2 ГэВ в системе центра масс. Для проведения экспериментов планируется использовать универсальный детектор КМД-3[1].

Для определения координат, углов и импульсов заряженных частиц в детекторе КМД-3, область взаимодействия пучков охватывает цилиндрическая дрейфовая камера с гексогональной структурой ячеек. Дрейфовая камера сейчас изготовлена и идет процесс отладки и измерения её параметров. Для калибровок и начального этапа работы, необходимо уметь восстанавливать события космического излучения. Космическое излучение отличается от частиц, летящих из места встречи, тем, что оно равномерно распределено по времени относительно момента столкновения пучков и равномерно распределено по расстоянию до места встречи пучков. Таким образом, для распознавания таких событий и их восстановления нужен специальный алгоритм.

В настоящей работе реализован алгоритм восстановления треков заряженных частиц с использованием метода гистограммирования и проведено испытание этого алгоритма на моделированных событиях и реальных событиях, полученных в результате экспериментов.

---

1. Аульченко и др. “Проект детектора КМД-2М”, Препринт ИЯФ 2001-45, Новосибирск 2000.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Б. И.Хазин

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРМФАКТОРОВ Λ ГИПЕРОНОВ МЕТОДОМ РАДИАЦИОННОГО ВОЗВРАТА**

Л. В. Кардапольцев

Новосибирский государственный университет

Электромагнитные формфакторы составных частиц содержат в себе информацию об их внутренней структуре. Изучение формфакторов дает

возможность исследовать некоторые детали и особенности сильного взаимодействия.

Основным методом их исследования является изучение угловой зависимости сечения процесса аннигиляции электрон-позитронной пары в пару барион-антибарион. Но в сечение, не зависящее от спинов начальных и конечных частиц, входят только модули формфакторов. Для измерения относительной фазы между формфакторами требуется также измерять зависимость сечения от спинов частиц. Сравнительно простой метод измерения поляризации существует для  $\Lambda$ -гиперона. Это нестабильная частица, которая с вероятностью 0.64 распадается на  $p\bar{\pi}$  при помощи слабого взаимодействия. Таким образом, изучая асимметрию в распределении  $\pi$  мезонов можно измерять поляризацию  $\Lambda$ -гиперонов.

Измерение относительной фазы между формфакторами планируется провести на детекторе ВаВаг. Для того, чтобы измерять фазу вблизи порога рождения пары  $\Lambda$  анти- $\Lambda$ , используется метод радиационного возврата. То есть, отбираются события

$$e^+e^- \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \gamma,$$

в которых энергия  $\gamma$ -кванта подбирается такой, чтобы пара  $\Lambda$  анти- $\Lambda$  рождалась вблизи порога.

В данной работе было вычислено дифференциальное сечение процесса аннигиляции электрон-позитронной пары в пару  $\Lambda$  анти- $\Lambda$  с излучением фотона в начальном состоянии и учетом спина конечных частиц, а также проведен анализ зависимости поляризации  $\Lambda$ -гиперона от его кинематических переменных.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Мильштейн.

**ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА  $e^+e^- \rightarrow 4\pi$   
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 700-980 МЭВ НА ДЕТЕКТОРЕ КМД-2.  
ВЕРОЯТНОСТЬ РАСПАДА  $p \rightarrow 4\pi$  В МОДЕЛИ  $a_1\pi$ .**

А. В. Козлинский  
Новосибирский государственный университет

Исследования  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны при низких энергиях проводятся уже более 30 лет. Точные измерения параметров легких векторных мезонов  $\rho$ ,  $\omega$  и  $\phi$  и детальное изучение свойств адронного континуума позволяют получить важную информацию о взаимодействии легких кварков и спектроскопии их связанных состояний.

Более точное исследование поведения сечения во всем интервале энергий позволит проверить предсказания киральной модели и модели векторной доминантности, а также более точно рассчитать адронный вклад в аномальный магнитный момент мюона.

В данной работе была изучена реакция  $e^+e^- \rightarrow 4\pi$  в диапазоне энергий 700-980 МэВ с использованием полной статистики КМД-2 и привлечением к анализу событий с одним невосстановленным треком. Сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow 4\pi$  показано на Рис. 1.

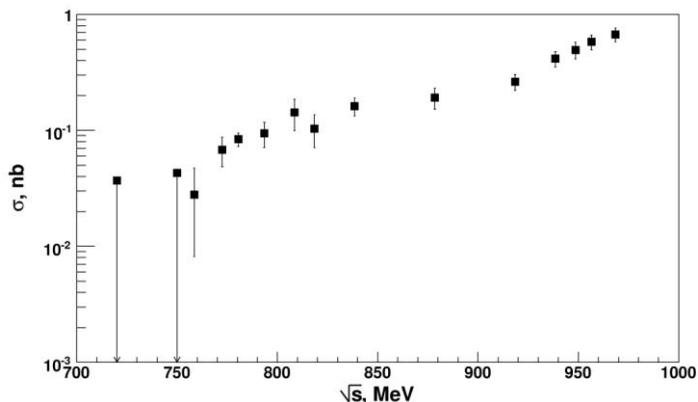


Рисунок 1: сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow 4\pi$

На основании полученных данных была рассчитана вероятность распада  $\rho \rightarrow 4\pi$  в модели  $a_1\pi$  ( $\text{Br}(\rho \rightarrow 4\pi) = (4.3 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$ ) и показано, что модель  $a_1\pi$  не противоречит экспериментальным данным.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С. И.Эйдельман

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЕ ДЕТЕКТОРА КЕДР

Т. А. Козлова

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в Институте ядерной физики на ускорительном комплексе ВЭПП-4М ведутся эксперименты на детекторе КЕДР. Основной частью трековой системы детектора является дрейфовая камера (ДК). Информация дрейфовой камеры позволяет реконструировать треки

заряженных частиц, определять их импульс по кривизне траектории в магнитном поле и тип по ионизационным потерям.

Цель данной работы – разработка программного обеспечения для анализа данных об ионизационных потерях в ДК и идентификация заряженных частиц.

Для калибровки ионизационных потерь используются космические мюоны. Определено, что амплитуда сигнала зависит от расстояния и времени дрейфа ионизации, углов наклона трека к анодной проволочке и к линии дрейфа, а также координаты вдоль проволочки.

Для правильного определения ионизационных потерь учитывались следующие факторы: отличие газового усиления для различных анодных проволочек в ячейках, слоях и секторах ДК; различие калибровочных констант электроники и их нестабильность, определяемое внешними параметрами; геометрический фактор, связанный с построением пересечения трека с ячейкой, который определяет длину участка сбора ионизации.

Вычисление  $dE/dx$  требует подбора оптимальных параметризаций найденных зависимостей. В связи с этим был написан пакет программ для получения калибровочных функций и отработана процедура записи всех калибровочных констант в одну базу данных. Также изучено влияние температуры и напряжений питания на параметры электроники.

После проведения калибровки и учета эффектов, влияющих на измеренное значение  $dE/dx$ , энергетическое разрешение дрейфовой камеры составило  $\approx 8\%$  для космических частиц. Также была получена зависимость энергетического разрешения от числа хитов на треке и длины трека.

Проводится обработка данных для заходов 2004 года и исследование зависимости  $dE/dx$  разрешения как функции нескольких переменных, после чего планируется разработать пакет программ для идентификации частиц в ДК.

Научный руководитель – науч. сотр. К.Ю. Тодышев

## КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЕ ПРАВИЛО ОТБОРА ПО ОРБИТАЛЬНОМУ МОМЕНТУ ДЛЯ ДИПОЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ В АТОМЕ ВОДОРОДА.

Д. В. Матвиенко

Новосибирский государственный университет

Излучение частицы в классической электродинамике сопровождается потерей момента. Известно, что эта тенденция сохраняется в квантовой механике, хотя возможны дипольные переходы с  $\Delta l = +1$ . Изменение квантовых чисел  $n$  и  $l$  в одном направлении наиболее вероятно, чем в противоположных. К примеру, отношения вероятностей для водорода

$$\frac{W_{4p \rightarrow 3s}}{W_{4p \rightarrow 3d}} = 10 > 1 \quad [1].$$

В данной работе обсуждается вопрос о том, насколько и при каких условиях дипольные переходы с потерей момента преобладают в водороде. Для этого сначала рассматривается классическое излучение частицы в притягивающем кулоновском поле. В рамках классической задачи определяется фурье-компонента для потери момента при излучении и используется выражение для интенсивности излучения на заданной гармонике  $V$  [2]. Переход к квантовой задаче осуществляется определением квазиклассических вероятностей дипольных переходов в единицу времени  $W_+^V$  и  $W_-^V$  соответственно с  $\Delta l = +1$  и  $\Delta l = -1$ , здесь  $V$  - разность главных квантовых чисел для уровней перехода. Они определяются таким образом, что произведение их суммы на энергию кванта равно интенсивности излучения, а их разность совпадает с потерей момента. Результат проведенного анализа состоит в том, что вероятности  $W_-^V$  переходов с  $\Delta l = -1$  численно доминируют всюду за исключением случая, когда  $l \ll n$  (однако следует помнить, что в квазиклассике  $n, l \gg 1$ ). Кроме того, переход с потерей момента происходит тем чаще, чем больше его частота. Однако, чтобы оставаться в пределах применимости квазиклассики, необходимо условие  $V \ll n$ , которое ограничивает частоту перехода некоторым максимальным значением.

---

1. Г. Бете, Э. Солпитер. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами. М., 1960, §63.

2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля. М., 1988, §75.

Научный руководитель – д-р физ.-мат.наук, чл.-кор. РАН, проф. И.Б. Хриплович

## ПОДХОД БФКЛ В КООРДИНАТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

А.В. Резниченко, М.Г. Козлов  
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

В ряду наиболее важных проблем физики высоких энергий задача описания динамики полужестких процессов при малых  $x_B$  представляется весьма актуальной. В настоящее время главную роль в теоретическом описании играет подход БФКЛ (Балицкого-Фадина-Кураева-Липатова) и подход, основанный на модели Мюллера (Mueller) цветовых диполей и на уравнении БК (Балицкого-Ковчегова).

Выяснение связи между подходами БФКЛ и БК является важной и актуальной задачей. При этом уравнение БФКЛ в настоящее время известно в приближении следующих за лидирующими логарифмов [1], в то время как соответствующие поправки к уравнению БК еще не найдены. В отличие от уравнения БФКЛ уравнение БК является нелинейным и призвано описывать эффекты нелинейной динамики партонов, такие как выход на режим насыщения. В ведущем порядке по константе связи уравнение БФКЛ может быть получено в результате линеаризации соответствующего уравнения БК [2]. Необходимо выяснить, имеет ли место аналогичная связь в следующем порядке. Для решения этой задачи необходимо преобразовать известное в импульсном представлении ядро уравнения БФКЛ в следующем порядке [1] в координатное представление, то есть в представление уравнения БК. Помимо прочего, такое преобразование необходимо для выяснения конформных свойств ядра уравнения БФКЛ, а также для нахождения источника нарушения конформной инвариантности.

В настоящей работе рассматривается преобразование в координатное представление кварковой абелевой части ядра БФКЛ: найден [3] вклад этой части в дипольное ядро и недипольный вклад, существенный для рассеяния несинглетных объектов. К настоящему моменту найдено дипольное ядро уравнения БФКЛ как для кваркового, так и для глюонного вкладов [4].

---

1. V. S. Fadin and R. Fiore, Non-forward NLO BFKL kernel, Phys. Rev. D72, 014018 (2005).

2. A. H. Mueller, Soft gluons in the infinite momentum wavefunction and the BFKL Pomeron, Nucl. Phys. B415, 373 (1994).

3. V. S. Fadin, R. Fiore, A. Papa, The dipole form of the quark part of the BFKL kernel, to be published, hep-ph/0701075.

4. V. S. Fadin, R. Fiore, A. Papa, to be published.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. В. С. Фадин

## **ГЕНЕРАЦИЯ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ СУБНАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

Н.М. Пульников

Уральский государственный университет им. А.М. Горького

Для проведения многих физических исследований и практических применений в области плазмохимии, диагностики плотной плазмы и других областях науки требуется получить импульсы субнаносекундного диапазона длительности, измерить их характеристики и определить, какие условия оптимальны для генерации таких импульсов.

В субнаносекундном диапазоне длительностей источниками пучков электронов являются сильноточные ускорители. Принцип действия таких ускорителей основан на однократном ускорении инжектируемых катодом электронов в ускоряющем зазоре. Электроны инжектируются ненакаливаемым металлическим или графитовым катодом, на поверхности которого, при подаче высокого отрицательного потенциала вследствие явления взрывной электронной эмиссии (ВЭЭ) [1], возникают плазменные образования. Эта плазма является источником ускоряемых электронов. Особенность ускорителей прямого действия состоит также и в том, что импульс высоковольтного генератора, подаваемый на промежуток катод-анод, с одной стороны создает условия для работы катода в режиме ВЭЭ, а с другой - ускоряет эмитированные катодом электроны. Таким образом, другим важнейшим компонентом ускорителя прямого действия является высоковольтный генератор импульсов напряжения. Применительно к поставленным задачам, планируется использовать высоковольтные генераторы с длительностями импульсов в единицы и десятые доли наносекунд.

Данное исследование посвящено решению актуальной научной задачи по нахождению оптимальных условий для генерации пучков импульсов с наибольшей плотностью тока.

---

1. Бугаев С.П., Ильин В.П., Кошелев В.И., Месяц Г.А., Нечаев В.Е., Усов Ю.П., Фукс М.И., Яблоков Б.Н. Формирование сильноточных реля-

тивистских электронных пучков для мощных генераторов и усилителей СВЧ. В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с.5-75.

Научный руководитель – канд. техн. наук С.А. Шунайлов

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦЫ ОТКЛИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ УСКОРИТЕЛЕЙ**

А. Л. Романов

Новосибирский государственный университет

Одной из основных проблем при вводе ускорителя заряженных частиц в эксплуатацию является определение истинных значений параметров магнитной структуры.

Для вычисления отклонений параметров линейной оптики ускорителя от проектных можно использовать матрицу отклика орбиты [1]. Она строится путем измерения значений смещения орбиты пучка на датчиках положения пучка (ДПП) при поочерёдном включении всех корректирующих магнитов. Для нахождения истинных значений параметров магнитной структуры необходимо найти такую вариацию искомых параметров, которая приводит к наименьшему среднеквадратичному отклонению между экспериментальной и моделируемой матрицами отклика.

На основе программы “sixdsimulation”, производящей расчёт линейной оптики циклических ускорителей в шестимерном фазовом пространстве, была написана подпрограмма “responsematrix”. Она позволяет определять отклонения следующих параметров: градиенты линз и магнитов, калибровки корректоров и ДПП.

Для вычисления матрицы отклика в алгоритм программы “sixdsimulation” была включена возможность задания протяженных корректоров, при этом отклик на горизонтальные корректоры вычисляется с учетом дисперсии [2].

Для определения отклонений параметров от проектных значений полученная система нелинейных уравнений решается итерационно, линейризация приводит к необходимости вычислять производные элементов матрицы отклика по искомым параметрам. В подпрограмме “responsematrix” используется алгоритм численного дифференцирования на каждом шаге итерации. Обсуждается связь точности найденных параметров с точностью измерений экспериментальной матрицы отклика.

С помощью написанной подпрограммы планируется провести анализ оптики ускорителя «ВЭПП-2000».

---

1. J. Safranek “Experimental Determination of Storage Ring Optics Using Orbit Response Measurements”, Nucl. Instr. and Meth. A388, (1997) p. 27.

2. J. Safranek “Beam-based lattice diagnostics”, in: Beam Measurements. Proc., Joint US-CERN-Japan-Russia School on Particle Accelerators, S.Kurokawa et al. (eds.), Singapore: World Scientific (1999), p. 298.

Научный руководитель — д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.М. Шатунов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ СЧЕТЧИКА NaI(Tl) КАЛОРИМЕТРА ДЕТЕКТОРА СНД.**

К. Ю. Сковпень

Новосибирский государственный университет

Детектор СНД является одним из двух детекторов, на которых в ближайшее время будут проводиться эксперименты на ВЭПП-2000. В результате того, что суммарная энергия в системе центра масс электрон-позитронных пучков возрастет до 2 ГэВ, имеется возможность изучения аннигиляции электрон-позитронных пар в нейтрон-антинейтронные пары с целью измерения электромагнитного форм-фактора нейтрона вблизи порога. Планируется использовать время-пролетную методику для выделения данных событий.

Целью данной работы является исследование временного разрешения счетчика на основе кристалла NaI(Tl) из третьего слоя калориметра детектора СНД. Проведены измерения с использованием различных оцифровывающих блоков: цифровой осциллограф Tektronix TDS3012B, и блоков, разработанных в ИЯФ: флэш-АЦП 502 в стандарте КАМАК и флэш-АЦП ПА-24 в стандарте КЛЮКВА. Проведено изучение временного разрешения с использованием различных схем формирования импульсов. Набор статистики проводился на космических мюонах с использованием телескопа сцинтилляционных счетчиков. Полученное временное разрешение для счетчика NaI(Tl) для всех видов измерений составило  $\sim 2$  нс при энергосегментации в кристалле  $\sim 70$  МэВ.

Помимо данных измерений, написана программа моделирования системы измерения временного разрешения счетчика NaI(Tl) с использованием пакетов ROOT и GEANT4.

В данное время проводятся измерения временного разрешения счетчика NaI(Tl) с использованием модернизированного формирователя Ф12 де-

тектора СНД, а также идет написание программы моделирования временного разрешения для моделирования детектора СНД.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.Б. Голубев

## **ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ГЕРМАНИЕВОГО ДЕТЕКТОРА**

А. И. Хорошилов

Новосибирский государственный университет

В работе исследуется полупроводниковый германиевый детектор. Он представляет собой цилиндр из сверхчистого германия радиусом 27,25 мм и высотой 51,5 мм (чувствительный объём). Внутри цилиндра имеется пустое отверстие радиусом 4 мм. Данный цилиндр покрыт тефлоном и помещён в двойную оболочку из дюралюминия. Пространство между двумя оболочками заполнено вакуумом в целях теплоизоляции германиевого кристалла. Чувствительный объём охлаждается посредством его контакта через алюминиевый стержень с жидким азотом. На внутреннюю и внешнюю поверхности германиевого цилиндра подаётся разность потенциалов. При прохождении заряженной частицы через детектор, образующиеся в чувствительном объёме электрон-дырочные пары разделяются во внешнем электрическом поле и оседают на аноде и катоде соответственно. Собранный электрический заряд пропорционален ионизации, выделившейся в германиевом кристалле. Низкие температуры нужны для снижения теплового шума в кристалле и повышения точности измерения энергии. Главное преимущество этого детектора – его высокое энергетическое разрешение. Он способен измерять энергию  $\gamma$ -квантов с точностью 1 КэВ. В настоящее время этот детектор применяется на ускорителе ВЭПП-4М в ИЯФе для измерения энергии пучка. Планируется его использование в измерении спектров тормозного излучения и обратного комптоновского рассеяния, что является актуальной задачей. Для этого необходимо более глубокое понимание устройства и принципов работы детектора.

Проблема заключается в том, что энергия налетающей частицы может выделиться в детекторе не полностью. На программе GEANT4 мной были смоделированы спектры поглощения для данного детектора в зависимости от энергии налетающих  $\gamma$ -квантов и координаты их проникновения в детектор. Были получены графики зависимости эффективности детектора от вышеупомянутых входных параметров (энергия  $\gamma$ -квантов и их координата). Эффективностью детектора названо отношение событий в пике полно-

го поглощения к общему числу событий. Зависимость эффективности детектора от координаты была измерена мною экспериментально. Для этого применялся свинцовый коллиматор с находящимся за ним изотопом Cs-137. В пределах точности измерения полученная зависимость совпала с моделируемой. Также была смоделирована анти-комптоновская защита. В ближайшее время планируется её экспериментальная установка.

Научный руководитель - науч. сотр. И.Б. Николаев

## ИЗУЧЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЕТЕКТОРА КЕДР

В. А. Черепанов

Новосибирский государственный университет

В 2002 году начались эксперименты с универсальным магнитным детектором КЕДР на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М в институте ядерной физики имени Будкера в Новосибирске. Детектор работает в области энергий от пси до ипсилон мезонов. КЕДР - один из 5 крупных детекторов, работающих в мире в этой области, предназначен для работы в области энергий до 10 ГэВ в системе центра масс.

Для будущих анализов на КЕДРе, требующих реконструкцию заряженных треков, например, таких как измерение массы D-мезона, требуется знать как статистическую точность реконструкции, так и возможные систематические отклонения, связанные с неточным значением магнитного поля, ионизационными потерями, неточностями калибровки и т.д. Работа направлена на изучение статистических и систематических эффектов в реконструкции треков.

Обрабатывались события упругого электрон-позитронного рассеяния, пролета космических мюонов и распады  $\Psi'$ . Обработка событий пролета космических мюонов позволила измерить импульсное разрешение пролетной системы детектора в широком диапазоне импульсов 100МэВ...2000МэВ. Также измерено разрешение полярного и аксиального углов. Получена точность измерения импульса электронов и позитронов упругого рассеяния на энергии 1847.8 МэВ, которая в пределах ошибки согласуется с импульсным разрешением, измеренным на космических частицах. Получение массы отдачи  $J/\psi$  мезона (3100МэВ) в процессе  $\Psi' \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ , построение его инвариантной массы в распаде  $J/\psi \rightarrow e^+ e^-, \mu^+ \mu^-$  и построение инвариантной массы  $K_s$  мезона (496МэВ) в распаде  $K_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$  дают возможность судить о поправке к абсолютному

значению импульса связанному с неточным определением магнитного поля.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Эйдельман, мл. науч. сотр. А.О. Полуэктов

## **ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ КРИСТАЛЛОВ ЧИСТОГО CsI ПРИ ОБЛУЧЕНИИ $\gamma$ -КВАНТАМИ И НЕЙТРОНАМИ**

В. Е. Шебалин

Новосибирский государственный университет

В данной работе проводилось изучение деградации световыхода сцинтилляционных счетчиков на основе кристаллов чистого CsI вследствие радиационного старения при облучении фотонами и нейтронами. В случае облучения фотонами измерения были проведены для двух кристаллов чистого CsI размеров счетчиков BELLE и одного счетчика, собранного на основе кристалла и вакуумного фотопентода Hamamatsu. Для облучения кристаллов использовались тормозные  $\gamma$ -кванты с энергией  $E_\gamma = 480$  КэВ. Была проведена серия из 3-х облучений с суммарной дозой 13 крад. Уменьшение световыхода кристаллов составило 3% и 66%, счетчика – 11%. Для изучения радиационной стойкости при облучении нейтронами были использованы два кристалла чистого CsI размеров  $3.5 \times 3.5 \times 3.5$  см<sup>3</sup> и три кристалла CsI(Tl)  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  см<sup>3</sup>, максимальный поток нейтронов составил  $3 \times 10^9$  н/см<sup>3</sup>. После облучения были обнаружены несколько линий собственной радиоактивности со временем жизни порядка нескольких часов, через неделю после облучения были наблюдаемы четыре долгоживущие линии с суммарной частотой порядка 5 Гц. Изменения световыхода кристаллов в пределах точности измерения 2% обнаружено не было.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А.С. Кузьмин

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

## ТРЕКОВЫЙ ПРОЦЕССОР ДЕТЕКТОРА СНД

Е.А. Чекушкин

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена разработке блока Логики Треков (ЛТ) для дрейфовой камеры (ДК) детектора СНД, который в настоящее время готовится к экспериментам на  $e^+e^-$  - коллайдере ВЭПП-2000. Она также включает в себя описание алгоритма поиска треков и проверку его эффективности на моделированных физических событиях.

ДК СНД имеет ячейку струйного типа и состоит из 24 секторов по 9 проволочек. Выходные сигналы ЛТ строятся на основе логической информации о срабатывании проволочек ДК, доступной во время формирования сигналов первичного триггера. ЛТ подсчитывает число треков в камере и определяет их взаимное расположение.

Для поиска треков используются 5 внутренних слоёв камеры. ЛТ ориентирована на поиск «центральных» треков, т.е. треков, пересекающих не более двух секторов. Алгоритм учитывает возможную неэффективность камеры и наличие шумовых срабатываний.

В качестве основы для построения ЛТ используется 24 15-разрядных ОЗУ, по одному ОЗУ на сектор. Логические сигналы срабатываний проволочек формируют адрес ОЗУ, на каждое ОЗУ подаются сигналы с сектора, в котором ищется трек, и с двух его соседей. Создание алгоритма ЛТ сводится, главным образом, к разработке методики корректного заполнения ОЗУ (нахождению масок ЛТ).

На первом этапе из всех возможных масок вычеркиваются маски, не содержащие конфигураций сработавших проволочек, соответствующих трекам. На втором этапе ведётся борьба с раздвоением треков, т.е. со случаями, когда для комбинации сработавших проволочек, соответствующей одному треку, находятся два трека в двух соседних ОЗУ. Эффективность алгоритма нахождения трека в зависимости от расстояния  $D$  от трека до центра камеры проверялась с помощью моделирования и составила 100% вплоть до  $D = 10$  мм. Для проверки использовались моделированные события физических процессов:  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- (\gamma)$ ,  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p} \rightarrow \pi^+\pi^- \pi^+\pi^-$  и  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ .

Логика работы блока реализована с использованием одной микросхемы ПЛИС Altera. Обработка входных сигналов происходит по конвейерному принципу, то есть обработка разбита на логически независимые этапы, время выполнения каждого не превышает период обращения пучка 81 нс.

Научные руководители – Ю.В. Усов, д-р техн. наук, проф. В.М. Аульченко

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДА КОНТАКТНЫХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

В.Э. Каликин

Новосибирский государственный университет

В настоящее время в конструкторско-технологическом институте научного приборостроения производится разработка системы автоматического измерения износа и обнаружения дефектов провода контактных сетей железных дорог. В основу работы системы положен метод оптического структурного освещения [1], позволяющий определять форму продолговатого предмета с помощью облучения веерным лазерным лучом, с последующей регистрацией и анализом отраженного луча. Конструктивно измерительная система представляет собой модуль получения изображения и модуль обработки и накопления видеоданных. Программное обеспечение системы представлено набором приложений обеспечивающих: 1) захват изображения с системы скоростных видеокамер; 2) обработку изображений с целью измерения износа и обнаружения дефектов контактного провода в реальном времени; 3) сохранение изображений и результатов измерений в реляционной базе данных. На текущий момент система измеряет остаточную высоту контактного провода с погрешностью  $\sim 0.1$  мм при скорости транспортного средства 5 км/час, площадь поперечного сечения провода со среднеквадратической погрешностью  $\sim 1.5$  мм<sup>2</sup>, что является достаточным для уверенного принятия решений по замене изношенных участков контактных сетей. Система также может использоваться для измерения износа проводов контактной сети городского транспорта и для технологического контроля геометрических параметров при производстве кабельной и трубной продукции.

---

1. Skotheim O. and Couweleers F. Structured light projection for accurate 3D shape determination. Proc. 12th International Conference on Experimental Mechanics (ICEM12), Bari, Italy, McGraw-Hill, 2004.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук М.Ф. Ступак, канд. физ.-мат. наук С.В. Каличкин

## **ОДНОКООРДИНАТНЫЙ ДЕТЕКТОР СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОД-4**

С.С. Гребенкин  
Новосибирский государственный университет

Синхротронное излучение широко используется в химии и биологии, для исследования взрывных процессов и строения вещества [1]. Дифрактометрия является одним из методов исследования вещества, при котором излучение рассеивается на образце. Для регистрации рассеянного излучения строятся различные детекторы.

В настоящее время в Институте Ядерной Физики строится новый однокоординатный детектор синхротронного излучения ОД-4. Детектор предназначен для опытов по дифрактометрии порошковых смесей и дополнит в экспериментах уже существующий детектор ОД-3.

ОД-4 состоит из двух частей – регистрирующей части и обрабатывающей электроники. В докладе речь пойдет об устройстве детектора ОД-4 (в частности, об электронных компонентах) и о принципах его работы.

---

1. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы.

Научные руководители – д-р техн. наук, проф. В.М. Аульченко, В.В. Жуланов

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДИК STEREO-PIV И PLIF

Ю. А. Ложкин

Новосибирский государственный университет

Целью работы является разработка программного обеспечения измерительной системы, работающей на основе методик Stereo-PIV и PLIF, предназначенных для регистрации мгновенных полей скорости и температуры соответственно в выбранном сечении потока жидкости и газа. Эти методы возникли сравнительно недавно, и получили широкое распространение благодаря невозмущающему способу измерения и возможности получения принципиально новой информации об объекте.

Программное обеспечение «ActualFlow» предназначено для управления сбором данных, их хранения, обработки и визуализации. Блок хранения данных разработан для удобной организации больших объемов данных (десятки и сотни гигабайт) и их свойств. Блоки обработки данных и управления экспериментом открыты для расширения новыми расчетными процедурами и модулями управления оборудованием. Блок отображения данных позволяет визуализировать все типы данных, хранимые в системе, обеспечивая наиболее продуктивную работу с ними для пользователя.

Архитектура модуля отображения данных позволяет быстро вводить новые способы визуализации согласно возникающим задачам. Реализованы следующие базовые виды отображения: двумерные поля, гистограммы и графики. Эти три вида существуют в системе независимо, для их реализации используется общий архитектурный шаблон.

Набор расчетных процедур, предназначенный для обработки PLIF данных, включает калибровку установки для построения зависимости яркости от температуры для каждого пикселя камеры и восстановление из изображений мгновенных полей температуры на основе калибровки. Дополнительная процедура коррекции мгновенных изображений позволяет существенно снизить погрешность, связанную с нестабильностью и пространственной неоднородностью лазерного ножа. По результатам тестирования на эксперименте погрешность измерений температуры составила не более 1 °С в диапазоне 20–40 °С.

В докладе представлена общая архитектура и особенности реализации отдельных блоков ПО «ActualFlow», алгоритмы обработки PLIF данных и результаты их применения в эксперименте. В настоящий момент описанное программное обеспечение используется в экспериментах по исследованию потоков жидкости и газа в нескольких научных коллективах.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Д.М. Маркович

# ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММ ГРОТРИАНА ДЛЯ АТОМОВ С ND-ОБОЛОЧКОЙ

Н.П. Пожидаева

Новосибирский государственный университет

В практике исследователя часто возникает ситуация, когда ему необходима информация о свойствах физических систем. В атомной спектроскопии это параметры энергетических уровней и радиационных переходов. Эффективным способом получения таких данных являются информационные системы (ИС) на основе баз данных. Традиционное для таких систем табличное представление данных дополняется визуализацией в виде диаграмм Гротриана [1] (щелочные и щелочно-земельные атомы).

В настоящей работе ставится задача реализовать ИС, обеспечивающую визуализацию для атомов с заполняющейся nd-оболочкой. К ним относятся группы железа (3d-оболочка), палладия (4d) и платины (5d).

Спектры таких атомов характеризуются следующими особенностями [2, 3]: большое число уровней и переходов, появление термов с высокой мультиплетностью (9, 10), сильная конкуренция s- и d- электропереходов. Все эти особенности учитываются при построении диаграмм Гротриана.

ИС состоит из трех основных модулей. Один отвечает за хранение и обработку запросов данных (база данных со специальной надстройкой), второй – за представление данных в Интернет (в виде таблиц и диаграмм), третий – за администрирование данных (пополнение и верификацию).

Прототип ИС «Электронная структура атомов» построен и заполнен новейшими данными из различных источников для 52 элементов, строит диаграммы Гротриана для атомов с любой связью, опубликована в открытом доступе (<http://asd.nsu.ru>).

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ, грант № 05-07-90220.

---

1. Тюменцев А.С., Яценко А.С., Казаков В.Г. Информационная система «Электронная структура атомов» с динамическим построением графического представления спектральных данных. // Автотметрия, Т. 41, № 6, стр. 115 – 123, Новосибирск, 2005 г.

2. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М., Наука, 1977

3. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М. Физмат, 1962

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук В.Г. Казаков, канд. техн. наук А.С. Яценко

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СБОРА, СОХРАНЕНИЯ И ПРОСМОТРА ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ**

А.Н. Синюшкин

Новосибирский государственный университет

В Сибирском Центре Фотохимических Исследований для управления различными подсистемами Лазера на Свободных Электронах (ЛСЭ) используются программные средства, основанные на клиент-серверной технологии Channel Access, входящей в пакет бесплатных инструментальных программных средств для экспериментально-физических и промышленных систем (Experimental Physics and Industrial Control System, <http://www.aps.anl.gov/epics>). Перед автором были поставлены задачи:

1. написания программного обеспечения, основанного на клиентской части Channel Access, для сбора значений параметров ЛСЭ с управляющих приложений, являющихся Channel Access серверами, и сохранения их в базе данных.
2. написания программного обеспечения для просмотра базы данных, содержащей сохраненные значения параметров ЛСЭ, в графическом виде в режиме off-line.

Научный руководитель – канд. техн. наук С.С. Середняков

## **РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ПОЛНОМАСШТАБНОГО ТРЕНАЖЕРА АСУТП 6-ГО ЭНЕРГОБЛОКА НОВОСИБИРСКОЙ ТЭЦ-5**

Т.И. Асыркин

Новосибирский государственный университет

Эффективность и надежность работы промышленных объектов энергетики во многом зависит от качества эксплуатации оборудования, располо-

женного на этих объектах. Как правило, тренировки персонала принципиально не возможны на реальном объекте, так как сопряжены с опасностью и дороговизной их проведения. В связи с этим на промышленных объектах используются компьютерные тренажеры, позволяющие решать задачи по подготовке специалистов на различные должности оперативного состава, по поддержанию и повышению их квалификации, а также по контролю знаний и практических навыков.

Одним из важнейших требований, предъявляемых к компьютерному тренажеру, является максимальное подобие той системе, которая им моделируется. Для того чтобы удовлетворить этому требованию, предлагается способ построения тренажера, который основан на идее переиспользования существующих компонентов реальной системы.

На основе предложенного способа было принято решение создать полномасштабный тренажер для энергоблока №6 НТЭЦ-5. На данный момент на этом промышленном объекте эксплуатируется АСУТП на базе ПТК «Торнадо». Основным компонентом ПТК является контроллер функциональных узлов (КФУ), состоящий из взаимосвязанных промышленных контроллеров, исполняющих логику работы функциональных подсистем. Реализация этого компонента на компьютере позволит применить в составе тренажера программное обеспечение действующей АСУТП в полном объеме, включая операторский интерфейс и логику работы функциональных подсистем. Использование такого тренажера позволит решать задачи по обучению и совершенствованию навыков оперативного персонала, даст возможность администраторам функциональных подсистем не только совершенствовать навыки эксплуатации, но и создавать, развивать и проверять технологические алгоритмы, что, несомненно, повысит эффективность и надежность работы данного промышленного объекта.

Научный руководитель – канд. техн. наук О.В. Сердюков

## **ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

И.А. Корепанов

Новосибирский государственный университет

Поставленной передо мною задачей является разработка и создание распределенной системы устройств, где каждое устройство (узел сети), является, с одной стороны, некоторым функциональным блоком, управляемым через беспроводной канал данных и выполняющим определенные

функции на объекте автоматизации (например, регулятор температуры), а с другой стороны – роутером, или маршрутизатором, благодаря чему, все узлы сети объединены в беспроводную сеть.

Таким образом, управляющее устройство, с помощью которого осуществляется управление всеми узлами-устройствами в построенной системе, для доступа и передачи команды управления любому узлу системы, должен быть в радиусе приема хотя бы одного узла-устройства.

Главной идеей разрабатываемой системы является применение в каждом узле-устройстве миниатюрных чипов, так называемых, SoC-устройств (System on Chip - "система на кристалле"), с интегрированными на одном кристалле приемопередатчиком и микроконтроллером.

Если представить данную систему узлов-устройств на модели графа, где вершинами являются устройства с чипами приемопередатчиков, а ребрами – связи между устройствами, то для построения сети необходимо, чтобы любая вершина графа была достижима из любой другой вершины хотя бы по одному пути.

Многу были сформулированы требования к проектируемой системе:

1. Осуществление поиска кратчайшего пути между двумя узлами сети
2. Перерасчет пути, в случае разрыва связи между некоторыми узлами
3. Автоматическое переконфигурирование сети при внесении в сеть или исключении из сети устройств, при нарушении или восстановлении связей между отдельными устройствами

Сформулированы технические требования:

1. Программно-техническая идентичность каждого узла-устройства
2. Небольшие габариты узла-устройства, низкое энергопотребление
3. Использование одного мобильного устройства для управления всем процессом автоматизации
4. Возможность функционирования в системе до 128 устройств
4. Требование относительно низкой стоимости проектируемой системы

Научный руководитель – канд. техн. наук О.В. Сердюков

## **РАЗРАБОТКА МНОГОПОРТОВОГО СЕТЕВОГО КОММУТАТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

А.И. Охохонин

Новосибирский государственный университет

Большое количество измерительной и телеметрической аппаратуры в современных угольных шахтах вызывает необходимость обеспечить надежную и достаточно высокоскоростную передачу данных из шахты в управ-

ляющий сервер, находящийся на поверхности земли. Широко применяющийся и по сегодняшний день стандарт RS-485 обеспечивает скорость передачи около 100 Кбит/сек. на расстояние 1200 м. по медной витой паре. Нашей лабораторией было предложено использовать в качестве основной магистрали передачи данных оптоволоконный кабель, а ответвления по RS-485 на измерительную аппаратуру делать через преобразователи-коммутаторы пакетов. Применение оптоволоконного кабеля обеспечивает возможность получения скоростей до 100 Мбит/сек. на расстоянии до 2 км.

Угольные шахты являются опасными по газу и угольной пыли, что накладывает серьезные ограничения на электронную аппаратуру, разрешенную там к применению. Прежде всего, это либо искробезопасное исполнение, либо применение взрывозащищенного корпуса. Кроме того, большие расстояния приводят к необходимости обеспечить достаточно низкое потребление электроэнергии приборами. Существующая на рынке аппаратура для решения подобных задач не отвечает этим требованиям в полной мере.

Лабораторией №5 КТИ ВТ СОРАН был разработан многопортовый сетевой коммутатор (МСК), который осуществляет трансляцию Ethernet пакетов от управляющего сервера на каналы RS-485. Также он является Ethernet-коммутатором (switch), что позволяет использовать его как повторитель для создания оптических линий связи практически неограниченной длины. Прибор имеет 6 входов для оптоволоконных линий 100Base-FX, 2 входа для 100Base-TX и 8 портов RS-485. Малые габаритные размеры печатной платы позволяют устанавливать прибор в недорогую корпусную оболочку. МСК позволяет использовать уже существующее программное обеспечение, работающее по протоколу ModBus с периферией, путем использования драйверов виртуального Com-порта. Благодаря этому можно легко интегрировать МСК в уже готовую АСУ ТП.

Научный руководитель – М.А. Кузнецов

## **ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ И ОБМЕНА ДАННЫМИ С ДЕТЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ РАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ЭКСПЕРИМЕНТА «КЕДР» НА ВЭПП-4М**

А.Д. Русанов

Новосибирский государственный университет

В системе регистрации рассеянных электронов эксперимента «КЕДР» используется набор детекторов на основе газовых электронных умножителей. Для управления детекторами используется контрольный блок (КБ), позволяющий регистрировать события и предоставляющий интерфейс для взаимодействия с ПК посредством САМАС или через Ethernet.

Рассматриваемая программа обеспечивает инициализацию блока, чтение данных из блока указанными способами, измерение скорости обмена, запись данных на жесткий диск и вывод на экран обработанных данных в режиме онлайн в удобном для пользователя виде с возможностью вычитания «пьедесталов».

Также проведена работа по измерению и оптимизации обмена данными между ПК и контрольным блоком по Ethernet.

Научный руководитель – канд. физ.-мат.наук Л.И. Шехтман

## **СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ JAVA ПРИЛОЖЕНИЙ**

С.Н. Каньшин

Новосибирский государственный университет

В настоящее время широкое распространение среди разработчиков программного обеспечения получили объектно-ориентированные языки программирования и платформы, основанные на исполнении платформенно-независимого байт кода. При очевидных преимуществах (независимость программы от аппаратных средств), платформа обладает одним существенным недостатком, который сдерживает ее использование разработчиками тиражируемых программных продуктов – сложность защиты интеллектуальной собственности.

Байт-код, являясь по сути объектно-ориентированным ассемблером, содержит всю информацию об исходном тексте программы, вследствие чего, для злоумышленника не составит труда произвести обратное преоб-

разование купленной или украденной программы в текст на языке высокого уровня, досконально разобраться в содержащихся в программе алгоритмах, отключить защиту от копирования и даже скомпилировать свою версию программы. Поэтому существует два основных вида кражи интеллектуальной собственности производителя ПО: кража продукта (нелицензионное использование) и хищение know-how, т.е. взлом ПО с целью анализа используемых алгоритмов.

В настоящий момент защита от первого типа краж реализуется следующим спектром продуктов: проверка серийного ключа при установке, лицензионный файл, сервер лицензий, генерация серийного ключа с аппаратной привязкой, Hash-ключ. Защита от второго вида хищений в случае Java программ возможна путем обфускации (запутывания) байт-кода. Основным способом обхода защиты является создание программ-генераторов серийных ключей (keygen) или простая передача серийного ключа или файла лицензии лицам, не имеющим право на использование соответствующего ПО.

Основной задачей данной работы является построение комплексного средства защиты интеллектуальной собственности производителя ПО на платформе Java, сочетающего в едином программном средстве три компонента защиты (обфускатор, инсталлятор и модуль лицензионной защиты), что с одной стороны даст возможность производителю решить все проблемы одним средством вместо трех, с другой – позволит усилить каждую из трех составляющих защиты, за счет программой интеграции с другими.

Научный руководитель – В.В. Мухортов

# **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ**

## **РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ФТОРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТЖИГА И ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ**

Ю.В. Лавская

Новосибирский государственный университет

В настоящее время большой интерес вызывает вопрос химической модификации углеродных нанотруб (УНТ). Фторирование является наиболее эффективным и простым способом химического преобразования УНТ. Фторированные нанотрубы растворяются в спиртах, изменяются их оптические и проводящие свойства. В связи с этим возникает интерес к исследованию факторов, влияющих на процесс фторирования, в частности, длины УНТ и количества графитовых слоев. Существуют химический, термический и механический способы удаления атомов фтора со стенок УНТ при сохранении трубчатой структуры УНТ. Частичное дефторирование может значительно модифицировать электронную структуру УНТ.

В настоящей работе исследованы одно- и двуслойные УНТ (ОУНТ и ДУНТ) разной длины. Образцы получены каталитическим разложением метана на MgO при температуре 1000°C, фторировались, согласно [1], и подвергались следующим типам модификации: 1) отжиг в вакууме (~250°C, t=20 мин.) и 2) бомбардировка ионами Ag<sup>+</sup> (U=1 кВ, A=4 мкА, t=5 мин).

Анализ рентгеновских фотоэмиссионных C 1s-спектров показал различные степени фторирования УНТ в зависимости от их длины. Для коротких ОУНТ и ДУНТ степень фторирования оказалась больше, чем для длинных. Сравнение C K-края поглощения F-ДУНТ и F-ОУНТ показало сохранение сопряженной  $\pi$ -системы в случае двуслойных УНТ. Это указывает на то, что к внутреннему слою в ДУНТ атомы фтора не присоединяются.

Влияние нагрева и ионной бомбардировки рассмотрено на примере коротких ОУНТ. Анализ C 1s-спектров показал, что нагрев и ионная бомбардировка F-УНТ приводит к полному удалению фтора из образца, однако электронная структура полученных УНТ значительно отличается от электронной структуры исходных, нефторированных УНТ. Нагрев F-ОУНТ до 250°C приводит к удалению атомов фтора с одновременным «залечиванием» дефектов в стенках УНТ. И наоборот, ионная бомбардировка практически полностью разрушила УНТ.

1. Юданов Н.Ф., Окотруб А.В., Булушева Л.Г. и др. “Синтез и характеристика фторированных углеродных материалов, содержащих многослойные наночастицы.” Журн.неорг.хим. 2000 Т.45 С. 1960-1969.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А.В. Окотруб, д-р хим. наук Л.Г. Булушева

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГОСТИ БАМБУКОПОДОБНЫХ НАНОТРУБОК

О.Е. Глухова, А.С. Колесникова  
Саратовский государственный университет

На сегодняшний день свойства бамбукоподобных нанотрубок не исследованы, но известны различные способы получения [1, 2]. Согласно [1] бамбукоподобные углеродные нанотрубки выращиваются методом пиролиза на частицах Fe в присутствии Ag/H<sub>2</sub> при температурах 1000°C или в присутствии CH<sub>4</sub> на катализаторах Ni-Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при температурах 720-770°C [2]. Диаметр трубок приблизительно 40-60 нм, а длина 10 мкм. Трубки различаются количеством слоев, шагом перемычек, расположением каталитической частицы (частица может быть на конце или внутри трубки).

В настоящей работе представлены результаты теоретического изучения упругих свойств тонких однослойных УНТ типа “бамбук”. Рассчитаны параметры упругости нанотрубок. Выявлены зависимости модулей Юнга  $Y$  и кручения  $f_{\Delta E}$  бамбукоподобных нанотрубок от количества перемычек. Энергии деформации кручения и растяжения рассчитываются методом сильной связи с оригинальной параметризацией [3].

**Таблица 1.** Изменение параметров упругости бамбукоподобных УНТ с увеличением количества перемычек.

N	L, Å	Y, ТПа	$f_{\Delta E}$ , keV*rad <sup>-2</sup>
1 перемычка	37,72	0,53177	0,306
2 перемычки	37,52	0,22812	0,454
Armchair (10,10)	40,51	0,44393	0,298

Модуль кручения возрастает с увеличением количества перемычек от 1 до 2. Модуль Юнга уменьшается с увеличением количества перемычек. Таким образом, идеальные УНТ (без дефектов остова) уступают бамбукоподобным по упругости в случае деформации кручения.

Для трубок, используемых в качестве игл микроскопов или игл в хирургии, где к прочности материала игл предъявляют повышенные требования, необходимо использовать бамбукоподобные трубки.

---

1. Xianbao Wang, Wenping Hu, Yunqi Liu, Chenfeng Long, Yu Xu, Shuqin Zhou, Daoben Zhu, Liming Dai. Carbon 39, 2001.

2. Jiuling Chen, Yongdan Li, Yanmei Ma, Yongning Qin, Liu Chang. Carbon 39, 2001.

3. Глухова О.Е., Жбанов А.И. ФТТ. Т.45. Вып.1., 2003.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. О.Е. Глухова

## **СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕЙТРОНОГРАФИЧЕСКОГО И РЕНГЕНОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЙ ФАЗЫ III ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ L-СЕРИНА ПРИ 8 ГПА**

Н. А. Туманов

Научно-образовательный центр «Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии», Новосибирский государственный университет

Для исследования структур фаз высокого давления *in situ* используют методы монокристаллической и порошковой дифрактометрии с использованием рентгеновского излучения или нейтронографию. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки.

Цель настоящей работы – сопоставление результатов экспериментального изучения структуры фазы L-серина-III, образующейся при давлении 8 ГПа следующими методами:

1) монокристаллическая рентгенография с использованием Mo  $K\alpha$  излучения ( $\lambda = 0,71069 \text{ \AA}$ ) [1-2]

2) порошковая рентгенография с использованием синхротронного излучения ( $\lambda = 0,71085 \text{ \AA}$ ) [2]

3) порошковая времяпролетная нейтронография (полностью дейтерированный образец) [3]

Сопоставлены сами структурные модели и параметры, характеризующие качество расшифровки и уточнения структуры.

Работа выполнена при поддержке грантов BRNE NO-008-X1, РФФИ 05-03-32468, Интеграционных Проектов СО РАН 110 и 49.

---

1. Drebushchak T. N., et al., Acta Crystallogr. E62, o4052 (2006)

2. Boldyreva E.V., et al., Chem. Phys. Letters, 429, 474 (2006)

3. Moggach S.A., et.al., Acta Crystallogr. B62, 815 (2006)

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Е.В. Болдырева

**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ  
ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ ОКСИДОВ  $\text{La}_{0.2}\text{Ca}_{0.8}\text{MnO}_3$   
МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО  
АНАЛИЗА И ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ  
МИКРОСКОПИИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

Е.Ю. Герасимов

Новосибирский государственный университет

Твердые растворы  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  представляют интерес в качестве катализаторов высокотемпературных процессов. С увеличением содержания двухвалентного катиона возрастает подвижность кислорода и увеличивается число анионных вакансий, что положительно влияет на каталитическую активность образцов, но снижает их термическую стабильность. Работа посвящена изучению особенностей строения перовскитоподобных оксидов состава  $\text{La}_{0.2}\text{Ca}_{0.8}\text{MnO}_{3-\delta}$  в зависимости от способа получения и последующей термообработки.

Синтез образцов проведен 1) из исходных оксидов керамическим методом при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение 40 часов с многократным перетиранием; 2) путем растворения в воде соответствующих солей нитратов в необходимом соотношении с последующим выпариванием и прокаливанием продукта при  $900^\circ\text{C}$  в течение 4 часов. Образцы охарактеризованы методами рентгенографии и электронной микроскопии. Первый образец представлял собой микрогетерогенный продукт, дальнейшее прокаливание образца в вакууме до температуры  $1100^\circ\text{C}$  привело к образованию локального упорядочения анионных вакансий. Второй образец оказался рентгенографически однофазным (перовскит ромбической модификации с параметром псевдокубической ячейки  $3.778 \text{ \AA}$ ) и однородным по данным HTREM и микроанализа (EDAX). При прокаливании образца в вакууме до температуры  $1100^\circ\text{C}$  зафиксировано появление нанокристаллических частиц ( $\sim 10 \text{ нм}$ ) фазы  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , когерентно связанных со структурой перовскита, что свидетельствует о частичном распаде твердого раствора. В перовскитной фазе наблюдается сверхструктура с удвоенным периодом перовскитной ячейки.

Таким образом, можно говорить, что в результате частичного распада твердого раствора, вызванного нагревом и восстановлением образца в вакууме, сформировались два типа нанокристаллических состояний перов-

скита и оксида марганца. В результате возникла частично упорядоченная микроструктура с когерентно связанными частицами двух фаз. Появление сверхструктуры в перовскитной фазе, очевидно, обусловлено перераспределением (упорядочением) кислородных вакансий.

Научный руководитель – канд. хим. наук В.И. Зайковский.

## **ХАРАКТЕР СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕРОВСКИТОВ СОСТАВА $\text{SrCo}_{0.8-x}\text{Fe}_{0.2}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\square}$ ( $x=0.1-0.3$ )**

М.Г. Иванов

Новосибирский государственный университет

Материалы, обладающие ионной кислородной проводимостью, могут быть использованы для получения атомарного кислорода, который, в свою очередь, находит широкое применение как чрезвычайно активный окислитель, в том числе и в топливных элементах. Одним из таких материалов является соединение состава  $\text{SrCo}_{0.8-x}\text{Fe}_{0.2}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\square}$  ( $x=0.1-0.3$ ) со структурой перовскита и вакансиями в анионной подрешетке, обеспечивающими кислородную проводимость. Мембраны, изготовленные из такого материала, позволили бы получать атомарный кислород при условии температурной стабильности структуры на воздухе и в вакууме, а также механической прочности мембраны.

Целью данной работы являлось определение методом рентгеноструктурного анализа характера структурных изменений с температурой материалов состава  $\text{SrCo}_{0.8-x}\text{Fe}_{0.2}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\square}$  с различным содержанием ниобия в массивном виде и нанесенном на пористую подложку из  $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$ . Выполнены эксперименты по исследованию массивных образцов с  $x = 0.1, 0.2$  и  $0.3$  (далее образцы 1, 2 и 3 соответственно) и нанесенного образца с  $x=0.2$  в интервале температур  $20-1200^\circ\text{C}$  на воздухе и в вакууме.

Образец 1 продемонстрировал нестабильность структуры с температурой. При  $800^\circ\text{C}$  произошло расщепление основного рефлекса (110), что говорит о деформации решетки. Получена зависимость параметра элементарной ячейки от температуры на воздухе и в вакууме в приближении псевдокубической решетки. В интервале рабочих температур ( $800-1000^\circ\text{C}$ ) отличие составляет порядка  $0.02 \text{ \AA}$ . Структура образца 2 оказалась стабильной, параметры элементарной ячейки в интервале рабочих температур на воздухе и вакууме совпадают. Малое отличие параметров решетки в вакууме и на воздухе является необходимым условием, т.к. исключает деформацию и разрушение мембраны с ростом температуры. Образец 3 так

же сохраняет структуру, однако наблюдается различие параметров решетки материала в вакууме и на воздухе.

Материал состава 2, нанесенный на подложку  $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$ , в процессе синтеза мембраны при температуре более  $1300^\circ\text{C}$  взаимодействовал с материалом подложки с образованием посторонних фаз. Таким образом, фазовый состав мембраны при высокотемпературной обработке меняется, что должно быть учтено при дальнейшей обработке технологии синтеза.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук А.Н. Шамаков

## **НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОРОШКИ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-КОБАЛЬТ: ПОЛУЧЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА**

А.Н. Попова

Кемеровский государственный университет

Одним из основных видов перспективных материалов в настоящее время признаны наноструктурные (наноразмерные) материалы [1]. Проявляющиеся в них размерные особенности структуры и свойств стимулируют нарастающий интерес к разработке способов получения наноматериалов. Целью работы является формирование физико-химических основ материалов, а также изучению их свойств (магнитных, электрических и пр.) и на этой базе – разработка и изучение конкретных способов и режимов получения в жидких средах наноразмерных взаимных систем металлов (железо-кобальт) с заданными свойствами.

В настоящее время известен ряд методов получения наноразмерных частиц (НРЧ) металлов, в том числе взаимных (двухкомпонентных) систем железо-кобальт (Fe-Co) [2]. Однако эти методы многостадийны, трудоёмки, а получаемый продукт резко негетерогенен по составу и содержит значительные количества окислов и гидроокисей. Способы получения НРЧ при одинаковом химическом составе во многом определяют их характеристические свойства (фазовый состав, дисперсность, пористость, форма и состояние поверхности).

В данной работе проведено системное изучение способов и режимов получения двухкомпонентных систем железо-кобальт в окислительно-восстановительных реакциях в водных растворах, а также свойств наноразмерных порошков и скомпактированных образцов состава Fe-Co. С целью определения зависимости свойств (фазовый состав, состояние поверхности, дисперсность, пористость, электропроводность, люминесценция, магнитная восприимчивость, температура плавления) продукта – нанопорошок железо-кобальт – от условий его получения выполнен цикл

работ с многофакторным планированием условий синтеза. Проведённый комплекс исследований позволил установить возможность управления дисперсностью, состоянием поверхности, распределением по размерам, а также фазовым составом нанопорошков железо-кобальт. Впервые получены НРЧ двухкомпонентной системы железо-кобальт, практически не содержащие окислы и гидроксиды.

1. А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия. 2000. 672 с.

2. Fine Particles – Synthesis, Characterization and Mechanisms of Growth / ed/ by T. Sugimoto, Marcel Dekker, New York, 1996.

Научный руководитель – д-р хим. наук, чл.-кор. РАН Ю.А. Захаров

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ $\text{AlO}_x/\text{LiCoO}_2$ МЕТОДОМ $^{27}\text{Al}$ , $^7\text{Li}$ , $^{59}\text{Co}$ MAS ЯМР

А.В. Дзюба

Новосибирский государственный университет

$\text{LiCoO}_2$  является одним из самых распространенных катодных материалов. Учитывая необходимость в устройствах с большими емкостями и плотностями энергии, именно на базе этого соединения проводятся интенсивные исследования по увеличению этих характеристик. И одним из самых популярных методов модификации  $\text{LiCoO}_2$  является замена кобальта на ионный металл, в нашем случае, алюминий, который одновременно легче и дешевле кобальта, что делает его использование коммерчески выгодным.

В работе использовались образцы  $\text{AlO}_x/\text{LiCoO}_2$ , приготовленные по стандартной технологии [1] и прокаленные при 80, 400, 600 и 800°C. Итоговая концентрация Al в образцах составляла примерно 1 вес. %.

Методом  $^{27}\text{Al}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^{59}\text{Co}$  MAS (magic angle spinning - вращение под магическим углом) ЯМР было проведено исследование строения  $\text{AlO}_x/\text{LiCoO}_2$  образцов, определены значения тензоров ХС (химического сдвига) и квадрупольного взаимодействия (8 параметров).

$^{27}\text{Al}$  MAS ЯМР спектры показывают значительные изменения строения  $\text{AlO}_x$  центров с увеличением температуры. После сушки при 80°C, все ионы Al локализованы на поверхности  $\text{LiCoO}_2$  в форме  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . После прокаливания при 400°C, образуется аморфный  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . При той же температуре Al начинает замещать Co в октаэдрических положениях  $\text{CoO}_6$ , приводя

к появлению изолированных центров  $\text{AlO}_6$ , окруженных шестью октаэдрами  $\text{CoO}_6$  -  $\text{Al}(\text{6Co})$  (линия 62.5 м.д.). Последующее повышение температуры (600-800°C) усиливает процесс замещения и, как результат, образование центров  $\text{Al}(\text{5Co1Al})$ ,  $\text{Al}(\text{4Co2Al})$ ,  $\text{Al}(\text{3Co3Al})$ ,  $\text{Al}(\text{2Co4Al})$ ,  $\text{Al}(\text{1Co5Al})$ , и  $\text{Al}(\text{0Co6Al})$  (сигналы 55, 48, 42, 35, 28 и 20 м.д., соответственно). Все 7 компонент четко видны в спектре  $^{27}\text{Al}$  MAS ЯМР образца прокаленного при 800°C. Интенсивности этих сигналов не соответствуют распределению Бернулли, что говорит о градиенте концентрации Al по слоям.

$^7\text{Li}$ ,  $^{59}\text{Co}$  MAS ЯМР спектры показывают, что замещение Co на Al сопровождается появлением  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .

---

1. N.V. Kosova, E.T. Devyatkina, *Meeting Abstracts IMLB*, Biarritz, France, 2006, p. 86.

Научный руководитель – д-р хим. наук О.Б. Лапина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСИЙ СЕРЕБРА МЕТОДОМ РФЭС

Д.Ю. Петухов, А.С. Карачев, Н.А. Яцына  
Кемеровский государственный университет

Низкоразмерные частицы целого ряда металлов, таких как Ag, Pd, Ni, Cu, нанесенные на различные поверхности проявляют определенную эффективность в каталитических процессах превращений углеводов и в реакциях конверсии газов. В работе был проведен анализ состава поверхности различных образцов серебра методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Исследовались тонкие пленки, полученные омическим распылением в камере РФЭ спектрометра и дисперсии наноразмеров.

Задачи данной работы состояли в идентификации химического состава полученных дисперсий и пленок серебра, а также установления особенностей электронного состояния адсорбатов (кислородсодержащих групп). Адсорбция молекулярного кислорода осуществлялась при комнатной температуре напуском в предварительно откаченную до высокого вакуума камеру подготовки спектрометра. Модификация состояния адсорбированного кислорода исследовалась в процессе нагрева образцов как в камере спектрометра до 200 °C, так и в атмосфере до 300 °C.

Показано, что линия Ag 3d серебряных частиц дисперсий соответствует металлическому состоянию. Незначительно содержание примесей (Na, N, O) связано с рецептурой получения серебряных частиц. Известно, что электронное состояние кислорода, адсорбированного на поверхности се-

ребряных катализаторов, оказывает существенное влияние на эффективность каталитических реакций превращений углеводов. Анализ тонкой структуры сложной широкой линии O 1s после операций разложения на гауссовы компоненты показал присутствие сигналов как от гидроксигрупп, имеющих самую общую природу, так и от электрофильного кислорода, присутствующего на поверхности дисперсий серебра в молекулярной или атомарной форме.

Одной из причин существования тонкой структуры у линии Ag 3d может являться т. н. "размерный эффект", заключающийся в том, что энергия связи электронных уровней атома зависит от размеров конгломерата в который входит этот атом. Показано, что дополнительная идентификация химического состояния серебряных частиц возможна с учетом формы и положения валентной (4d) зоны и Оже-серии (Ag M<sub>4,5</sub>VV). Анализ Оже-сателлитов позволил рассчитать модифицированный параметр Вагнера для более достоверной идентификации электронного состояния частиц серебра. При этом в процессе термообработки до 300 °С по спектрам РФЭС не наблюдается изменение химического состояния частиц Ag.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А.Л. Юдин

## **ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ПРИ ПОЛИМОРФНОМ ПРЕВРАЩЕНИИ МЕТАЛЛА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО ПОДХОДА**

М.А. Васильев

Ижевский государственный технический университет

Происхождение кристаллических структур и полиморфных модификаций металлов объясняется обменными орбитальными связями, возникающими при перекрывании внешних заполненных оболочек ионов с увеличением номера элемента или ростом температуры [1], сопровождается нарушением их сферической формы и образованием самоподобных фрактальных структур. Превращение плотных низкотемпературных модификаций ГПУ в высокотемпературные ОЦК структуры у титана, циркония, гафния сопровождается скачкообразным уменьшением удельного электросопротивления [2], при этом до и выше температуры полиморфного превращения справедливо соотношение [3]:

$\Delta\rho / \rho = C \Delta V/V$ , где  $C$  - постоянная, зависящая от структурного состояния металла. На основании фрактального подхода удельное электросопротивление  $\rho$  и плотность  $\gamma$  выражаются в виде [4]  $\rho = \rho_0 R^{D_f - 1}$ ,

$\gamma = \gamma_0 R^{D_f - 3}$ , что позволяет определить величину  $C$ , где  $\gamma_0, \rho_0$  – постоянные металла,  $R, D^f$  – размер и фрактальная размерность кластера атомов. Оценки уменьшения объема составили 0,1%, 0,5 %, 0,8 %, у Hf, Zr и Ti соответственно и связаны с изменением фрактальной размерности  $D_f$  от 1,22 до 2,44,  $C$  от 0,07 до 0,48. Соответствие оценок  $\Delta V/V$  экспериментальным данным подтверждает справедливость фрактального подхода к изучению физических свойств металлов. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований 06-08-699а.

1. Григорович В.К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. М.: Наука, 1966. 288 с.
2. Зиновьев В.Е. Кинетические свойства металлов при высоких температурах. Справ, изд., М.: Металлургия, 1984. 200с.
3. Bridgman P.W. Endeavour 10, 68. 1951.
4. Белых В.В., Ри Хосен, Марьян Б.Н. Физико-механические свойства железоуглеродистых сплавов. Методы контроля и прогнозирования качества отливок. Владивосток: Дальнаука, 2003. 312 с.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. В.В. Белых.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ НЕДРЕЯЕМЫХ ИОНОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ПОЛИЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

Т.С. Грекова

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского

Объектом теоретического исследования в данной работе являются концентрационные профили алюминия [1], имплантированного в технически чистые поликристаллический никель и титан марки ВТ1-0 высокоинтенсивным ионным пучком источника "Радуга-5", отличительная особенность которого связана с возможностью импульсно-периодического формирования немонохроматического пучка ионов с энергией до 120 кэВ и током до 2А, что позволяет с высокой скоростью набирать дозы имплантируемых металлических ионов, разогревать мишени ионным пучком до необходимой температуры и, тем самым, модифицировать слои толщиной до нескольких микрометров, синтезируя интерметаллидные фазы в нанокристаллическом и субнанокристаллическом состояниях. Элементный анализ облученных образцов показал [1], что для режима высокоинтенсивной ионной имплантации (с дозами до  $2,2 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>) глубина внедрения ле-

гирующей примеси многократно превосходит максимальный проективный пробег ионов алюминия с энергией 120 кэВ в исследуемых материалах. Образцы различаются также формой концентрационных профилей алюминия. В случае никеля максимальная концентрация легирующего элемента приходится на самую поверхность. Для титана при времени обработки 12 мин максимум локализован на глубине 35-40 нм от поверхности, а при увеличении времени обработки до 60 мин максимум концентрационного профиля сдвигается на глубину до 500 нм. Для интерпретации наблюдаемых закономерностей массопереноса предложена модель, в которой профиль внедрённой примеси для полиэнергетического пучка представляется в виде интеграла по энергии от произведения двух функций, одна из которых описывает распределение ионов по энергии в пучке (выбрана в виде функции Гаусса), а вторая описывает профиль внедрения ионов моноэнергетическим пучком. Последняя определяется из решения уравнения термодиффузии с учётом распыления поверхности. Результаты моделирования качественно согласуются с экспериментальными данными [1].

---

1. Шаркеев Ю.П., Рябчиков А.И., Козлов Э.В. и др. Высокоинтенсивная ионная имплантация-метод формирования мелкодисперсных интерметаллидов в поверхностных слоях металлов // Изв. вузов. Физика.-2004.- № 9. – С. 44-52.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. Г.А. Вершинин

## **МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОАКТИВИРУЕМОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ В БИКРИСТАЛЛЕ NI-AL**

Э. Т. Абдулхалыков, Н. Ф. Денисова  
Восточно-Казахстанский государственный университет  
им. С. Аманжолова

Решение теоретических и экспериментальных задач материаловедения на основе компьютерного моделирования осуществляется на трёх структурных уровнях: макроуровне, мезоуровне, микроуровне. Решение задач на каждом из этих уровней осуществляется с использованием соответствующего математического аппарата методами численного моделирования [1]. На микроскопическом уровне проводятся исследования при помощи компьютерного моделирования с использованием трёх основных методов: вариационной квазистатики, молекулярной динамики и Монте-Карло ММД базируется на численном интегрировании обыкновенных дифферен-

циальных уравнений движения Ньютона с заданными характеристиками межчастичного взаимодействия.

В работе рассмотрено моделирование реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и механоактивируемой термической обработки при взаимодействии Ni и Al. Получено, что для моделирования реакции СВС температурно-соизмеримой с реальным экспериментом необходимо введение в исследуемую ячейку свободного объема. При моделировании процессов механоактивируемой обработки обнаружено влияние явлений, связанных с полиморфной переориентацией кристаллических фаз. Исследовано влияние формы взаимодействующих компонентов на скорость взаиморастворения. Наибольшая скорость растворения получена при растворении частицы Ni неправильной формы в Al матрице и прослойки Al между двумя разориентированными частицами Ni. В последнем случае высокая плотность дислокаций обусловлена наличием двух межфазных границ и фронта «встречного» полиморфизма в виде межзеренной границы в объеме Al [2]. С появлением зародышей новых фаз интерметаллидов системы Ni-Al растёт температура реакции относительно начальной, заданной в эксперименте. Компьютерный эксперимент в данном случае позволил выявить стадии структурно- энергетических превращений, которые в реальном эксперименте невозможно проследить.

- 
1. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике: Пер. с англ./ Под ред. С.А. Ахманова. - М.: Наука, 1990, 176 с.
  2. Иевлев В.М. Структура поверхностей раздела в пленках металлов. – М.: Металлургия, 1992, 173 с.

Научный руководитель – Н.Ф. Денисова

## **РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОМ СПЛАВЛЕНИИ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ**

Д.А. Яценко

Новосибирский государственный университет

Методом порошковой рентгеновской дифракции исследован процесс механохимического сплавления алюминия и титана. Полученные данные позволяют выделить основные стадии взаимодействия металлических порошков титана и алюминия при их совместной мехактивации в планетар-

ной мельнице АГО-2. Съёмка образцов производилась на дифрактометре URD-63 на излучении  $\text{CoK}\alpha$  ( $\lambda = 1.79021 \text{ \AA}$ ).

До 4 минут активации параметры решетки алюминия и титана остаются примерно постоянными, не наблюдается появление новых фаз. На начальном этапе прохождения процесса характеризуются изменением размера ОКР Al и Ti (до 25 и 15 нм, соответственно) и заметным уменьшением интенсивности дифракционных пиков алюминия. Последнее, вероятно всего, связано с переходом алюминия в рентгеноаморфное состояние, т.к. не наблюдается изменения объема элементарной ячейки фазы титана, что свидетельствовало бы о растворении в нем алюминия.

Начало второй стадии взаимодействия характеризуется появлением интерметаллида TiAl с размерами ОКР  $\sim 10$  нм (при 4 мин). Интенсивность дифракционных пиков интерметаллида возрастает вплоть до 6 мин активации, одновременно уменьшаются и при 6 мин полностью исчезают дифракционные пики Al.

Последняя стадия взаимодействия характеризуется дальнейшим уменьшением размеров ОКР титана и интерметаллида (вплоть до 5 нм при 20 мин активации) При этом, начиная с 12 мин, фиксируется увеличение объема элементарной ячейки титана и уменьшением объема ячейки TiAl. Можно предположить, что идет взаимное растворение двух фаз с обогащением одной из них атомами алюминия, а другой атомами титана. Однако за время активации вплоть до 20 минут не удается достичь полного взаимодействия в Ti-Al системе. Образцы остаются двухфазными – присутствуют интерметаллид TiAl и твердый раствор на основе Ti. Прокаливание образцов при температуре до  $700^\circ\text{C}$  приводит к кристаллизации фаз интерметаллидов TiAl и  $\text{Ti}_3\text{Al}$  (последняя фаза могла сформироваться из твердого раствора на основе гексагональной структуры Ti).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С.В. Цыбуля

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛИМЕРОВ**

А.С.Уницын

Новосибирский государственный университет

В ходе данной работы были найдены условия бездеструктивного перехода образцов в газовую фазу. Это было достигнуто путем варьирования параметров по мощности излучения, длине волны, а так же применения различных типов подложек, для чего была сконструирована соответст-

вующая экспериментальная установка, на основе ЛСЭ Сибирского Центра Фотохимических Исследований.

Специфика субмиллиметрового излучения состоит в том, что по энергии оно лежит в области водородных и Ван-Дер-Вальсовых связей, т.е. сохраняет сильные внутримолекулярные химические связи. Такое излучение неспособно ионизировать молекулу одним квантом, что позволяет переносить в газовую фазу молекулы без их деструкции.

С помощью Фурье-спектрометра спектры образцов были исследованы на наличие особенностей поглощения в рабочем диапазоне длин волн 128-235мкм. Было выявлено отсутствие резонансного поглощения веществом на рабочей длине волны 130мкм, вследствие чего можно было ожидать перехода вещества в газовую фазу без разрушения его первичной структуры [1].

Полученный при абляции аэрозоль анализировался с помощью Диффузионного Спектрометра Аэрозолей(ДСА).

В работе был использован искусственный кремнийорганический полимер полидиметилсилоксан с различной вязкостью – от 20 до 50000 Па\*с, а так же полимер поливиниламидазол с различным молекулярным весом.

Были получены средние значения размера частиц полимера в газовой фазе. Так, для PDMS с вязкостью 20-35 Па\*с) средний размер составил  $d = 5$  нм. Для PDMS 50000 Па\*с  $d = 27$  нм. Средний размер аэрозольных частиц поливинилимидазола составил 6нм для 25кДа, 16нм для 105кда, и 24нм для 309кДа соответственно.

---

1. А.К. Петров, А.С. Козлов, М.Б. Тарабан, Т.Н. Горячкова, С.Б. Малышкин, В.М. Попик, С.Е. Пельтек, Мягкая абляция биологических объектов под воздействием субмиллиметрового излучения лазера на свободных электронах // Доклады академии наук, т.404, №5, с.1-3 (2005)

Научный руководитель – канд. хим. наук А.С. Козлов

## **ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕНИСКА В КОНТАКТЕ ОСТРОЙ ИГЛЫ И ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВЛАЖНОСТИ И ЛОКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Е.А. Сергеева  
Новосибирский государственный университет

Диагностика и модификация поверхности с помощью зондовых методов в атмосферных условиях подразумевает учет влияния на взаимодействие иглы-зонда с поверхностью адсорбированной влаги. В присутствии

адсорбированной жидкости на поверхности образца (влажность > 20%) между иглой зондового микроскопа и поверхностью возникают капиллярные силы (силы поверхностного натяжения), которые существенно влияют на получаемую о поверхности информацию.

Данная работа заключалась в изучении влияния изменяемых факторов окружающей среды на взаимодействия острозаточенной иглы с плоской поверхностью твердого тела в присутствии капиллярного контакта.

Для изучения формирования мениска в контакте острой иглы и плоской поверхности при изменении влажности и локального электрического поля использовался атомно-силовой микроскоп (АСМ) Solver P-47H (NT-MDT). Для изменения относительной влажности микроскоп помещался в специальную термостатированную ячейку контроля влажности. В качестве гладкой поверхности использовались образцы кремния (111) со ступенчатой поверхностью, отожженных в сверхвысоковакуумных условиях.

Известно, что при подводе иглы к поверхности, силы Ван дер Ваальсовского взаимодействия и менисковые силы начинают действовать на расстояниях порядка  $10 \div 20 \text{ \AA}$  (остальные силы в нормальных условиях начинают действовать на еще более меньших расстояниях). Однако, измерения показали, что игла начинает «чувствовать» поверхность на расстояниях порядка  $60 \div 100 \text{ \AA}$  (в зависимости от относительной влажности окружающей среды).

С целью выявления причины «раннего» взаимодействия иглы с поверхностью были измерены влажностная и потенциальная зависимости изгиба зонда АСМ от его расстояния до поверхности.

На основе анализа результатов этих измерений в рамках современной теории описания капиллярного взаимодействия, сделаны выводы: о спонтанном образовании мениска при подводе иглы к поверхности и корреляции поведения иглы относительно поверхности в электростатическом поле с кулоновским законом.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Д.В. Щеглов

## ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕКСАПОЛЬНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА С ТОРЦЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

*А.Ф. Васильева, Ж.Т. Камбарова, Б. Кутум*

Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова

Одной из проблем в создании реального цилиндрического спектрометра является организация защиты рабочего объема от влияния краевых полей. В реальном спектрометре протяженность цилиндрических электродов в направлении оси симметрии ограничена и условия на торцах могут в значительной мере повлиять на распределение поля в области прохождения анализируемых частиц. Для сохранения достаточного приближения к цилиндрическому полю в анализирующей части анализатора требуется или удлинить цилиндрические электроды, или принимать специальные меры, предпочтительно не увеличивая продольные габариты электродов. Из практики построения электростатических спектрометров известен способ защиты рабочего поля с помощью дополнительных электродов, несущих потенциалы, распределенные по определенному закону.

Для решения проблемы организации защиты рабочего поля предлагается разработка нового зеркального анализатора на основе гексапольно-цилиндрического поля, сформированного из электростатических полей цилиндрического зеркала и кругового гексаполя, продольные габариты которого ограничены торцевыми электродами.

Основным преимуществом исследуемого зеркального анализатора на основе гексапольно-цилиндрического поля является наличие двух торцевых электродов, находящихся вместе с внутренним цилиндрическим электродом под нулевым потенциалом. Торцевые электроды ограничивают продольные габариты анализатора и позволяют свести к минимуму влияние краевых полей на распределение тормозного поля в области прохождения траектории анализируемых частиц. Таким образом, на основе электростатического гексапольно-цилиндрического поля может быть разработан зеркальный анализатор, работающий в условиях пространственной фокусировки второго порядка, с защитой от влияния краевых полей сформированной с помощью торцевых конических поверхностей с небольшим отклонением от радиальной плоскости зеркала.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук, доц. А. О. Саулебеков

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ВИБРОПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ С ТЕЛАМП НАКАЛА

С.В. Беляков, А.Н. Артеменко

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Для повышения надежности ряда изделий, эксплуатирующихся в условиях вибраций, обычным приемом являлось стремление увести основной рабочий элемент (спиральное тело накала) от резонанса, при котором амплитуда колебаний возрастает вплоть до разрушающих напряжений. Конструктивно это всегда достигалось за счет введения дополнительных поддержек. Использование современной теории дислокаций позволяет проще решать эту задачу через управление внутренней дефектной структурой спиралей. Известно, что закрепление формы спиралей осуществляется всегда термическим отжигом, обеспечивающим выстраивание в решетке полигональных дислокационных стенок, являющихся, по существу, внутренними ребрами жесткости. В [1] для повышения долговечности ламп накаливания предложено осуществлять двойную полигонизацию, предварительно закручивая перед спирализацией проволоку на определенную степень деформации. После отжига в проволоке формировалась дополнительная система полигональных ребер жесткости в наклоненных по линиям закрутки плоскостях, что по результатам промышленных испытаний повышало срок службы ламп примерно в 2 раза. В настоящем докладе излагаются результаты подобных исследований, направленных на повышение долговечности ламп в условиях воздействия вибраций. Испытывались 3 партии спиралей для ламп мощностью 100 Вт. В первой проволока не подвергалась закрутке, во второй и третьей она закручивалась на 1,4 %, и 2,6 % соответственно. При неизменной резонансной частоте колебаний 13,7 Гц величина амплитуды колебаний резко «отзывалась» на предварительную обработку. В первой партии среднее значение амплитуды из 11 испытываемых образцов спиралей составляло 4,7 мм, во второй 0,5 мм, а в третьей 0,2 мм. Таким образом, при такой обработке, образующаяся после отжига двойная полигональная система ребер жесткости существенно упрочняет структуру металла, снижая амплитуду колебаний в условиях резонанса примерно в 20 раз. И применять, дополнительные поддержки, как это делалось ранее нет никакой необходимости. Исследования будут продолжены при увеличенных предварительных деформациях.

---

1. В.С.Мордюк, Г.П. Мордюк, А.Н.Вдовин, А.А. Семенова. Способ изготовления тела накала источников света. Авторское свидетельство на изобретение. № 1711265, 1989 г.

.Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

## НОВЫЙ СПОСОБ УТОНЧЕНИЯ ПРОВОЛОК НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА КАЧЕНИЯ

К.А. Мордюк, Е.Ю. Зинченко

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Обычно используемому в промышленности способу утончения проволоки их волочением через фильеры около 5000 лет, он возник еще в бронзовом веке. Современные представления о дислокационных механизмах деформации позволили предложить новый простой способ утончения без использования дорогих и труднообрабатываемых фильер. Реализация способа основывается на принципе качения при перематке проволоки через вращающиеся керны с использованием представлений о взаимодействии и взаимопревращении винтовых и краевых дислокаций при деформации изгиба и последующего распрямления. При сгибании проволоки в их сечениях со стороны керна образуются винтовые дислокации, преобразующиеся в перпендикулярные им краевые дефекты с сопутствующими лишними, перпендикулярными оси полуплоскостями. Эти полуплоскости и обеспечивают удлинение внешних слоев проволоки по отношению к слоям, прилегающим к поверхности керна. При последующем распрямлении проволоки происходит обратная по знаку деформация, в процессе которой образуются и обратные по знаку винтовые и краевые дислокации. Только винтовые образуются уже со стороны внешней поверхности проволоки, а краевые – со стороны керна. А следом реализуется известная закономерность аннигиляции противоположных по знаку дислокаций. Аннигиляция краевых компонентов приводит, во-первых, к устранению изначального изгиба и выпрямлению проволоки и, во-вторых, к тому, что возникающая уже с противоположной стороны лишняя полуплоскость «доставляет» ранее образовавшуюся в этом сечении полуплоскость, в результате чего целая излишняя плоскость удлиняет в этом месте объем кристалла на одно межатомное расстояние. Винтовые дислокации аннигилируют без изменения локального объема. В сечениях проволоки в зависимости от их диаметра образуется от сотен тысяч до миллионов таких дислокаций, в результате чего при повторных многократных изгибах и распрямлениях проволока удлиняется на ощутимые величины (до 30-40 %), а при неизменной удельной плотности это означает не что иное, как существенное утончение диаметра испытываемых проволоки. На новизну способа подана заявка в Роспатент, и в июле 2006 года получено положительное решение о выдаче патента.

Доклад сопровождается действующими компьютерными моделями и дополнительной разъясняющей суть идеи информацией.

Научные руководители – канд. физ.-мат. наук В.И. Ивлев, д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

## СРАВНЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРЯМЫХ И СПИРАЛИЗОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ ПРОВОЛОК ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.Н. Артеменко, С.В. Беляков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Вольфрамовая проволока для ламп накаливания в процессе совершенствования за прошлое столетие стала обладать рядом уникальных свойств, одним из которых является высокая крипоустойчивость вплоть до предплавильных температур  $\sim 3300$  К. Не до конца выяснены и ее высокотемпературные жаропрочные характеристики. В настоящем сообщении принята попытка изучения структурного механизма повышенной долговечности спиральных тел накала по сравнению с прямолинейными. Для исключения влияния нагрузок при таком сопоставлении вес образцов на микровесах подбирался одинаковым с точностью до десятых долей грамма, а температура контролировалась с помощью микропирометра с точностью до 3-5 градусов. Во всем исследуемом интервале температур от 2500 до 3300 К спирализованные тела накала обладают  $\sim 10^3$  раз большей долговечностью. Усматривается только один физический процесс, служащий причиной этого – процесс переиспарения атомов металла с витка на виток и попадания их в объем трещин. В вершине трещины локализуются большие напряжения растяжения решетки, поэтому по закону минимизации энергии, попавшие на ее склоны атомы восходящей диффузией устремляются к ее вершине, тем самым резко уменьшают раскальвающие напряжения, чем и замедляют ее дальнейший рост. Обработка результатов в полулогарифмических координатах показала, что энергия активации процесса оказалась совпадающей с величиной энергии сублимации ( $\sim 190$  ккал./г.атом) т.е. механизм разрушения определяется разрывом межатомных связей. Причина такого резкого отличия результатов действительно может скрываться в механизме залечивания растущих трещин. В работе [1], где дается обзор опубликованных данных по исследованию кинетики развития несплошностей в материалах при высокотемпературном разрушении, отмечается, что зарождающиеся микротрещины крайне неравномерно распределены по сечению образцов, при этом поверхностная концентрация  $\sim 10^3$  раз превышает объемную, а их залечивание повышает долговечность образцов.

---

1. В.Н. Савельев. Зародышевые трещины при разрушении металлов. Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. Л.: 1976.- 49 с.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

## ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ С КОМПОЗИТНЫМИ ТЕЛАМИ НАКАЛА КАК НОВОЕ НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЙ В ПРОБЛЕМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.

А.Н. Артеменко, К.А. Мордюк, С.В. Беляков  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Впервые это направление, оставшееся без практического использования, озвучено в американском патенте [1] в 1966 году. Авторы придерживались модного в то время представления о термическом испарении, как первопричине физического отказа ламп накаливания. Стараясь поэтому уменьшить поверхность таких тел накала, они после изготовления подвергали его протяжке через фильеры. Тем самым композит превращался в поликристаллическую нить круглого сечения. Дальнейшие подробные исследования [2] показали, что причиной отказа в действительности является не термическое испарение, а внутреннее объемное разрушение материала, что полностью соответствует известной кинетической концепции прочности академика С.Н. Журкова [3]. В связи с этим в [4] предложено оставлять форму поперечного сечения композита в виде цветка ромашки. Оценки показывают, что вероятность одновременного разрушения всех 7 ниточек в таком составном композите пренебрежимо мала ( $\ll 10^{-3}$  %). Поэтому такой композит по сравнению с округлой нитью равновеликого сечения обладает следующим основным преимуществом. При фиксированной долговечности его можно накаливать до более высоких (на 250-300 градусов) температур, что автоматически ведет к повышению световой отдачи ламп на 20-22 %. С учетом суточной продолжительности работы лампы примерно 5 часов одна лампа за сутки экономит 75 Вт· час, а за год 27,35 кВт· час электроэнергии.

При ежегодном производстве ламп около 17 млн. шт. в случае перевода их на композитные исполнения, это позволит экономить в масштабах страны многомиллиардную экономию электроэнергии, что в переводе может давать до 100 млрд. рублей годовой экономии. Для дальнейшего внедрения в производство необходимо решать научные и прикладные проблемы изготовления спиральных тел накала из композитов.

1. John Walter. Патент США № 570602. 1966 год
2. В.С. Мордюк. Автореф. дисс. д.т.н. М.:, МЭИ, 1995.- 48 с
3. С.Н. Журков. Вестник АН СССР, 1968.- т.3, С.46-52.
4. В.С. Мордюк, В.В.Буряк, А.Н. Артеменко, К.А. Мордюк Новая технология изготовления тела накала, «Наука и инновации в Республике Мордовия». Саранск. 2005.- С. 336-338.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

## НОВАЯ ДИСЛОКАЦИОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ СПИРАЛИЗАЦИИ ВОЛЬФРАМА В ЛАМПАХ НАКАЛИВАНИЯ

А.Н. Артеменко, С.В. Беляков

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

Совершенный светотехниками в начале прошлого века технический прорыв с переходом на производство ламп со спирализованными телами накала позволил резко поднять их долговечность и экономичность. Однако к концу столетия стал очевидным несколько упрощенный подход к процессу деформации. Предполагалось что при навивании проволоки на керн ее осевая линия остается неизменной, внешние слои «растягиваются» а внутренние «сжимаются». С учетом реальных свойств вольфрамовой проволоки ни то, ни другое невозможно. Даже при разрушении она может удлиниться не более 3%. А по расчетным оценкам по предлагаемой модели внешние слои должны «растягиваться» на 30-40 %. И «сжиматься» на 30-40 %.внутренние слои тоже не могут, поскольку коэффициент сжатия металлов не превышает  $10^{-5}$  %. Современная теория дислокаций достаточно просто объясняет этот парадокс с точки зрения взаимодействия и взаимопревращения винтовых и краевых компонентов дислокаций при деформации изгиба. При навивке в прилежащих к керну слоях образуются винтовые компоненты дислокаций, которые образуют перпендикулярные им краевые компоненты с лишней полуплоскостью, перпендикулярной оси проволоки. Эта полуплоскость и обеспечивает в данном локальном месте удлинение внешней поверхности навиваемой проволоки на одно межатомное расстояние. Поскольку при деформации изгиба в сечении проволок в зависимости от их диаметра образуется от сотен тысяч до миллионов дислокаций, этот механизм и обеспечивает реально наблюдаемое удлинение внешних слоев по сравнению с внутренними. Таким образом, речь не может идти ни о «растяжении», ни о «сжатии» слоев в смысле изменения межатомных расстояний в решетке металла. Неизменной остается не осевая линия проволоки, а линия, прилегающая к поверхности керна Удлинение внешних слоев по отношению к внутренним достигается только добавлением лишних полуплоскостей и межатомных расстояний за счет механизма взаимодействия винтовых и краевых компонентов дислокаций.. Предложенная концепция подтверждается количественными расчетными оценками числа образующихся при изгибе и распрямлениями дислокаций в сечениях проволок, а также результатами электронно-микроскопических исследований структуры металла после отжига на завершение процесса полигонизации.

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.С. Мордюк

# КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

И.В. Савченко

Новосибирский государственный университет

Сталь марки 12Х18Н10Т обладает комплексом свойств, которые позволяют использовать ее в качестве конструкционного материала вакуумных систем, коррозионно-стойких, хладостойких, жаропрочных и других изделий. Для расчетов термических напряжений в деталях и тепловых полях необходимы сведения по коэффициентам теплопроводности  $\lambda$  и температуропроводности  $a$ . В большинстве справочных изданий, используются данные по  $\lambda$  при высоких температурах, для которых не определена погрешность. Измерение  $\lambda$  в области высоких температур является сложной задачей, поскольку из-за сильного радиационного переноса трудно корректно учесть теплообмен образца с окружающей средой. В этой ситуации, вместо измерения  $\lambda$ , его находят используя соотношение:  $\lambda = a\rho C_p$ , по результатам измерений температуропроводности материала (не требует измерения тепловых потоков) и более легко получаемых данных о теплоемкости  $C_p$  и плотности  $\rho$ . Как правило, данные по  $C_p$  и  $\rho$  имеют гораздо более высокую точность, чем температуропроводность. Поэтому погрешность определения  $\lambda$  практически совпадает с погрешностью  $a$ .

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование температуропроводности стали 12Х18Н10Т (состав по ГОСТ 5632-72) в широком интервале температур (20-1200 °С) и определение коэффициента теплопроводности с использованием литературных данных по плотности и теплоемкости [1, 2].

Измерения выполнены методом лазерной вспышки на автоматизированном экспериментальном стенде LFA-427 фирмы NETZSCH [3], имеющим максимальную рабочую температуру 2250 К.

---

1. ГСССД 32-82. Стали 12Х18Н9Т и 12Х18Н10Т. Удельная энтальпия и удельная теплоемкость в диапазоне температур 400-1380 К при атмосферном давлении - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 17 с.

2. ГСССД 59-83. Молибден, монокристаллическая окись алюминия, сталь 12Х18Н10Т. Температурный коэффициент линейного расширения. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 7 с.

3. <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/russian/html/products/lfa/lfa427.htm>.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С.В. Станкус

## ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ПО ЗОНАМ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 30ХГСА

В.В. Шаров

Восточно-Казахстанский государственный университет

им. С. Аманжолова

В настоящей работе представлены результаты механических испытаний на микротвердость по зонам сварного соединения легированной стали 30ХГСА. Образцы поставляются от Юргинского Технологического Института Томского Политехнического Университета (ЮТИ ТПУ) на основании Договора о научно-техническом сотрудничестве. Они сварены различными способами: стационарной дугой с двухструйной газовой защитой в среде  $\text{CO}_2$  и традиционным методом, то есть с предварительным подогревом и последующей термической обработкой [1]. Способ сварки, разработанный в ЮТИ ТПУ, позволит прогнозировать свойства, сократить расход газовой смеси и время работы, тем самым повысить производительность труда. Внедрение новых научных результатов в производство предполагает существенный экономический эффект, поэтому настоящая работа имеет особую актуальность и практическую ценность. В качестве присадочного материала использовалась сварочная проволока Св-08Г2С.

Испытания на микротвердость проводили на установке ПМТ-3. Образцы были вырезаны электроискровым методом на установке ПТФ-2 согласно зонам сварного шва. В ходе исследований было установлено следующее. Для метода сварки с двухструйной газовой защитой средние значения микротвердости металла шва, ЗТВ и матрицы соответственно равны:  $H_{\mu}=1912$ ,  $H_{\mu}=3484$ ,  $H_{\mu}=2813$  МПа. Для традиционного метода значения следующие:  $H_{\mu}=1824$ ,  $H_{\mu}=3091$ ,  $H_{\mu}=2823$  МПа. Как видно, в обоих случаях микротвердость в ЗТВ значительно повысилась по отношению к матрице. Однако, в первом случае это повышение более значительно.

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод:

- метод сварки с двухструйной газовой защитой является оптимальным по сравнению с традиционным. Его можно назвать ресурсосберегающим, поскольку он обеспечивает более высокие значения микротвердости, минует дополнительные операции (подогрев и отпуск).

---

1. Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. Способ сварки: Патент на изобретение № 2233211 (РФ). Приоритет от 27.05.2003. 7В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Оpubл. 27.07.2004. Бюл. №21.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. М.К. Скаков

# ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

## ИЗУЧЕНИЕ СПИНОВОЙ ДИНАМИКИ ФУЛЛЕРЕНА $C_{60}$ В ТРИПЛЕТНОМ СОСТОЯНИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО СПИНОВОГО ЭХА

М.Н. Уваров

Новосибирский государственный университет

Триплетное состояние фуллерена  $C_{60}$ , или бакминстерфуллерена, исследуется уже в течение более двадцати лет, однако до сих пор нет ясности в понимании ЭПР спектров молекулы со столь высокой симметрией. В настоящее время существуют идеи по использованию триплетного  $C_{60}$  в качестве активной среды МАЗЕРа ввиду высокой поляризации спиновых уровней. С другой стороны, фуллерен можно использовать в качестве акцептора электрона и построить на его основе аналог фотосинтетической системы.

Были получены эхо-детектируемые спектры  $C_{60}$  в стеклообразном орто-терфениле при температурах в пределах 80–260К. Для их численного моделирования была написана программа на языке MATLAB. Спин-гамильтониан содержал зеемановский член и член диполь-дипольного взаимодействия неспаренных электронов триплетного  $C_{60}$  с более низкой симметрией, возникающей вследствие эффекта Яна-Теллера. Рассматривались переходы с  $m = 1$  на  $m = 0$  и с  $m = -1$  на  $m = 0$ . Поляризация соседних подуровней, зависящая от направления главных осей тензора диполь-дипольного взаимодействия, усреднялась по всем возможным ориентациям молекулы в пространстве. Спектр, снятый при  $T = 80K$ , моделировался с параметрами тензора расщепления в нулевом поле  $D = 115$  Гс,  $E = 0$ , ширина индивидуальной линии полагалась  $H_d = 15$  Гс,  $g = 2.0002$ .

Для моделирования сужения спектра с увеличением температуры использовалась модель быстрых псевдовращений молекулы  $C_{60}$  в потенциале  $U = -V \cos \alpha$ , где  $\alpha$  - угол между главной осью  $D$  - тензора и направлением, определяемым локальным окружением исследуемой молекулы. Оказалось, что с увеличением температуры параметр  $V$  уменьшается.

В максимумах спектров измерялась зависимость сигнала эха от задержки  $\tau$ : определялась скорость поперечной релаксации. При  $T=240K$  резко меняется характер её зависимости от температуры. Это явление можно объяснить наличием динамического перехода в стеклообразном

орто-терфениле при этой температуре, при котором резко изменяется амплитуда колебаний  $C_{60}$  в стеклообразной матрице.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л.В. Кулик

## ИЗОТОПНО-СЕЛЕКТИВНАЯ МНОГОФОТОННАЯ ДИССОЦИАЦИЯ МОЛЕКУЛ ХЛОРМЕТИЛТРИФТОРСИЛАНА ( $CH_2ClSiF_3$ ) ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО $CO_2$ -ЛАЗЕРА

А.В. Воробьёв

Новосибирский государственный университет

Лазерные методы разделения изотопов основаны, прежде всего, на многофотонной диссоциации (МФД) молекул под действием излучения импульсного ИК лазера [1]. Возросший в последнее время интерес к применению моноизотопного кремния в полупроводниковой промышленности делает актуальной задачу изучения МФД кремнийсодержащих молекул с целью поиска соединений, наиболее подходящих для использования в технологии лазерного разделения изотопов.

В данной работе исследовалась селективная по изотопам кремния многофотонная диссоциация молекул  $SiF_3CH_2Cl$  под действием излучения импульсного  $CO_2$  лазера. Распад молекул  $SiF_3CH_2Cl$  происходит по механизму, связанному с перескоком атома хлора от атома углерода к атому кремния:



В результате МФД образуются метилен и трифторхлорсилан  $SiF_3Cl$ , содержание изотопов кремния в котором меняется при изменении частоты лазерного излучения. Максимально полученная селективность по изотопу кремния  $^{30}Si$  составляет  $S_{30} = 44$ .

Сравнение характеристик многофотонной диссоциации  $SiF_3CH_2Cl$  с характеристиками  $SiF_3CH_3$  показало, что наличие атома хлора в  $\alpha$ -положении кремнийорганического соединения привело к значительному улучшению характеристик МФД, что проявилось в уменьшении порога диссоциации и значительному увеличению изотопической селективности.

---

1. Молин Ю.Н., Панфилов Ю.Н., Петров А.К., "Инфракрасная Фотохимия" Новосибирск, "Наука". 1985. с.255.

Научный руководитель – П.В. Кошляков

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА, ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО ТЕПЛО ОТ СГОРАНИЯ ГАЗА В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Е.А. Гейнц

Новосибирский государственный университет

В настоящее время актуальными задачами являются разработка легких и малоразмерных источников электроэнергии для портативных электронных и автономных устройств [1]. В связи с этим возникла необходимость исследования способов прямого преобразования тепловой энергии от сгорания углеводородного топлива в электричество, например, на основе полупроводниковых фото-электрических преобразователей излучения [2]. Известно, что для излучателей, работающих при температурах 1200-1700С, оптимальная ширина запрещенной зоны полупроводникового материала, из которого изготовлен ТФГ, должна лежать в диапазоне 0,50 – 0,75 эВ. Максимальный КПД работы фотоэлементов на основе антимонида галлия (GaSb), которые применялись в данном исследовании, приходится на излучение в диапазоне 0,6 – 1,8 микрон. Поэтому актуальной задачей является разработка и поиск эффективных источников излучения в заданном диапазоне длин волн. Эксперименты проводились с диффузионным микропламенем, стабилизированным вблизи иголки, через которую подавалась горячая смесь. В качестве топлива использовались ацетилен, пропан-бутан, метан и парафин. Для увеличения потока излучения использовались вторичные излучатели из нитей SiC. Расход задавался с помощью прибора подготовки газовых смесей ViGasFlow, который контролировался с помощью измерения скорости движения мыльной пленки в калиброванной трубке. Получено, что использование нитей SiC в качестве вторичных излучателей позволяет улучшить эффективность микрогорелки примерно в 5-6 раз. Проведен сравнительный анализ эффективности излучения различных диффузионных микропламен.

---

1. Fernandez-Pello, A.C. Micropower generation using combustion: issues and approaches // Proceedings of the Combustion Institute, 29th Symposium on Combustion. 2002. Vol. 29. P. 883–899.

2. Yang W.M., Chou I S.K., Shu C., Xue H. and Li Z.W. Development of a prototype of micro-thermophotovoltaic power generator // J. Phys. D: Appl. Phys. 2004. Vol. 37. P.1017–1020.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук С.С. Минаев

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РЕАГИРУЮЩИХ ПОРОШКОВЫХ КОМПАКТОВ

А.Л. Павлова, А.Н. Шипачев  
Томский государственный университет

Разнообразие физико-химических явлений при ударном синтезе материалов обусловило развитие комплекса экспериментально-теоретических методов исследования. Методами, позволяющими наблюдать динамику механохимических превращений в реальном масштабе времени, являются методы оптической пирометрии, основанные на изучении характеристик теплового и люминесцентного излучения поверхности. Эти методы являются бесконтактными и имеют высокое временное разрешение, что определяет их перспективность для исследования процессов, происходящих в химически реагирующих конденсированных веществах. Характеристики излучения поверхности исследуемых образцов могут служить источником информации о реализации различных стадий физико-химических превращений, модификаций структуры и многих других параметров реагирующего порошкового тела, как на поверхности, так и в глубине материала. Для исследования определяющих факторов излучения поверхности реагирующих порошковых тел используется многоуровневая модель поведения реагирующей порошковой среды [1]. Методика моделирования механохимических процессов, способных вызвать излучение поверхности реагирующих порошковых материалов, позволяет получить прогноз характеристик излучения поверхности образца с учетом параметров структуры порошкового тела и условий температурно-силового воздействия, отделить тепловое излучение от люминесцентного, моделировать взаимодействие излучающей поверхности реагирующего компакта с оконным материалом. Форма, длительность и частота вспышек люминесцентного излучения могут служить источником информации о свойствах порошкового тела и кинетике механохимических процессов. Разработанная методика позволяет получать прогноз изменения параметров состояния и реакционной способности реагирующих компонентов локальных зон порошковой смеси. Такие исследования актуальны для развития современных методов порошковой металлургии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№05-08-01377а).

---

1. Лейцин В.Н., Дмитриева М.А., Колмакова Т.В., Кобраль И.В. // Изв. Вузов. Физика. – 2006. – т. 49. – С.43-48.

Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук Т.В. Колмакова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ СВС АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА

А.А. Ниндаков, А.О.Товпинец  
Томский государственный университет

Алюминиды переходных металлов являются перспективными конструкционными материалами. Прикладной интерес к ним обусловлен их высокими удельными механическими характеристиками и высокой теплоустойкостью. Одним из методов получения таких материалов является прямой синтез из порошков исходных веществ - синтез сжиганием или самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Формирование продукта, как правило, проходит ряд стадий: фазовые переходы, образование промежуточных продуктов и их диссоциация, образование конечных продуктов реакции. Иначе говоря, в зоне реакции при горении протекают последовательно стадии механохимических процессов, существенно влияющие на закономерности и механизм горения [1]. Использована многоуровневая физико-математическая модель реагирующей порошковой смеси [2]. Реальное порошковое тело представляется модельной гетерогенной системой компонентов с детерминированными структурными параметрами, физическими и химическими характеристиками. Учитывается наличие макроструктуры концентраций компонентов и пористости реагирующей порошковой смеси, возможность механической активации, эволюция всех параметров состояния на всех этапах синтеза. Результаты компьютерного моделирования физико-химических процессов позволяют разрабатывать рекомендации, обеспечивающие требуемые технологические режимы получения материалов (температуру синтеза и т.п.). Адекватное моделирование многостадийных процессов синтеза материалов в волне СВС позволяет прогнозировать излучение поверхностей образцов. С учетом всех стадий образования продукта реакции проводились численные расчеты для модельного образца химически реагирующей порошковой смеси Ti-Al, предварительно спрессованного до различного заданного среднего значения удельного объема пор (пористости)  $P_0$ . Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №05-08-01377а).

---

1. Мерджанов А.Г. // Вестн. АН СССР. - 1976. - № 10. - С.64-76.

2. Лейцин В. Н., Дмитриева М. А. Моделирование механохимических процессов в реагирующих порошковых средах. – Томск: Изд-о НТЛ, 2006. – 188 с.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, доц. М.А. Дмитриева

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ФОСФИДА ИНДИЯ

А.Б. Евтушенко

Новосибирский государственный университет

Исследования по модификации и структурированию полупроводников лазерным излучением активно ведутся уже в течение 30 лет. Импульсная лазерная абляция (ИЛА) полупроводников используется для напыления пленок, создания периодических структур на поверхности и др. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к пониманию механизмов взаимодействия лазерного излучения с поверхностью полупроводников типа  $A_3B_5$ , которые являются основными материалами оптоэлектроники. Фосфид индия (InP) выделяется среди них высокой подвижностью носителей и рассматривается как наиболее перспективный.

В данной работе проведено масс-спектрометрическое исследование состава и динамики разлета продуктов абляции InP. Мишень из монокристалла InP[100] облучалась в вакууме импульсами Nd:YAG лазера (длительность 10 нс) на длине волны 532 или 1064 нм в широком диапазоне интенсивности излучения. Выяснено, что основными заряженными продуктами абляции InP являются ионы  $In^+$  и  $P^+$ . Зарегистрированы также димер  $In_2^+$  и ионы смешанных кластеров  $In_nP_m^+$ , обедненные по P. Основными нейтральными продуктами абляции являются In, P, и  $P_2$ . Кроме того, зарегистрированы нейтральные кластеры фосфора  $P_3$  и  $P_4$ , а также нестехиометрические кластеры  $In_nP_m$  ( $n > m$ ). Измерены пороги абляции InP, составляющие 170 и 280 мДж/см<sup>2</sup> для 532 и 1064 нм, соответственно. Основное внимание уделялось анализу распределения частиц по скоростям на основе времяпролетных измерений. Измеренные времяпролетные профили аппроксимировали распределениями Максвелла (или их суперпозицией), на основе чего были определены поступательные температуры различных частиц в лазерном факеле.

Для анализа процессов, происходящих в мишени, была разработана численная модель, описывающая нагрев и испарение вещества под действием наносекундных лазерных импульсов. Модель основана на решении нестационарного уравнения теплопроводности с учетом температурных зависимостей теплофизических параметров материала. Рассчитаны температурные профили в мишени в зависимости от времени, порога абляции InP, испаренного за импульс количество вещества. Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными. Проанализированы механизмы образования различных частиц при абляции InP (тепло-

вое испарение, нетепловая эмиссия с поверхности, конденсация в газовой фазе).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук А.В. Булгаков

## НЕМАРКОВСКИЕ БИНАРНЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ НЕОБРАТИМОЙ РЕАКЦИИ МЕЖДУ ТОЖДЕСТВЕННЫМИ РЕАГЕНТАМИ В ЖИДКИХ РАСТВОРАХ

А.А. Киприянов

Новосибирский государственный университет

Согласно закону действующих масс кинетика необратимой реакции тождественных реагентов  $A + A \rightarrow C$  описывается уравнением

$$\partial_t [A]_t = -2k[A]_t^2$$

где  $k$  – стационарная марковская константа скорости. Немарковское описание традиционно проводилось в рамках теории Вейта-Смолуховского, базирующейся на суперпозиционном расщеплении, которое приводило к тому, что кинетическое уравнение данной реакции имело вид скоростного уравнения

$$\partial_t [A]_t = -2K(t)[A]_t^2$$

где  $K(t)$  – немарковская константа скорости, зависящая от времени.

Однако развитый последовательный многочастичный метод вывода бинарных немарковских кинетических уравнений показал несостоятельность суперпозиционного расщепления при описании немарковских эффектов в эволюции ряда реагирующих систем. Это связано с тем, что суперпозиционное расщепление не принимает в расчет ряд важнейших временных корреляций.

Было установлено, что для рассматриваемой реакции  $A + A \rightarrow C$  при суперпозиционном расщеплении игнорируются корреляции между эволюциями реакционных пар. Их рассмотрение с учетом тождественности реагентов было проведено на основе последовательного многочастичного подхода. Полученное немарковское кинетическое уравнения в регулярной форме имеет вид

$$\partial_t [A]_t = -2K(t)[A]_t^2 + J_{id}(t)$$

где  $J_{id}(t)$  – немарковский источник ( $J_{id}(t) < 0$ ). Поскольку он имеет отрицательный знак, то его учет приводит к ускорению спада кинетики.

Величина этого источника в 1,5 раза превышает вклад от немарковской части скорости в кинетическом скоростном уравнении. Таким образом, учет корреляций между эволюциями реакционных пар приводит к появлению неоднородного источника в немарковском бинарном кинетическом уравнении.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. А.Б. Докторов

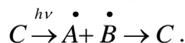
## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В РАДИКАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ**

А.А. Киприянов

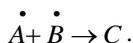
Новосибирский государственный университет

В настоящее время в неравновесной химической термодинамике сформулированы ясные физические представления о существовании колебательных режимов в химических и биохимических процессах, построены основы теории диссипативных структур и неравновесных фазовых переходов в химических системах. Однако, процессы с участием радикальных пар или других парамагнитных частиц, которые весьма распространены в биохимии, не изучены с точки зрения наличия множественности стационарных состояний.

Для исследования была взята обратимая реакция диссоциации. Рассматриваются стационарные состояния, которые могут возникнуть в реагирующей системе далекой от равновесия. Реакция поддерживается в неравновесном стационарном состоянии за счет внешнего излучения (лазера). Механизм этой реакции можно представить в виде последовательности двух реакций. Первая реакция состоит из двух стадий: распад исходной молекулы с образованием радикальной пары под действием лазера и последующая геминальная рекомбинация радикалов



Вторая реакция – это объемная рекомбинация радикалов



Показано, что в этой реакционной системе при определенных условиях могут возникать три стационарных состояния, из которых два являются устойчивыми, третье – неустойчивым. Я вероятность геминальной рекомбинации и скорость объемного процесса, путем изменения внешнего магнитного поля можно нарушить устойчивость стационарного состояния и

перевести систему в другое стационарное состояние, отличающееся от первоначального.

В возникающих состояниях будет наблюдаться ХПЭ и явление гистерезиса. Регистрировать эти явления предлагается с помощью методов ЭПР, для чего был рассчитан спектр ЭПР этой системы.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Пуртов

## **КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЯМР ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ КАЛЬЦИЯ С МОНОСАХАРИДАМИ**

С.М. Козлов

Новосибирский государственный университет

Комплексы катионов металлов с углеводами представляют интерес как с точки зрения биологических процессов и некоторых реакций органического синтеза (реакция Бутлерова, реакция Де Брюйна Ван Экенштейна), в которых они принимают участие в качестве интермедиатов, так и их применения для разделения и анализа сахаров. Большинство исследователей [1] полагают, что комплексоподобные соединения с ионами кальция образуют эндиольные формы моносахаридов. Однако ряд авторов полагает, что кальций координируется сразу к трем или четырем гидроксильным группам углевода, находящегося, возможно, в циклической форме [2]. Цель данной работы - исследование роли кальция в механизме реакции Бутлерова и структуры комплексов кальция с моносахаридами.

В данной работе были проведены квантово-химические исследования комплексов кальция с глюкозой, а также зарегистрированы их  $C^{13}$  и протонные ЯМР спектры. Для чистых моносахаридов и для предполагаемых форм комплекса кальция с глюкозой были проведены квантово-механические расчеты: оптимизирована геометрия, определена энергия, рассчитаны ЯМР спектры.

На основании этих расчетов были определены наиболее энергетически выгодные формы комплекса и их ЯМР спектры были соотнесены с экспериментальными данными. Из вида  $C^{13}$  ЯМР спектров комплекса следует наличие быстрого химического обмена между комплексом кальция с глюкозой и чистым моносахаридом, который приводит к сдвигу полос в спектре, увеличивающемуся с увеличением концентрации кальция в растворе. Из полученных спектров следует, что кальций координируется к атомам кислорода при первом и втором атомах углерода.

1. Т.И.Хоменко, М.М.Сахаров, О.А.Головина. Успехи химии. Т.69. (1980).
2. R.Yanagihara, K.Soeda, et.al. Bull.Chem.Soc.Jap. V.66(1993).

Научные руководители – канд. хим. наук О.П. Пестунова, канд. физ.-мат. наук И.Л. Зильберберг

## **$^2\text{H}$ ЯМР - СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ВОДЫ, АДСОРБИРОВАННОЙ В МАССИВНУЮ СОЛЬ $\text{CaCl}_2$ И УЛЬТРА ДИСПЕРСНУЮ СОЛЬ $\text{CaCl}_2$ В ПОРАХ СИЛИКАГЕЛЯ**

Д. И. Колоколов

Новосибирский государственный университет

Работа посвящена установлению на молекулярном уровне особенностей динамики воды в дисперсных гидратах на основе соли  $\text{CaCl}_2$  в порах силикагеля (селективный сорбент воды) по сравнению с массивными гидратами. Интерес к данной задаче обусловлен в первую очередь результатами ранее проводившихся исследований сорбционных свойств композитов “соль в матрице” по сравнению с массивной солью[1]. Было показано, что сорбционные свойства композитного сорбента не являются линейной суперпозицией свойств составляющих, в частности гидраты образуются в композитном сорбенте при меньшем парциальном давлении паров воды, а сам сорбент отличается повышенной способностью поглощать воду. В качестве основной причины была предложена повышенная подвижность воды в композитном сорбенте по сравнению с массивным гидратом. Однако работ по экспериментальному исследованию молекулярной подвижности воды с количественным анализом моделей молекулярной динамики ранее для подобных систем не проводилось. Основными задачами данной работы были изучение экспериментальной температурной зависимости формы линии  $^2\text{H}$  ЯМР спектров и времен спин-решеточной ( $T_1$ ) и фазовой ( $T_2$ ) релаксации спинов дейтерированной воды в массивных и дисперсных гидратах и построение физически адекватной модели для молекулярной динамики воды, которая бы позволяла количественно воспроизводить экспериментальные данные при моделировании. На данном этапе работы экспериментальная часть завершена. Модель молекулярной динамики также частично завершена и дает хорошее согласие с экспериментом, однако нуждается в дальнейшем обсуждении.

1. Л. Г. Гордеева, Д. Рестучча, Г. Каччиола, И. Аристов, ЖФХ 72 (1998) 1229.

Научный руководитель – д-р хим. наук А.Г. Степанов

## **АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫЙ АЛЮМИНИЙ**

Т.И. Горбенко, Р.Б. Любинский, А.В. Пестерев, В.Н. Попок  
Томский государственный университет

Одним из современных направлений совершенствования высокоэнергетических материалов (ВЭМ), применяемых в космической технике, является использование энергообогащенного окислителя с высокой теплотой горения на основе перхлората аммония (ПХА) и октогена (ОК), а также использование ультрадисперсного алюминия (УДП Al). Такие топливные системы позволяют получить высокий удельный импульс и экологически чистые продукты сгорания [1]. Качество ВЭМ в существенной мере определяется свойствами продуктов сгорания.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования процессов горения твердых топлив на основе смешанного окислителя ПХА/ОК, содержащих 15 мас. % металлического горючего: промышленный порошок алюминия АСД-4 и УДП Al. В качестве горючего-связующего использовали каучук СКДМ-80. Проведен анализ продуктов сгорания при горении топлива в диапазоне давлений (0.03÷0.1 МПа).

Методика экспериментального исследования включала измерение скорости горения и анализ продуктов сгорания.

Показано, что скорость горения составов, содержащих УДП Al выше, чем составов, содержащих АСД-4 в 1.5 и более раз. Возможно регулирование степенного закона скорости горения за счет изменения соотношения окислителя и горючего в топливе. Методами термического анализа – ТГА, ДТА, ДСК исследовали состав продуктов сгорания. Обнаружено присутствие в продуктах кроме сажи и окиси алюминия до 1 % ОК и до 3 % ПХА от массы продуктов сгорания. Данные результаты могут быть полезны при создании физической модели процесса горения, создания топлив, удовлетворяющих комплексу энергетических, баллистических и др. требований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 05-03-32729 и 05-08-18237).

---

1. Горбенко Т.И. // Пятая Международная школа–семинар «Внутрикамерные процессы, горение и газовая динамика дисперсных систем»: Материалы конференции в 2 томах. Т. 1. – СПб.: БГТУ, 2006. С. 27–30.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Архипов

## **ИМПУЛЬСНЫЙ ЭПР ТРИПЛЕТНЫХ СОСТОЯНИЙ МОЛЕКУЛЫ ПОРФИРИНА**

А.В. Пивцов

Новосибирский государственный университет

Целью работы являлось изучение методом электронного спинового эха (ЭСЭ) спиновой динамики промежуточных частиц, возникающих при фотоллизе в системе порфирин – фуллерен, в которой к фуллерену  $C_{60}$  ковалентно присоединен нитроксильный радикал. Это представляет интерес для исследования переноса электрона между порфирином и фуллереном. Данная система порфирин – фуллерен является модельной системой для фотосинтетического реакционного центра.

В качестве растворителя был использован жидкий кристалл 5СВ. Методом ЭСЭ были получены ЭПР спектры и зависимости амплитуды сигнала эха от времени задержки после лазерного импульса. При облучении лазером наблюдалась неравновесная поляризация спинов нитроксильного радикала. Также был зарегистрирован сигнал ЭСЭ триплетного состояния молекулы порфирина. При температуре 250К время спада неравновесной поляризации было около 10 мкс, что близко к  $T_1$  (времени спинрешеточной релаксации спина нитроксильного радикала). Неравновесная поляризация спинов нитроксильного радикала не наблюдалась для фотолиза аналогичной системы в отсутствие фуллерена, а также при использовании в качестве растворителя смеси хлороформа с толуолом.

Поляризация нитроксильного радикала может быть объяснена образованием суперкомплекса порфирин – фуллерен – нитроксильный радикал, в котором под действием света происходит перенос электрона от порфирина к фуллерену и образование короткоживущей спин-коррелированной радикальной пары.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Л.В.Кулик

## **ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ НА ГОРЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ**

В.Н. Попок

Томский государственный университет

В настоящее время перед разработчиками высокоэнергетических материалов (ВЭМ), используемых в качестве источника рабочего тела в твердотопливных ракетных двигателях и различных газогенераторах, встала задача сокращения или полного исключения хлорсодержащих соединений из продуктов сгорания ВЭМ. Одним из возможных решений данной задачи является полная или частичная замена перхлората аммония (ПХА), используемого в настоящее время в качестве штатного окислителя ВЭМ, на нитрат аммония (НА), который обладает рядом преимуществ, таких как отсутствие вредных выхлопов в продуктах сгорания, более низкая по сравнению с ПХА стоимость и взрывоопасность. Фактором сдерживающим широкое применение НА в качестве штатного окислителя ВЭМ является низкая эффективность горения нитратных ВЭМ, связанная прежде всего с низкой скоростью горения и большими энергомассовыми потерями. Основными способами повышения эффективности горения ВЭМ в настоящее время являются использование катализаторов и активных горючих связующих, а также введение в состав ВЭМ различных энергетических добавок.

В настоящей работе рассмотрено влияние добавок (2 масс. %) нанопорошков Cu, Ni, Al, C, Fe, Ti, W, Zn, В на скорость горения и термическое разложение ВЭМ на основе НА, инертного горючего связующего (полимер СКД пластифицированный трансформаторным маслом) и алюминия марки АСД-6 (содержание 15 масс. %). Исследование параметров термического разложения ВЭМ проведено методом дифференциально-термического анализа, совмещенного с термогравиметрическим (ДТА-ТГ), на приборе DSC-62 фирмы Mettler Toledo.

Проведенные исследования позволяют подобрать добавки для регулирования параметров в законе скорости горения и оценить эффект введения добавок нанодисперсных порошков металлов на разложение ВЭМ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №05-03-32729 и № 05-08-18237).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Архипов

# ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ИНГИБИТОРОВ НА КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПРЕДЕЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПЕРЕМЕШАННОЙ МЕТАНО- ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

С.А. Якимов

Новосибирский государственный университет

Одним из важных показателей эффективности пламегасителей и ингибиторов горения является их способность влиять на концентрационные пределы распространения (КПР) пламен. Экспериментальное определение КПР в пламенах с малой добавкой ингибитора позволяет проверить теоретическую модель, описывающую химические реакции в пламенах. Целью работы являлось измерение КПР пламени горючей смеси  $\text{CH}_4/\text{воздух}$  с добавками трех различных ингибиторов – триметилфосфата  $((\text{CH}_3\text{O})_3\text{PO}$ , ТМФ),  $(\text{CF}_3\text{CH}_2\text{O})_3\text{P}$  и  $\text{CF}_3\text{Br}$ , а также проверка кинетического механизма Вестбрука для описания полученных экспериментальных данных по влиянию малых добавок триметилфосфата (ТМФ) на КПР метано-воздушной смеси.

Измерение КПР пламени с добавками ингибиторов проводилось методом горелки Поттера. Пламя стабилизируется на встречных потоках предварительно перемешанных горючих смесей. Увеличение потоков приводит к «растяжению» пламени и при определенном значении коэффициента растяжения пламени  $K_{\text{ext}}$  (величина, пропорциональная скорости потоков) пламя гаснет. Величина КПР определяется линейной экстраполяцией зависимости  $K_{\text{ext}}$  от концентрации метана к нулевому значению  $K_{\text{ext}}$ .

Установлено, что введение в метано-воздушную смесь добавок ТМФ и  $(\text{CF}_3\text{CH}_2\text{O})_3\text{P}$  приводит к сужению концентрационных пределов распространения пламени. Обнаружено, что малые добавки этих ингибиторов (до 0,4 %) более эффективны, чем добавки  $\text{CF}_3\text{Br}$ , в отношении их влияния на нижний (бедный) КПР.

Сопоставление данных эксперимента и результатов моделирования показало, что механизм Вестбрука с соавторами удовлетворительно описывает данные по влиянию ТМФ на бедный концентрационный предел распространения пламени. Расхождение между экспериментальными и рассчитанными результатами в богатых пламенах, по всей видимости, обусловлены тем, что использованный кинетический механизм не включает углеводороды с большим числом атомов углерода.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук, проф. О.П. Коробейничев, канд. хим. наук А.Г. Шмаков.

## **ГОРЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СМЕШАННОМ ОКИСЛИТЕЛЕ (AN/AP)**

В.Н. Попок, Е.С. Якушева, Л.А. Савельева  
Томский государственный университет

Высокоэнергетические материалы (ВЭМ) используются в качестве источника рабочего тела в различных энергетических установках и газогенераторах. В настоящее время в связи с ростом количества гражданских космических запусков перед разработчиком ВЭМ встала задача разработки нового класса ВЭМ с низкой стоимостью и малой токсичностью продуктов сгорания, характеризующихся приемлемыми энергетическими характеристиками. Основным источником экологически неблагоприятных продуктов сгорания ВЭМ - перхлорат аммония, используемый в современных ВЭМ в качестве штатного окислителя. Одним из возможных решений задачи снижения токсичности продуктов сгорания и стоимости ВЭМ является полная или частичная замена перхлората аммония на нитрат аммония.

В настоящей работе рассмотрены основные характеристики горения и термического разложения ВЭМ на основе смешанного окислителя (нитрат аммония и перхлорат аммония в различных соотношениях), инертного горючего-связующего (полимера СКД пластифицированного трансформаторным маслом) и алюминия (содержание 15 масс. %). Использовалась смесь алюминия микронного размера марки АСД-4 и ультрадисперсный порошок алюминия марки ALEX (соотношение 2:1). В работе проведено исследование скорости горения в интервале давлений 2-12 МПа, исследован процесс термического разложения ВЭМ (прибор DSC-62 фирмы Mettler Toledo), проведен термодинамический расчет.

В результате получены закономерности горения ВЭМ на смешанном окислителе, установлено влияние соотношения AN/AP на параметры в законе скорости горения, установлены закономерности термического разложения исходных компонентов и исследованных ВЭМ. Результаты термодинамического расчета позволяют установить закономерности влияния соотношения AN/AP на величину удельного импульса, температуру горения, состав продуктов сгорания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №05-03-32729 и № 05-08-18237).

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Архипов

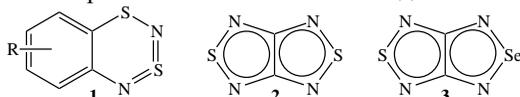
# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СЕРА-АЗОТНЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ АНИОН- И КАТИОН-РАДИКАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

А.В. Лончаков

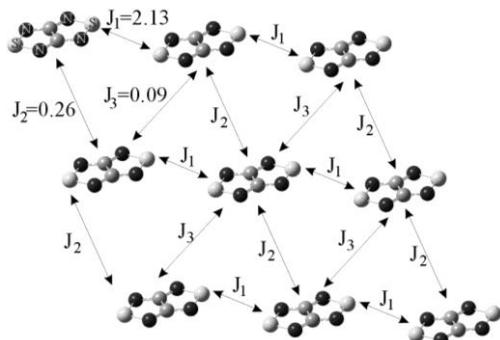
Новосибирский государственный университет

Проблема создания новых материалов, обладающих необычными свойствами, является одной из наиболее актуальных в современной химии. Исследуемые в данной работе сера-азотные гетероциклические анион- и катион-радикалы являются строительными блоками для конструирования таких материалов – молекулярных магнетиков и проводников.

В данной работе проведена интерпретация магнито-резонансных параметров и других свойств катион- и анион-радикалов двух классов гетероциклических соединений: 1,3,2,4-бензодитиадиазинов (1) и 1,2,5-тиадиазоло[3,4-с]-1,2,5-тиадиазола (2) и его производного (3), на основе квантово-химических расчетов этих свойств методом B3LYP/6-311G(d,p).



На основе солей анион-радикалов **2** и **3** были созданы кристаллические образцы, являющиеся парамагнетиками при комнатной температуре и слабыми антиферромагнетиками при криогенных температурах. Для интерпретации свойств этих кристаллических образцов на молекулярном



уровне, нами были проведены расчеты парных обменных взаимодействий радикальных частиц ( $J$ ) с использованием реальной геометрии кристаллической решетки, полученной методом PCA. Расчеты проводили неограниченным по спину методом теории функционала плотности с нарушенной симметрией.

На рисунке приведена геометрия кристаллической решетки калиевой соли анион-радикала **3** и величины парных обменных взаимодействий, которые

хорошо согласуются с температурной зависимостью магнитной восприимчивости.

Научные руководители – д-р хим. наук, проф. Н.П. Грицан, д-р хим. наук, доц. А. В. Зибарев

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СТЕКЛЮЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЯХ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ЭПР НИТРОКСИЛЬНЫХ СПИНОВЫХ ЗОНДОВ**

Н.П. Исаев

Новосибирский государственный университет

Настоящая работа посвящена исследованию динамики молекул в стеклюющихся жидкостях. Для этого был предложен метод сравнительного анализа скоростей релаксации в двухимпульсном спаде спинового эха и стимулированного спинового эха для различных времен  $T$  [1].

Был приготовлен раствор нитроксильного радикала с этильными экранирующими группами в глицерине и ортотерфениле с концентрацией 1,5 мМоль/л. Этильные группы около парамагнитного N-O фрагмента не вносят дополнительного искажения, в отличие от наиболее характерных для нитроксильных радикалов метильных групп, которые из-за близкого расположения к остову вносят заметную спектральную диффузию из-за своего вращения [2]. В эксперименте это приводит к модуляции спада сигнала ЭСЭ при увеличении температуры, и к зависимости этой модуляции от времени  $T$ . Это затрудняет изучение зависимостей скоростей релаксации от времени  $T$ .

Основным результатом настоящей работы является следующее:

- Методика сравнительного анализа скоростей релаксации двухимпульсным и трехимпульсным ЭСЭ дала возможность разделить по температуре быстрые ( $\tau_c < 10^{-6}$ ) и медленные ( $\tau_c < 10^{-6}$ ) движения в стеклообразном глицерине и орто-терфениле.
- Показана эффективность использования нитроксильного спинового зонда с экранирующими этильными группами для исследования медленного движения в неупорядоченных средах.
- Показано, что исследуемые движения свойственны только стеклообразной фазе, и в кристалле себя не проявляют.
- Обнаруженное появление медленных движений при повышении температуры в исследованных системах, с существенно разным характерам

межмолекулярных связей, позволяет высказать предположение о том, что речь идет об универсальной зависимости для всех неупорядоченных сред.

1. A. Dzuba, E.P. Kirilina, E.S. Salnikov, L.V.Kulik, J. Phys. Chem. 122, 2005, 94702-94709.

2. L.V. Kulik, E.S. Salnikov, S.A. Dzuba, Appl. Magn. Reson., 28, 2005, 1-11.

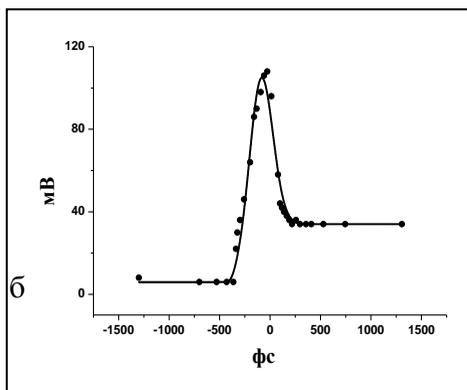
Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. С.А.Дзюба

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ДИНАМИКИ МОЛЕКУЛЫ ТРИЭТИЛАМИНА В ЭЛЕКТРОННО- ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ

Л.М. Чикишев

Новосибирский государственный университет

В данной работе методом возбуждение-зондирование (pump-probe) исследована фемтосекундная динамика молекулы триэтиламина в первых двух синглетных электронно-возбужденных состояниях. Реализована измерительная схема с регулируемой временной задержкой между импульсами. В качестве зондирующего использовалось излучение с длиной волны 800 нм. Возбуждение в первое синглетное состояние  $S_1$  осуществлялось одним квантом с длиной волны 266 нм, возбуждение в состояние  $S_2$  - двумя квантами с длиной волны 400 нм.



На рисунке показан сигнал ионизации амина, как функция задержки между возбуждающим и зондирующим импульсами при возбуждении в состояние  $S_1$ , аналогичные измерения были проведены и при возбуждении в состояние  $S_2$ .

Аппроксимация временного профиля сигнала модельной кривой с варьируемыми параметрами позволила определить характерные времена внутримолекулярной колебательной релаксации к равновесной геометрии возбужденных состояний  $S_1$  и  $S_2$ , которые составили  $18 \pm 6$  фс и  $71 \pm 12$  фс, соответственно.

Научный руководитель – д-р хим. наук А.В. Бакланов.

## **ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННАЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ОН-РАДИКАЛОВ В ПЛАМЕНИ ВОДОРОДА**

О.С. Асеев

Новосибирский государственный университет

В последние десятилетия в областях, связанных с физикой горения, существенное значение приобретает использование лазерных систем как методов диагностики. Одними из главных частиц, отвечающих за развитие цепных реакций при горении, являются радикалы ОН. Их диагностирование методом лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) получило большое распространение по следующим причинам. Для возбуждения  $X^2\Pi \rightarrow A^2\Sigma^+$  достаточно фотонов с длинами волн порядка 300 нм, характерное время высвечивания для флуоресцирующих радикалов ОН составляет десятки наносекунд, что обеспечивает высокий квантовый выход при атмосферном давлении.

В работе представлен анализ использования установки ЛИФ, созданной в лаборатории ИХКГ СО РАН. Главным элементом установки является перестраиваемый лазер на красителе с удвоением частоты. Спектральная ширина излучения лазера составляет  $0.15 \text{ см}^{-1}$ . Лазер работал на красителе Rhodamine В. Люминесценция возбужденных лазерным излучением радикалов выделялась монохроматором. Для получения гидроксильных радикалов ОН, мы использовали водородную горелку.

Экспериментально получен вращательно-колебательный спектр радикала ОН в пламени водорода. Спектр записан в интервале 288 – 290 нм. Этот спектральный диапазон соответствует максимуму вращательной ветви в спектре радикала, находящегося в первом колебательно-возбужденном состоянии и высокочастотному краю вращательной ветви в спектре радикала в основном состоянии. Таким образом, имеется возможность определять относительные концентрации радикалов в основном и первом возбужденном колебательных состояниях. Спектр был смоделиро-

ван с помощью программы Lifbase 2. Анализ спектров помог определить вращательные и колебательные температуры радикала.

Научный руководитель – д-р хим. наук Е.Н. Чесноков

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ АКРИЛАТНЫХ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ЯМР $^1\text{H}$ СПЕКТРОСКОПИИ

Т. Б. Гуппов

Кабардино-Балкарский государственный университет

Данный доклад посвящен исследованию новых полимерных соединений на основе акрилат- и метакрилатгуанидинов (АГ и МАГ) методом ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопии. Результаты  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии ( $\text{D}_2\text{O}$ ) приведены в таблице.

### ЯМР $^1\text{H}$ спектральные характеристики акрилатных гомополимеров<sup>а</sup>

Соединение линия <sup>б</sup>		$\text{CH}_3$				$\text{CH}_2$		$\text{CH}$
		1	2	3	4	5 (1) <sup>о</sup>	6 (2) <sup>о</sup>	(3) <sup>о</sup>
1	ПАК	-	-	-	-	1.28	-	2.20
2	ПАГ	-	-	-	-	1.68	1.82	2.28
3	ПАГ	-	-	-	-	1.69	1.82	2.29
4	ПМАК	1.71	1.85	2.01	-	2.48	-	-
5	ПМАГ	1.28	1.37	1.51	1.65	2.00	2.27	-
6	ПМАГ	1.30	1.39	1.51	1.65	1.99	2.28	-

Примечания. <sup>а</sup>Химические сдвиги даны в м.д., все сигналы проявляются в виде уширенных синглетов, для сигналов метильной и метиленовых групп наибольшей по интенсивности является первая линия, проявляющаяся в сильном поле. <sup>б</sup>В скобках дан номер линии для ПАК и ПАГ.

Из сравнения спектральных данных соответствующих гуанидинсодержащих полимеров и полимерных кислот - полиакриловой (ПАК) и полиметакриловой (ПМАК) (табл. 1, оп. 1 – 3 и 4 – 6), выявлены различия в типе водородного связывания, которые мы наблюдали по данным спектров ЯМР  $^1\text{H}$  для АГ и МАГ. Сигналы ПМАГ в сравнении с ПМАК испытывают диамагнитный сдвиг, что связано с типом связывания с участием делокализованного карбоксильного аниона, приводящее к снижению его дезэкранирующего влияния. В случае ПАГ мы наблюдаем парамагнитный сдвиг сигналов соответствующих протонов, что связано с полимерной природой соединения: на сигналы  $\text{CH}_2$  групп оказывают дезэкранирующее

влияние ряд (в зависимости от конформации) оказавшихся по соседству карбоксилатанионов.

Научные руководители – канд. хим. наук, доц. С.Ю. Хаширова, канд. хим. наук Н.А. Сивов

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ ТОПЛИВ С ПОРОШКООБРАЗНЫМ ТИТАНОМ**

Р.С. Захаров

Новосибирский государственный университет

Известно, что наночастицы  $TiO_2$  в кристаллической модификации ана-таз демонстрируют превосходные фотокаталитические свойства, которые обеспечивают разрушение различных вредных веществ. Для создания (или рассеяния) наночастиц  $TiO_2$  привлекательны процессы горения и взрыва энергетических конденсированных систем. Однако многие химические элементы «отравляют» фотокаталитическую поверхность частиц. Поэтому первый этап работы свелся к подбору пиротехнической смеси, устойчиво горящей с диспергированием частиц титана, которые, догорая в воздухе, образовывали бы дымообразный  $TiO_2$ . Второй этап работы связан с исследованием характеристик «целевого продукта» – оксидного аэрозоля (дыма). Проведен поиск литературных данных о горении смесей с титаном и для опробования выбраны следующие окислители: фторопласт, нитрат аммония, нитрат стронция. Содержание  $Ti$  в смеси: 15 – 50%.

Смеси фторопласта с  $Ti$  не зажигались (по-видимому, реакция идет в твердофазном режиме). Смеси  $Ti$  с нитратом аммония также не удалось зажечь. Смесь  $Ti$  с нитратом стронция способна к самоподдерживающемуся горению. Наблюдаются взрывающиеся искры – характерная особенность горения частиц титана. Данный окислитель дает конденсированные продукты горения – оксид стронция  $SrO$ . Его влияние на фотокаталитическую активность поверхности  $TiO_2$  требует специального изучения. Для смеси  $Ti$  с нитратом стронция определены параметры образующегося оксидного дыма. Произведены отборы проб аэрозоля с использованием термопреципитатора и вакуумного отборника. На основе обработки электронно-микроскопических изображений определены размеры первичных наночастиц, морфология агрегатов наночастиц и другие параметры. Планируется определение удельной поверхности частиц и фотокаталитической активности аэрозоля.

Дальнейшая экспериментальная работа будет проводиться в направлении оптимизации смеси с целью увеличения выхода целевого продукта

(наноразмерного оксидного аэрозоля) на основе экспериментальных данных по скорости горения и по характеристикам конденсированных продуктов. Основные оптимизируемые параметры – состав смеси и дисперсность компонентов. Кроме того, будет продолжен поиск иных эффективных горючих смесей с Ti, не дающих других конденсированных продуктов горения кроме TiO<sub>2</sub>.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук О. Г. Глотов

## **КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ ФУЛЛЕРЕНОВ НА ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ**

О.В. Седельникова

Новосибирский государственный университет

Разработка новых покрытий, поглощающих электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн, актуальна для различных областей науки и техники. Такие покрытия используются для ослабления рассеяния электромагнитного сигнала мишенью, для защиты человеческих глаз и оптических датчиков от лазерного излучения и для защиты жилых помещений от СВЧ излучения. Недавно было установлено, что углерод луковичные структуры (УЛС), введенный в диэлектрическую матрицу, может представлять еще один тип таких поглотителей. При этом наноструктуры благодаря возможности их модификации и трехмерной организации обладают широкими возможностями для варьирования свойств материалов.

УЛС могут быть получены при отжиге наноалмазов в вакууме. Элементом получаемых материалов являются углеродные луковички. Идеальная луковичка образована из вложенных друг в друга фуллеренов, например C<sub>60</sub>@C<sub>180</sub>@C<sub>540</sub>. Реальные структуры характеризуются наличием разного типа дефектов.

В работе исследовалось влияние атомной структуры углеродного каркаса на поляризуемость фуллерена. Для расчетов были использованы полумпирический метод MNDO и неэмпирический V3LYP метод. Результаты расчета были отгестированы на известных экспериментальных значениях поляризуемости фуллеренов C<sub>60</sub> и C<sub>70</sub>, составляющих 76,5 Å<sup>3</sup> и 102 Å<sup>3</sup> соответственно. Погрешность метода MNDO составила 11% для C<sub>60</sub> и 0,7% для C<sub>70</sub>. Для V3LYP метода проведено сравнение результатов расчета в базисных наборах 6-31G, 6-31G(p) и 6-31G(p,d). Погрешности для C<sub>60</sub> составляют 11%, 8% и 2,4%, для C<sub>70</sub> 24%, 18% и 7,7%.

В качестве идеальных фуллеренов рассматривали молекулы C<sub>180</sub> и C<sub>240</sub>, обладающие симметрией икосаэдра и содержащие по 12 пентагонов. На их

основе были созданы модели «дефектных» фуллеренов, путем введения в структуру восьмичленников (топологические дефекты), при этом увеличивалось число пентагонов и возникали атомные вакансии. Формирование в структуре  $C_{180}$  и  $C_{240}$  2, 4 и 6 восьмичленников приводит, соответственно, к каркасам  $C_{168}$ ,  $C_{172}$ ,  $C_{176}$ ,  $C_{236}$ ,  $C_{232}$  и  $C_{228}$ . Выявлено, что при росте числа топологических дефектов поляризуемость уменьшается.

Научные руководители – д-р физ.-мат. наук А.В. Окотруб, д-р хим. наук Л.Г. Булушева.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БИОКОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА $ZrO_2$ – ПОЛИ-БЕТА-ГИДРОКСИБУТИРАТ

А.В.Козлова\*, С.П.Буякова\*, Л.М.Молчунова  
Томский государственный университет\*  
Институт физики прочности и материаловедения

Основными свойствами керамики являются высокая химическая стабильность, незначительная деформация при нагрузке, износостойкость, выносливость и устойчивость к воздействию биологической среды, что делает возможным ее использование в медицине, в частности, для реконструкции и замещения костной ткани. Введение в керамику полимерных материалов с целью образования на внутренней поровой поверхности биосовместимого покрытия позволяет ускорить процесс формирования биомеханического контакта на границе имплантат-кость.

Цель данной работы - исследование структуры и свойств керамики из нанокристаллического порошка диоксида циркония, пропитанной поли-бета-гидроксибутиратом.

Покрытие наносилось на образцы керамики, полученные спеканием ультрадисперсных порошков диоксида циркония, с объемом порового пространства ~30% и ~60% и размером пор соответственно 0,7 мкм и 1000 мкм. Полимерное покрытие было нанесено в НБИ РАН им. А.Н. Баха. Анализ структуры композитов осуществлялся на сканирующем электронном микроскопе SEM 515 Philips. Насыщение образцов физиологическим раствором (0,9% NaCl) проводилось методом окунания. Периодичность измерения массы составляла от 10 секунд до 24 часов.

Средний размер зерна, капилляров и толщина полимерной плёнки определялись методом случайных секущих. По полученным данным были построены гистограммы. Среднее значение для толщины пленки поли-бета-оксибутирата составляет ~0,1 мкм, среднее значение размера зерна ~0,7 мкм, средний размер капилляров ~0,2 мкм. Исследования показали, что полимер заполнил мелкие капилляры, но при этом остались незаполненными крупные поры. На внутренних поверхностях материала полимер образовал покрытие, что важно для прорастания живых тканей. Разность между количеством жидкости, заполняющей образец с биопокрытием и без него, объясняется наличием полимерной пленки и заполнением некоторого объема порового пространства полимером.

Установлено, что, несмотря на присутствие полимера, керамика сохраняет способность к насыщению жидкостью. Зависимости изменения мас-

сы проникающей жидкости от времени отличаются для образцов с разной пористостью: в случае с мелкой пористостью наличие полимера препятствует мгновенному насыщению жидкостью, в то время как для крупной пористости характер заполнения практически не меняется.

Научный руководитель – С.П. Буякова

## **ЛАЗЕРНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ МЕТОДИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ КАТАРАКТЫ**

Е.С. Владимирова  
Сибирский федеральный университет  
Институт естественных и гуманитарных наук

Среди многих заболеваний, приводящих к потере зрения, значительное место принадлежит катаракте — помутнению хрусталика. Катаракта наряду с глаукомой относится к главным причинам слепоты. Основным, существующим на данный момент методом диагностики катаракты, является биомикроскопия на щелевой лампе. Его основным недостатком является субъективность и невозможность точно установить диагноз. Дополнительный метод диагностики катаракты - флуоресцентная спектроскопия [1].

Используя автоматизированный спектрофлуориметр с оптоволоконной доставкой излучения, были получены и проанализированы спектры флуоресценции хрусталиков нескольких групп добровольцев: со здоровым хрусталиком 60 человек в возрасте 20-30 лет, с факосклерозированным хрусталиком 10 человек, с начальной катарактой 40 человек, с незрелой катарактой 20 человек, со зрелой катарактой 50 человек.

При анализе спектров флуоресценции было выявлено, что максимальное отличие в спектре флуоресценции катарактального и здорового хрусталика наблюдается на длине волны 440 нм, в то время как 400 нм и 500 нм являются изобестическими точками. Для количественной оценки патологических изменений хрусталика был разработан спектральный критерий изменений в спектре флуоресценции хрусталика, позволивший по интенсивностям флуоресценции на 3-х длинах волн охарактеризовать состояние хрусталика. Для стандартизации критерий  $\alpha$  был принят так, чтобы быть 0 для идеально здорового и 1 для максимально катарактального хрусталика. Значения  $\alpha$  для сформированных групп составило: для здоровых 0-0.5 хрусталиков, для факосклерозированных, с начальной катарактой, с незрелой катарактой с зрелой катарактой. Достоверность по Т-тесту между группами составила более 0.99.

Подытоживая вышесказанное надо отметить, что лазерно-флуоресцентная методика дифференциальной диагностики катаракты позволяет объективно диагностировать степень зрелости, а так же позволяет выявлять ранние стадии катаракты до появления клинических проявлений, таких как снижение зрения.

---

1. Wolfgang Lohmann, Device for measuring eye lens opacity, US Patent 4852987, Aug. 1, 1989.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук В.В. Салмин

## **ЭФФЕКТИВНЫЙ ТКАНЕВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ ДИФфуЗИИ КИСЛОРОДА В ХОРИОАЛЛАНТОИСНОЙ ОБОЛОЧКЕ КУРИНОГО ЭМБРИОНА**

В.Ю. Ёлохов, И.В. Минорова  
Новосибирский государственный университет

У животных коэффициент диффузии  $O_2$  является основным параметром, определяющим потоки кислорода на уровне ткани и внутри клеток. За счёт диффузии кислород транспортируется от внутренней поверхности капиллярной стенки до митохондрий. Величина коэффициента диффузии определяет основные геометрические параметры тканевой микроциркуляторной газообменной капиллярной сети. Для определения коэффициента диффузии необходимо знать поля концентраций и потоки кислорода. Внутри ткани совместное измерение этих величин до сих пор сталкивается с труднопреодолимыми методическими ограничениями, особенно при стационарных методах измерения в среде активно потребляющей кислород. Мы рассчитывали коэффициент диффузии по кривым потребления кислорода хориоаллантаоисной оболочкой куриного эмбриона (ХАО), полученных *in vitro*. Для измерения кривой потребления, оболочка отделялась от скорлупы, обрезалась по шаблону, наворачивалась на цилиндрическую решётку и помещалась в герметичную цилиндрическую термостатированную ячейку. Парциальное давление кислорода ( $pO_2$ ) в инкубационной среде измерялось электродом Кларка E5047 фирмы Radiometer. Интенсивное вращение стабилизированной магнитной мешалки создавало между соосными цилиндрами закрученный тороидальный поток инкубационной среды, что обеспечивало одинаковую концентрацию кислорода по всей поверхности ХАО и на мембране электрода Кларка. Сигналы  $pO_2(t)$  и  $d(pO_2)/dt$  с полярографического и дифференцирующего усилителя подава-

лись на АЦП и сохранялись в файле. Эффективный коэффициент диффузии в ХАО рассчитывался по критическим значениям  $pO_2$  и  $qO_2$  в приближении равномерного распределения основных стоков кислорода [1]. На 14-й день инкубации, когда ХАО полностью сформирована и закрывает всю поверхность скорлупы, эффективный  $DO_2$  в ткани ХАО составил  $(0,53 \pm 0,29) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/сек, что соответствует значениям  $DO_2$  в тканях других теплокровных.

---

1. Баранов В.И., Беличенко В.М., Новосильцев С.В., 2002. Потребление кислорода изолированным хориоаллантоисом на поздних стадиях куриного эмбриона // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова, Т 88, №2, С. 272-275.

Научный руководитель – канд. биол. наук, доц. В.И. Баранов

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЛИМФОЦИТОВ ПО СВЕТОРАССЕЯНИЮ МЕТОДАМИ САНИРУЮЩЕЙ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ**

В.И. Мун

Новосибирский государственный университет

Главная функция лимфоцитов – это обеспечение иммунных реакций, защита от всего чужеродного, попадающего в организм или образующегося в нем. Оценка количественных показателей клеточного иммунитета может быть использована для определения возможных вариантов течения заболевания и, в последующем, подбора оптимальных иммунокорректирующих средств.

Сейчас наиболее точным и информативным методом классификации клеток крови является выявление и количественная оценка экспрессии на их мембране поверхностных маркеров-антигенов с помощью флуоресцентных меток. Однако недостатком метода (кроме дороговизны прибора – проточного цитофлуориметра) является наличие неспецифического связывания таких меток. Поэтому целью данной работы является усовершенствование существующих методов разделения клеток крови, используя дополнительную информацию – индикатрисы светорассеяния. В работе измерялось светорассеяние в широком диапазоне углов, что позволило провести разделение лимфоцитов на одном пациенте без CD-меток с помощью математических подходов к анализу параметров светорассеяния лимфоцитов и алгоритмов классификации Байеса и к-ближайших соседей.

Основной задачей было разделение популяций лимфоцитов на одном пациенте упомянутыми методами, а затем на нескольких, и проверка дос-

товерности полученных результатов. Обучение алгоритмов проходило на картах параметров светорассеяния одного пациента с лимфоцитами уже разделенными по флуоресцентным меткам. Исходя из предположения, что многомерные распределения по параметрам светорассеяния лимфоцитов у разных пациентов будут единообразны, обученный алгоритм применялся для разделения лимфоцитов других пациентов, уже без применения флуоресцентных меток. Для повышения точности и достижения большего единообразия карты параметров были предварительно отнормированы относительно центра тяжести.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.П. Мальцев

### **ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТЕИНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ПРИМЕРЕ ЛАМИНИИ И ПОВЕРХНОСТНОГО БЕЛКА ВИРУСА КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА ПРИ ПОМОЩИ АТОМНО-СИЛОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Г.А. Налгранян

Новосибирский государственный университет

В последнее время в области микробиологических исследований наблюдается рост внимания к такому методу, как атомно-силовая спектроскопия (АСС). Данный метод основан на регистрации силового взаимодействия между веществами на малых расстояниях (возникновение вандер-ваальсовых сил, сил специфического взаимодействия). Принципы АСС позволяют на молекулярном уровне изучать такие виды взаимодействий, как лиганд-рецепторное, взаимодействие биополимеров с биологическими мембранами, а также делают возможным изучение некоторых свойств образования протеиновых комплексов.

В настоящей работе изучалось взаимодействие мембранного белка ламинина с поверхностным белком вируса клещевого энцефалита. В результате исследования по широкой выборке (более 500 актов взаимодействия) получены средние значения силы ( $100 \pm 70$  пН) и энергии ( $1700 \pm 900 \cdot 10^{-21}$  Дж) взаимодействия для данных объектов.

Научный руководитель – канд. физ.-мат. наук Б.Н. Зайцев

# РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ДНК В АГАРОЗНОМ ГЕЛЕ В ДИАПОЗОНЕ ДЛИН ОТ 15 Т.П.О. ДО 100 Т.П.О.

П. А. Наумов

Новосибирский государственный университет

Одной из важнейших задач в современной биотехнологии и генной инженерии является разделение фрагментов ДНК различной длины в диапазоне от нескольких пар оснований до нескольких миллионов пар оснований. Для их разделения широко применяется метод геля электрофореза.

Электрофорез нуклеиновых кислот – воздействие электрического поля на искомую смесь фрагментов ДНК, приводящее к их разделению в нейтральном носителе, агарозном или полиакриламидном геле.

Для разделений фрагментов ДНК размерами порядка 100 тысяч пар оснований чаще всего применяются методы импульсного геля электрофореза (FIGE) [1].

Существующие методики разделения сочетают в себе необходимость сложного оборудования и длительное время экспериментов.

Цель данной работы было разработать простое в изготовлении оборудование и оптимизировать методику для сокращения времени разделения.

В ходе работ было разработано оборудование позволяющее проводить импульсный гель электрофорез с произвольной формой импульса. Экспериментально было показано существование минимумов подвижности для фрагментов ДНК в диапазоне длин 20 т. п.о. - 50 т. п.о. при импульсном геле электрофорезе FIGE. Минимум подвижности ДНК фага  $\lambda$  находится при значении прямого импульса 1.4 секунды. Оптимальной длительностью прямого импульса для разделения смеси фрагментов ДНК в диапазоне длин 20 т. п.о. - 50 т. п.о., в 1% агарозном геле и напряженности электрического поля 5.4 В/см, так же является 1.4 секунды. Для импульсного геля электрофореза FIGE предложена новая модификация, которая позволяет сократить время проведения эксперимента в 3 - 4 раза.

---

1. Schwartz D. C., Cantor C. R. Separation of yeast chromosome-sized DNAs by pulsed field gradient gel electrophoresis // Cell. 1984. Vol. 37. P. 67-75.

Научный руководитель – канд. биол. наук, М. А. Абдурашитов

## **СРАВНЕНИЕ СЕЧЕНИЙ РАССЕЯНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЙТРОФИЛА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПОЛУЧЕННОГО**

Д.Ю.Орлова

Новосибирский государственный университет

Нейтрофильные лейкоциты имеют округлую форму, их диаметр в капле свежей крови около 7-9 мкм. В цитоплазме нейтрофилов содержится мелкая зернистость-гранулы.

На экспериментальной установке сканирующий проточный цитометр (СПЦ) были измерены индикатрисы светорассеяния нейтрофилов. По результатам измерений посчитано сечение рассеяния. Был проведён расчёт сечения рассеяния для теоретической модели нейтрофила-сферы, заполненной гранулами (сферами меньшего диаметра) и ядром (несколько сфероидов). Предложенная модель хорошо согласуется с результатами экспериментов.

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, проф. В.П. Мальцев

## **ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИСПЕРСНЫЕ И ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИНА**

Р.А. Казакова, А.М. Александрова, И.М. Потапова  
Российская экономическая академия им. Г.В. Плеханова

Цвет виноградных вин относится к основным свойствам, непосредственно связанным с их качеством. Цвет вина зависит от срока выдержки, технологии производства, климатических и агротехнических условий возделывания винограда и его сорта. Количественную характеристику цвета можно получить на основе физико-химических методов исследования: колориметрии и спектрофотометрии.

Некоторые исследователи высказывают предположение, что цвет и дисперсность жидких пищевых продуктов, в том числе вина, представляющих в коллоидном отношении суспензии, являются взаимосвязанными параметрами. Однако характер этой взаимосвязи до сих пор не установлен, а необходимость исследований возрастает в условиях перехода к сертификации продукции и выработки обоснованного подхода к контролю уровня качества товаров. Так как цвет продуктов питания в целом, и вина в частности, является интегральным показателем физико-химических изменений качества и входит в число основных критериев, по которым производится

товароведная оценка, необходимо правильно измерять цвет и знать влияние основных факторов, вызывающих его изменение. Решение этих задач должно базироваться на объективных методах цветовой диагностики.

Показано, что наибольшее влияние на изменение цветовых характеристик оказывает дисперсность коллоидных частиц. Экспериментальное подтверждение указанному предположению удалось получить при исследовании спектров сухих красных вин "Каберне" различного срока выдержки.

Показано, что доминирующая длина волны, а также вид спектральных кривых пропускания для сухих красных вин "Каберне" зависят от срока выдержки и температуры хранения. При увеличении времени выдержки интенсивность красных тонов окрашивания снижается, происходит побурение вин.

Большой разброс точек на линии спектральных цветностей не является случайным. Имеется ряд работ по изучению цветовой стабильности вин Каберне, в которых показано, что покоричневение и обесцвечивание вин происходит в результате конденсации, полимеризации и химического старения дубильных веществ. Высказываются предположения, что цветовые характеристики вин и степень полимеризации фенольных компонентов являются взаимосвязанными параметрами.

Анализ публикаций по этому вопросу позволил предположить, что дисперсность влияет на цвет посредством изменения спектра рассеянного света, который определяется рядом параметров коллоидной системы, в том числе размерами частиц и расстояниями между ними.

В последующих публикациях, посвященных этому вопросу, показано, что энергия перехода вина в другое состояние сопровождается поглощением энергии, величина которой характерна для протекания коллоидных процессов в вине. Это дает основание утверждать, что изменение цвета вина происходит в результате процессов коагуляции или диспергации в коллоидной системе вина.

Изменение состояния коллоидной системы вина может происходить при действии температуры, сроков выдержки и электролитов. Во все перечисленных случаях усиливаются коагуляционные процессы, которые приводят к росту коллоидных частиц и выпадению их в осадок. При этом происходит сложный процесс изменения цветовых характеристик вина. По этому вопросу нами опубликованы статьи в ведущих отраслевых и академических журналах.

Таким образом, изучение цветовых характеристик вин является весьма актуальным, поскольку по ним достаточно точно можно указать изменения в составе коллоидной системе вина, выявить район виноделия и прочие особенности винодельческой продукции.

Работы по изучению цвета вина планируется проводить по следующим направлениям:

□ Изучение энергетических характеристик вина в совокупности с их цветовыми параметрами при действии сроков выдержки, хранения при различных температурах и концентрациях электролитов различной валентности катионов.

□ Составление базы данных по цветности вин, производимых различными странами и винодельческими регионами.

□ На основе базы данных построение математической модели цветовых характеристик вина, учитывающих стабильность, дисперсность, электрокинетические параметры и другие характеристики коллоидной системы вин.

---

1. Елисеев М.Н., Кузичкина Т.И., Потапова И.М., Ласькова Н.В., Хатченкова О.С. и др. Особенности энергетических характеристик сухого вина «Каберне». Хранение и переработка сельхозсырья, 2006, № 5, с. 28-32. Л.Г. Елисеева.

2. Елисеев М.Н., Кузичкина Т.И., Потапова И.М., Берлова Н.В. Определение констант молекулярных сил коллоидных частиц Журн. Прикл. Химии 2003, т.79, вып. 9, с.1577-1579.

Научный руководитель – д-р хим. наук, проф. Д.С. Лычников

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ.....	1
АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАШИННАЯ ГРАФИКА .....	3
Е.К. Ахметбеков .....	3
Б.М. Бидус.....	4
Д.Б. Воробьева.....	5
А.Г. Гарага .....	6
О.В. Горина.....	7
С.В. Двойнишников .....	8
И.Б. Лабутин .....	9
И.В. Масалов .....	10
С.В. Остапенко .....	11
А.В. Рудаков .....	12
С.Ю. Тикунов .....	13
А.С. Тятюшкин.....	14
АЭРОФИЗИКА И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ .....	16
В.А. Андрущенко .....	16
М. Ю. Андреев.....	17
И.С. Ануфриев <sup>1</sup> , А.А. Клочков <sup>2</sup> .....	18
Г.В. Богословцев .....	19
А.А. Галоян .....	20
В.В. Гузанов.....	21
А.В. Достовалов .....	22
Д.А. Дудин .....	23
И.А. Елисеев, И.К. Кабардин .....	24
Л. А. Захаров.....	25
А.С. Ильина .....	26
И.К. Кабардин, И.А. Елисеев .....	27
А.О. Кашкаров.....	28
С. П. Козлов .....	29
И.А. Козулин .....	30
А.В. Крюков.....	31
А. В. Лончаков.....	32
Р.С. Матвиенко .....	33
Р.Н. Медведев.....	34
Д.А. Мищенко.....	35
А.С. Небучинов .....	36
М.С. Ожгибесов.....	37
А. М. Павленко .....	38
К.С. Первунин.....	39

Д. П. Родионова .....	40
Д.А. Тропин .....	41
А.С. Усанина.....	42
М.Ю. Хребтов.....	43
<b>КВАНТОВАЯ ОПТИКА .....</b>	<b>45</b>
С.Б Аксенов .....	45
В.А. Акулов.....	46
Н.В. Дудин, Р.З. Ибрагимов .....	47
Е.Ю. Зинченко, А.А. Уткина, Е.А Сураева .....	48
Е. Ю. Зинченко, Е.А. Сураева, А.А. Уткина .....	49
Е. Ю. Зинченко, И.Ш. Тумпаров.....	50
А.А.Иванов <sup>1</sup> , Д.В.Баснак <sup>2</sup> .....	51
С.Е.Кандрушин .....	52
Е.П. Коцубинская .....	53
К.А. Ломанович .....	54
Н.А. Матвеева.....	55
М.Д. Парушкин.....	56
Д.И. Пехтерев .....	57
В.В. Попов.....	58
Н.С. Тарасов.....	59
Д.С. Харенко.....	60
В. П. Шауро .....	61
<b>РАДИОФИЗИКА.....</b>	<b>63</b>
М.О. Жуков .....	63
А.А. Елисеев .....	64
С.А. Кислицын.....	65
К.Р. Яминов.....	66
И.Ю. Красников.....	66
П.О. Очеретинский.....	67
А.Н. Панов .....	68
В.В. Орешонок.....	69
А.Ю. Агеев.....	70
М.Ю. Красницкий .....	71
В.Е. Шачков .....	72
В.С. Воробьев .....	73
Р.А. Филатов.....	74
М.К. Куровская.....	75
Е. Г. Кревенцов .....	76
<b>ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР,.....</b>	<b>78</b>
<b>ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ И МАГНЕТИЗМА .....</b>	<b>78</b>
С.А. Гудин, М.И. Куркин, А.В. Гапонцев, Н.Б. Бакулина, В.В Устинов.....	78
Д.П. Пищур .....	79

К.М. Пятова .....	80
Е.Н. Ткачев, Т.И. Буряков .....	81
А. Е. Тусупжанов, Д. Ерболатулы .....	82
Б.К. Увалиев.....	83
А.Н. Чернявский., А.В.Суртаев.....	84
И.Ф. Шарафуллин .....	85
<b>ФИЗИКА ПЛАЗМЫ.....</b>	<b>86</b>
А.С. Аракчеев, А.В. Судников .....	86
С.В. Кириловский.....	87
И.Ю. Коваль.....	88
Т.В. Козлова, Д.И. Рогило .....	89
М.В. Колосов .....	90
Е.И. Пинженин .....	91
Н.С. Ряшин.....	92
А.В. Сасин.....	93
Ю.А. Снеткова.....	94
А.В. Судников .....	95
<b>ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ .....</b>	<b>97</b>
И.О. Ахундов .....	97
А.С. Васильев .....	98
Н.Н. Велькер.....	99
Д.Т. Гаипова.....	100
В.Г. Гришаев.....	101
Д.А. Джаббарова .....	102
А. Н. Карпов.....	103
М.С. Коваленко. ....	104
Д.А. Козлов .....	105
А.А. Колегов, В.С. Беликов, Д.С. Бакланов .....	106
И.О. Кравченко.....	107
А.Б. Лаковцев .....	108
А.С. Любин .....	109
А.А. Лямкина .....	110
Г.Ю. Михалёв .....	111
С.В. Мутилин.....	112
Ф.М. Мухсинжонов.....	113
Л.Н. Никитина .....	114
Д.А. Нургулеев .....	115
Т.В. Первалов.....	116
Н.В. Першин .....	117
В.Г. Поляков, М.В. Бородин.....	119
С.А. Сафроненков .....	120
Н.В. Ситников.....	121

К.В. Торопецкий.....	122
Р.Р. Усманов .....	123
С.В. Шлыков, А.С. Вишнеv, А.С. Акрестина .....	124
А.В. Шмаргунов, В.Г. Божков, В.А. Бурмистрова .....	125
А.Н. Шорников.....	126
<b>ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.....</b>	<b>128</b>
С. Н. Видюк .....	128
С.А. Глухов .....	129
А.В. Горшков .....	130
П.А. Иванов .....	131
К.А. Канищев.....	132
А.В. Каравдина .....	133
Л.В. Кардапольцев .....	133
А.В. Козлинский.....	134
Т.А. Козлова.....	135
Д.В. Матвиенко .....	137
А.В. Резниченко, М.Г. Козлов.....	138
Н.М. Пульников.....	139
А.Л. Романов.....	140
К.Ю. Сковпень.....	141
А.И. Хорошилов .....	142
В.А. Черепанов .....	143
В.Е. Шебалин.....	144
<b>ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА .....</b>	<b>145</b>
Е.А. Чекушкин.....	145
В.Э. Каликин.....	146
С.С. Гребенкин .....	147
Ю. А. Ложкин .....	148
Н.П. Пожидаева .....	149
А.Н. Синюшкин .....	150
Т.И. Асыркин.....	150
И.А. Корепанов.....	151
А.И. Охохонин.....	152
А.Д. Русанов .....	154
С.Н. Каньшин .....	154
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ .....</b>	<b>156</b>
Ю.В. Лавская .....	156
О.Е. Глухова, А.С. Колесникова .....	157
Н. А. Туманов .....	158
Е.Ю. Герасимов .....	159
М.Г. Иванов .....	160

А.Н. Попова .....	161
А.В. Дзюба .....	162
Д.Ю. Петухов, А.С. Карачев, Н.А. Яцына .....	163
М.А. Васильев.....	164
Т.С. Грекова .....	165
Э.Т. Абдулхалыков, Н.Ф. Денисова.....	166
Д.А. Яценко.....	167
А.С. Уницын .....	168
Е.А. Сергеева .....	169
А.Ф. Васильева, Ж.Т. Камбарова, Б. Кутум.....	171
С.В. Беляков, А.Н. Артеменко .....	172
К.А. Мордюк, Е.Ю. Зинченко .....	173
А.Н. Артеменко, С.В. Беляков .....	174
А.Н. Артеменко, К.А. Мордюк, С.В. Беляков.....	175
А.Н. Артеменко, С.В. Беляков .....	176
И.В. Савченко .....	177
В.В. Шаров.....	178
<b>ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА .....</b>	<b>179</b>
М.Н. Уваров .....	180
А.В. Воробьёв .....	180
Е.А. Гейнц.....	181
А.Л. Павлова, А.Н. Шипачев.....	182
А.А. Ниндаков, А.О.Товпинец .....	183
А.Б. Евтушенко.....	184
А.А. Киприянов .....	185
А.А. Киприянов .....	186
С.М. Козлов .....	187
Д. И. Колоколов.....	188
Т.И. Горбенко, Р.Б. Любинский, А.В. Пестерев,В.Н. Попок.....	189
А.В. Пивцов .....	190
В.Н. Попок .....	191
С.А. Якимов .....	192
В.Н. Попок, Е.С. Якушева, Л.А. Савельева .....	193
А.В. Лончаков.....	194
Н.П. Исаев.....	195
Л.М. Чикишев .....	196
О.С. Асеев .....	197
Т. Б. Гуппоев.....	198
Р.С. Захаров .....	199
О.В. Седельникова .....	200
<b>БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА.....</b>	<b>202</b>
А.В.Козлова*, С.П.Буякова*, Л.М.Молчунова.....	202

Е.С. Владимирова.....	203
В.Ю. Ёлохов, И.В. Минорова.....	204
В.И. Мун .....	205
Г.А. Налгранян .....	206
П. А. Наумов .....	207
Д.Ю. Орлова .....	208
Р.А. Казакова, А.М. Александрова, И.М. Потапова.....	208

МАТЕРИАЛЫ  
XLV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ  
СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«Студент и научно-технический прогресс»

**ФИЗИКА**

Тезисы докладов печатаются в авторской редакции

---

Подписано в печать 02.04.2007  
Офсетная печать  
Заказ №

Формат 60x84/16  
Уч.-изд. л. 13,6  
Тираж 260 экз.

---

Лицензия ЛР № 021285 от 6 мая 1998 г,  
Редакционно-издательский отдел Новосибирского университета; участок  
оперативной полиграфии НГУ; 630090, Новосибирск-90, ул. Пирогова, 2

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
АДМИНИСТРАЦИЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРИАЛЫ  
XLV МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«Студент и научно-технический прогресс»**

**10–12 апреля 2007 г.**

**ФИЗИКА**

**Новосибирск  
2007**

УДК 55  
ББК Д.я 431

Материалы XLV Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Физика / Новосиб. гос. университет. Новосибирск, 2007. – 218 стр.

Конференция проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-02-06025-г), президиума Сибирского отделения Российской академии наук, компании «Карл Цейсс».

© Новосибирский государственный  
университет, 2007

