

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

---

# **НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2015**

## **АННОТАЦИИ ДОКЛАДОВ**

**Том 2**

**НАУКА О ЖИЗНИ  
(ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА)**

**НАНОСТРУКТУРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

**ПЛАЗМЕННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ТЕХНОЛОГИИ**

**ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА  
И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

Москва

УДК 001(06)  
ББК 72г  
Н 34

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов.** В 3 томах.  
Т.2. Наука о жизни (высокотехнологическая медицина). Наноструктурная электроника. Плазменные, лазерные исследования и технологии. Прикладная математика и теоретическая физика. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 288 с.

Настоящая книга является вторым томом сборника аннотаций докладов, представленных на ежегодную Научную сессию НИЯУ МИФИ.

Аннотации подготовлены преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами и студентами НИЯУ МИФИ и его филиалов, учеными и специалистами академических институтов, научных и научно-производственных организаций Госкорпорации «Росатом» и зарубежных стран, активно сотрудничающих с университетом. Доклады охватывают широкий круг вопросов, связанных с современными проблемами высокотехнологической медицины, наноструктурной электроники, плазменных, лазерных исследований и технологий, теоретической физики и математического моделирования (прикладной математики).

Книга предназначена ученым, аспирантам и студентам старших курсов, интересующимся тематикой представленных в ней научных направлений.

Редколлегия: О.Н. Голотюк (ответственный редактор), А.Н. Петровский, С.Г. Андреев, В.Н. Беляев, Н.Н. Евтихийев, Н.И. Каргин, Н.А. Кудряшов, В.А. Курнаев, А.П. Менушенков, И.Р. Набиев, О.В. Нагорнов, Н.Б. Нарожный, В.Г. Никитаев, В.С. Першенков, Е.Д. Проценко, В.А. Телец, Э.Я. Школьников

Аннотации издаются в авторской редакции

Материалы получены до 20.11.2014

ISBN 978-5-7262-2051-2

© Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ», 2015

Подписано в печать 25.11.2014. Формат 60x84 1/16.  
Печ. л. 18,0. Тираж 465 экз. Заказ № 191.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Типография НИЯУ МИФИ  
115409, Москва, Каширское ш., 31*

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Ковальчук М.В., директор НИЦ «Курчатовский институт», чл.-корр. РАН, – **председатель**
- Стриханов М.Н., ректор НИЯУ МИФИ, профессор – **заместитель председателя**  
Нарожный Н.Б., заведующий кафедрой, профессор – **заместитель председателя**
- Онький Б.Н., президент НИЯУ МИФИ, профессор  
Абов Ю.Г., главный научный сотрудник ИТЭФ, чл.-корр. РАН  
Айрапетова Н.Г., и.о. директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Алфимов М.В., директор Центра фотохимии РАН, академик РАН  
Беляев В.Н., декан факультета “Т”, профессор  
Гаранин С.Г., заместитель научного руководителя РЯЦ-ВНИИЭФ, чл.-корр. РАН
- Диденко А.Н., заведующий кафедрой, чл.-корр. РАН  
Крохин О.Н., заместитель директора ФИАН, академик РАН  
Кудряшов Н.А., заведующий кафедрой, профессор  
Курнаев В.А., заведующий кафедрой, профессор  
Нагорнов О.В., первый проректор, профессор  
Наумов С.А., президент Российской ассоциации по связям с общественностью, заведующий кафедрой
- Петровский А.Н., проректор НИЯУ МИФИ  
Примаков Е.М., академик РАН  
Першенков В.С., и.о. декана факультета “А”, профессор  
Першуков В.А., заместитель Генерального директора Госкорпорации «Росатом»
- Путилов А.В., декан факультета “У”, профессор  
Рачков В.И., заведующий кафедрой, чл.-корр. РАН  
Саврин В.И., заместитель директора НИИЯФ МГУ, профессор  
Сон Э.Е., заместитель директора ОИВТ РАН, чл.-корр. РАН  
Терентьева Т.А., директор по персоналу Госкорпорации «Росатом»  
Тихомиров Г.В., и.о. декана факультета “Ф”, доцент  
Чиханчин Ю.А., руководитель Росфинмониторинга, заведующий кафедрой  
Хлунов А.В., ген. директор Российского научного фонда

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Стриханов М.Н., ректор НИЯУ МИФИ – **председатель**
- Петровский А.Н., проректор НИЯУ МИФИ – **заместитель председателя**
- Сенюков В.А., заместитель начальника управления научных исследований – **заместитель председателя**
- Голотюк О.Н., начальник отдела управления научных исследований – **ученый секретарь**
- Айрапетова Н.Г., и.о. директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ
- Беляев В.Н., декан факультета экспериментальной и теоретической физики
- Весна Е.Б., проректор по учебно-методической работе
- Волвенкова Т.В., начальник управления издания литературы
- Глаговский Э.М., директор ИПЯТ НИЯУ МИФИ
- Балашова В.Ю., главный бухгалтер управления бухгалтерского учета  
департамента экономического развития
- Линник О.В., и.о. руководителя СФТИ НИЯУ МИФИ
- Жиганов А.Н., руководитель СТИ НИЯУ МИФИ
- Иванов М.А., заведующий кафедрой компьютерных систем и технологий
- Курнаев В.А., заведующий кафедрой физики плазмы
- Макаров М.В., начальник управления хозяйственного обеспечения
- Мишулина О.А., доцент кафедры кибернетики
- Модяев А.Д., заведующий кафедрой информатики и процессов управления
- Нагорнов О.В., первый проректор
- Нарожный Н.Б., заведующий кафедрой теоретической ядерной физики
- Осипычев Д.В., и.о. начальника департамента информационных технологий
- Петров В.А., начальник управления отраслевого развития
- Першенков В.С., и.о. декана факультета автоматике и электроники
- Путилов А.В., декан факультета управления и экономики высоких технологий,  
начальник центра технологий нуклидных систем
- Савонюк О.А., и.о. начальника управления безопасности
- Сироткина А.Г., руководитель СарФТИ НИЯУ МИФИ
- Стукалова Т.Н., и.о. начальника центра информационно-библиотечного  
обеспечения учебно-научной деятельности
- Тихомиров Г.В., и.о. декана физико-технического факультета

# СОДЕРЖАНИЕ

## КОНФЕРЕНЦИЯ «НАУКА О ЖИЗНИ (ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА)»

### ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

БАЗИНА В.Е., ФЕДЯНИНА А.А. Радиобиологические аспекты ускоренного фракционирования рака шейки матки .....	42
КЛИМАНОВ В.А., МОИСЕЕВ А.Н., МОГИЛЕНЕЦ Н.Н. Развитие модели дифференциального тонкого луча фотонов для терапевтического гамма-аппарата РОКУС .....	42
ПРОКОПЧУК А.А., ГАЛЯУТДИНОВА Ж.Ж. Методика измерения трехмерного дозового распределения при планировании лучевой терапии модулированной интенсивности .....	43
СИРОТА Я.И., АКМАЛОВА Ю.А., ДУБОВ Л.Ю., БЕЛЯЕВ В.Н. Микродозиметрическое моделирование в Geant4-DNA бинарной лучевой терапии с использованием наночастиц золота .....	43
СОКОЛОВСКИЙ С.С., ЛЕЛЯНОВ А.Д., ШТОЦКИЙ Ю.В. Беспроводной мониторинг пациентов с абдоминальной хирургической патологией .....	44
ИСАЙКИНА О.Ю., КУКСА Ю.И., ШИБАЕВ И.Г. Длительный мониторинг артериального давления и пульса: общие характеристики и связь с фоновыми параметрами .....	44
МОСКОВЦЕВ М.В., ТОНОЯН А.С., ФАДЕЕВА Л.М., ПРОНИН И.Н. Исследование головного мозга с помощью метода магнитно-резонансной спектроскопии .....	45
ЛАБЕКО Н.Н., КЛЕЙНЕР А.Р., ТОНОЯН А.С., ФАДЕЕВА Л.М., ПРОНИН И.Н. Исследование гемодинамики головного мозга методом перфузионной магнитно-резонансной томографии .....	45
МЕНЬЩИКОВ П.Е., СЕМЕНОВА Н.А., АХАДОВ Т.А., УБЛИНСКИЙ М.А., ЛЕБЕДЕВА И.С. Измерение уровня основных метаболитов мозга (GABA, GLX) методами протонной МРС у пациентов с ультравысоким риском развития шизофрении .....	46
СМИРНОВА М.О., НОВИКОВ А.С., УЛИН С.Е., ШУСТОВ А.Е. Разработка гамма-детектора для определения экспозиционной дозы при проведении сеанса нейтрон-захватной терапии .....	46
БЕЛЯЕВ В.Н., БЕРДНИКОВА А.К., БОЛОЗДЫНЯ А.И., ДУБОВ Л.Ю., ЗНАМЕНСКИЙ И.А., СОСНОВЦЕВ В.В., ШТОЦКИЙ Ю.В. Возможность использования комптоновской гамма-камеры в тераностике ....	47
ФИЛИППОВ Д.Е., БЕЛЯЕВ В.Н., BESSON D. Моделирование функции пространственного отклика гамма-камеры на кремниевых фотоумножителях .....	47

ТРЕТЬЯКОВА В.В., ПАШКОВИЧ И.И., КАНЦЕРОВ В.А., БЕРДНИКОВА А.К., БОЛОЗДЫНЯ А.И., СОСНОВЦЕВ В.В., ФИЛИППОВ Д.Е., БЕЛЯЕВ В.Н., ARODZERO A.A.	
Экспериментальное определение местоположения «сторожевых» лимфатических узлов .....	48
ГРАЧЁВА А.Ю., ЗАВЬЯЛОВ М.А., ПАВЛОВ Ю.С., ФИЛИППОВИЧ В.П., ПРОКОПЕНКО А.В.	
Радиационное воздействие электронов на модельные среды микроорганизмов.....	48
БАБИНА Д.Д., АНОХИН Ю.Н.	
Некоторые закономерности влияния радиосенсибилизаторов на радиочувствительность клеток.....	49
ЕВСТРАТОВА Е.С., РОМАШКИНА Е.И.	
Радиобиологические основы применения плотноионизирующих излучений в ядерной медицине.....	49
АНОХИН Ю.Н., ПЕТИН В.Г., ЖУРАКОВСКАЯ Г.П., ПРОНКЕВИЧ М.Д.	
Механизмы и оптимизация комбинированных воздействий в ядерной медицине.....	50
АНОХИН Ю.Н., СТЕПАНЕНКО В.Ф., ЗАХАРКИВ А.Ю.	
Дозовые нагрузки в органах животных с опухолями при введении радиофармпрепаратов на основе противоопухолевых антител .....	50
АКУЛИНИЧЕВ С.В., АРТАМОНОВ С.А., ДЕРЖИЕВ В.И., ЧАУШАНСКИЙ С.А.	
Керамический источник на основе иттербия-169 для высокодозовой брахитерапии .....	51
АКУЛИНИЧЕВ С.В., ТЫЧКИН И.С., ДЕРЖИЕВ В.И., ЧАУШАНСКИЙ С.А.	
Источник на основе иттербия-169 для низкодозовой брахитерапии .....	51
КОСМЫНЦЕВА А.В., ДУБОВ Л.Ю., ФОМИН Д.К.	
Моделирование дозовых распределений для внутриволостной брахитерапии при использовании силиконового аппликатора с рением-188.....	52
ТРУХИН А.А., ДУБОВ Л.Ю., ФОМИН Д.К., ШТОЦКИЙ Ю.В., СИРОТА Я.И., ГРОМУШКИНА Е.В.	
Моделирование распределения дозы в суставах при радиотерапии с использованием « <sup>188</sup> Re-Sn-Коллоида».....	52
ПАРКИНА Ф.В., АКМАЛОВА Ю.А., ДУБОВ Л.Ю., ГРОМУШКИНА Е.В., ФЕДОТОВ Ю.А.	
Анализ методов функционализации наночастиц золота для рентген-активационной терапии.....	53
ВОРОБЬЕВА Е.С., АКМАЛОВА Ю.А., ШЕЙНО И.Н., ГОРДЕЕВ А.В., ФЕДОТОВ Ю.А.	
Оценка характеристик рентгеновского спектра установки РУСТ-220 методом снятия кривой ослабления.....	53
БУЯНАЕВА Х.Ц., ШЕЙНО И.Н., ИЖЕВСКИЙ П.В., ГАЛЯУТДИНОВА Ж.Ж., ФЕДОТОВ Ю.А.	
Планирование лучевой терапии в отделении радиотерапии ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.....	54

ПЕТРАКОВ А.В., ФЕДЯЕВ Ю.С. Телеинфравизуализация в системах безопасности .....	54
ПЕТРАКОВ А.В. Телеультравизуализация в системах безопасности.....	55

## **ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МЕДИЦИНЕ И ТЕХНИКЕ**

ДМИТРИЕВА В.В., ДАВЫДОВ М.И., СЕЛЬЧУК В.Ю., НИКИТАЕВ В.Г., ПРОНИЧЕВ А.Н., РАСУЛОВ А.О., КОНОНЕЦ В.П., МЕЛИХОВ С.А., АКИМОВ И.С., АЙДУНБЕКОВ З.М., КАДАШЕВ В.И., ЛАВРОВА А.А., ГОЛОВАНОВА В.К. Новые образовательные технологии при и постдипломной подготовке врачей онкологов.....	58
НИКИТАЕВ В.Г. Распознавание изображений в информационно-измерительных системах гистологической диагностики онкологических заболеваний .....	58
ПРОНИЧЕВ А.Н. Методика калибровки систем компьютерной микроскопии с применением объект-микрометра .....	59
ИСАЕВ Л.К., КУЛЯБИНА Е.В., КУЛЯБИНА Т.В. О создании эталона единицы каталитической активности «КАТАЛ».	59
КУДЕЯРОВ Ю.А., КУЛЯБИНА Е.В. Применение критерия Стьюдента для идентификации веществ при хроматографическом анализе.....	60
ЗЕЛЕНКОВА М.В., КУДЕЯРОВ Ю.А. Методология оценки рисков ложного срабатывания иммунохроматографических тест-систем» .....	60
АСЛАНЯН М.М. Генетический контроль канцерогенеза .....	61
ПРИЛЕПСКАЯ Е.А., КОВЫЛИНА М.В., ПУШКАРЬ Д.Ю., НИКИТАЕВ В.Г., ПРОНИЧЕВ А.Н. Возможности мультимедийных экспертных систем в диагностике рака предстательной железы .....	61
НИКИТАЕВ В.Г., ПУШКАРЬ Д.Ю., ПРОНИЧЕВ А.Н., ПРИЛЕПСКАЯ Е.А., ДМИТРИЕВА В.В., КАЗАДАЕВ В.Ю., КОВЫЛИНА М.В. Автоматизированный анализ микроскопических изображений ацинусов предстательной железы .....	62

ДЖАНГИРОВА Т.В., ШАБАЛОВА И.П., НИКИТАЕВ В.Г., ПРОНИЧЕВ А.Н., ПОЛЯКОВ Е.В., ЗАЙЦЕВ С.М.	
Виртуальные препараты как средство контроля качества цитологической диагностики .....	62
УСКАЛОВА Д.В., САРАПУЛЬЦЕВА Е.И.	
Экспресс-метод компьютерной морфометрии для ранней диагностики электромагнитного воздействия на организм.....	63
БУЗОВЕРЯ М.Э., ШИШПОР И.В., ПРИСТАЛОВА Ю.А.	
Фрактальная параметризация биожидкостей в оценке малых доз .....	63
КОРЕНЕВСКИЙ Н.А., ХРИПИНА И.И., ШУТКИН А.Н., РАЗУМОВА К.В.	
Синтез коллективов нечетких решающих правил для медицинских экспертных систем .....	64
ФИЛИСТ С.А., СТАРОДУБЦЕВА Л.В., ГОВОРУХИНА Т.Н., КОРЕНЕВСКАЯ С.Н.	
Моделирование механизмов взаимодействия внутренних структур организма с поверхностными меридианными структурами.....	64
ИВАНУШКИН Е.Ф., БУДАДИН О.Н., САПРОНЕНКОВ Б.М.	
Неинвазивная скрининг-диагностика и мониторинг состояния спортсменов методом температурной томографии для предупреждения их травмирования и оптимизации физических нагрузок.....	65
НАСЫБУЛЛИНА Э.И., КОСМАЧЕВСКАЯ О.В., ШУМАЕВ К.Б., НИКИТАЕВ В.Г., ТОПУНОВ А.Ф.	
Система поддержки принятия решений при выявлении гемоглобинопатий: постановка задачи .....	65
ТОПУНОВ А.Ф., НАСЫБУЛЛИНА Э.И., ТИМОФЕЕВА А.Я., КОСМАЧЕВСКАЯ О.В., ШУМАЕВ К.Б.	
Множественность гемоглобинов в организме человека и их функциональное разнообразие.....	66
НИКИТАЕВ В.Г., ПРОНИЧЕВ А.Н., ВЛАСОВ В.А., ВЛАСОВА С.В.	
Анализ характеристик информационно-измерительного комплекса гистологической диагностики онкологических заболеваний «Атлант» .....	66
ПОЛЯКОВ Е.В.	
Состояние и перспективы развития систем дифференциальной диагностики лимфоцитов с применением компьютерного анализа микроскопических изображений.....	67
СЕЛЕГЕЙ В.В., ПРОНИЧЕВ А.Н., ПОЛЯКОВ Е.В.	
Определение меры резкости микроскопического изображения.....	67



БОРЩЕВА И.Ю., СЕЛЬЧУК В.Ю., НИКИТАЕВ В.Г., ДМИТРИЕВА В.В. Система расчета нагрузок и моделирования для оценки прочности трансплантатов при пластике бедра.....	68
СОЛОВЬЯНЧИК А.А., СЕЛЬЧУК В.Ю., НИКИТАЕВ В.Г., ДМИТРИЕВА В.В. Предоперационное моделирование импланта при реконструкции нижней челюсти .....	68
НАВОЛЬНЕВ С.О. Программа для анализа цифрового изображения полученного от микроскопа со сверхвысоким разрешением.....	69

## БИОФИЗИКА

БАРТЕНЕВА С.С., <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ПЕТРОВ В.М.</span> , АНДРЕЕВ С.Г. Калибровка биодозиметра для целей прогнозирования эффектов облучения при космических полетах .....	72
ДАНИЛОВА Е.П., ЛЕБЕДЕВА И.С., ТОМЫШЕВ А.С., КАНОНОВИЧ П.С., УБЛИНСКИЙ М.В., СЕМЕНОВА Н.А., АХАДОВ Т.А. Проводящие пути головного мозга на ранних этапах шизофрении.....	72
ВЫШЕГОРОДЦЕВА Т.И., ШЕШЕГОВА Е.В., НАРЦИССОВ Я.Р. Изучение методов исследования синдрома дефицита внимания и гиперактивности на крысах.....	73
КОТОВ С.Ю., ШУБНЫЙ А.Г., ЭЙДЕЛЬМАН Ю.А., АНДРЕЕВ С.Г. Полимерные модели хромосом .....	73
ЛИПУНОВ Н.М., МАТЧУК О.Н., ЗАМУЛАЕВА И.А. Влияние $\gamma$ -излучения на популяцию опухолевых стволовых клеток и процесс эпителиально-мезенхимальной транзиции в культурах линии HeLa и MCF-7 .....	74
МАКАРЕНКО С.А., ЗАМУЛАЕВА И.А., СМИРНОВА С.Г. Влияние фотодинамического воздействия на опухолевые стволовые клетки <i>in vitro</i> .....	74
МАТЧУК О.Н., ЗАМУЛАЕВА И.А. Сравнение выживаемости опухолевых стволовых клеток после действия нейтронного и $\gamma$ -излучения .....	75
ХВОСТУНОВ И.К., ШЕПЕЛЬ Н.Н., КОРОВЧУК О.Н., ГОЛУБ Е.В., НУГИС В.Ю. Совершенствование ретроспективной биодозиметрии по хромосомным абберациям в лимфоцитах крови человека .....	75

ПОДВЯЗНИКОВ Д.А., ШУПЛЕЦОВ М.С., ГОЛУБЕВА Л.И., РУБИНА С.С., МАШКО С.В. Расширение компьютерного инструментария для количественного анализа внутриклеточных метаболических потоков методом <sup>13</sup> C-флюксомики .....	76
РАЗОВА Л.В. Использование теста Колмогорова–Смирнова при математической обработке данных исследования работающих женщин Минатомпрома .....	76
ПУСТОВАЛОВА М.В., ОЗЕРОВ И.В., СМЕТАНИНА Н.М., ГРЕХОВА А.К., ВОРОБЬЕВА Н.Ю., АНДРЕЕВ С.Г., ОСИПОВ А.Н. Количественные и качественные изменения фокусов белков репарации двунитевых разрывов ДНК в фибробластах кожи человека, облученных рентгеновским излучением .....	77
ПЯТЕНКО В.С., ХВОСТУНОВ И.К., ЭЙДЕЛЬМАН Ю.А., АНДРЕЕВ С.Г. Зависимость доза-эффект для радиационно-индуцированной нестабильности хромосом в клетках СНО .....	77
САЛЬНИКОВ И.В., ЭЙДЕЛЬМАН Ю.А., АНДРЕЕВ С.Г. Репарация двунитевых разрывов ДНК, биофизическое моделирование .....	78
ХВОСТУНОВ И.К., КУРСОВА Л.В., ШЕПЕЛЬ Н.Н., КОРОВЧУК О.Н., РАГУЛИН Ю.А. Биологическая дозиметрия локального фракционированного гамма-облучения больных раком легкого .....	78
ЭЙДЕЛЬМАН Ю.А., СЛАНИНА С.В., АНДРЕЕВ С.Г. Теоретическое исследование механизмов формирования дозовой зависимости радиационно-индуцированной хромосомной нестабильности .....	79

## **КОНФЕРЕНЦИЯ «НАНОСТРУКТУРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

### **РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

АРТАМОНОВ А.С., ЧУМАКОВ А.И., ХАРИТОНОВ В.А. Экспериментальные исследования гироскопов в поле импульсной гамма-установки .....	82
ЛЕВИН К.Э., ПЕТРОВ К.А., СТЕНИН В.Я. Элементы кодирования-декодирования данных для статических 28-нм КМОП ОЗУ .....	82

СТЕНИН В.Я., КАТУНИН Ю.В., СТЕПАНОВ П.В. Элементы чтения данных в нестационарном состоянии ячеек памяти при воздействии одиночных ядерных частиц для статических 28-нм КМОП DICE ОЗУ .....	83
ДОМОЖАКОВ Д.А. Методика расчета вероятности возникновения ошибок в высокопроизводительных каналах связи .....	83
КОБЫЛЯЦКИЙ А.В. Особенности конструктивно-топологической реализации синхронных усилителей считывания в КМОП ОЗУ .....	84
АТКИН Э.В., МАЛАНКИН Е.З., НОРМАНОВ Д.Д., ШУМИХИН В.В. Прототипная микросхема считывания и обработки сигналов полупроводниковых детекторов рентгеновского излучения .....	84
НОРМАНОВ Д.Д. Метод и структурная схема обработки непостоянного во времени потока данных с многоканальных детекторов .....	85
ВОЛКОВ Ю.А. К вопросу построения высокочастотных усилителей с минимальным влиянием межкаскадных паразитных реактивностей .....	85
ВОЛКОВ Ю.А. Об основном коэффициенте передачи электронных усилителей .....	86
ВОЛКОВ Ю.А., ИЛБЮЩЕНКО И.И. Тенденции в реализации специализированных микросхем детекторной электроники .....	86
БУЛЬБАКОВ И.С. Проектирование схемы источника опорного напряжения типа bandgap в КМОП-технологии 180 нм .....	87
ГУСЕВ А.В. Модификация и моделирование активного фильтра типа Sallen-Key ..	87
ПАРЫГИН П.П., ПОПОВА Е.В., ГАРУТТИ Э., ШВАНДТ Й. Разработка радиационно-стойких кремниевых фотоумножителей с использованием пакета программ Synopsys TCAD .....	88
МЕТЕЛКИН И.О., УСАЧЕВ Н.А., ЕЛЕСИН В.В., НАЗАРОВА Г.Н. Моделирование эффектов мощности дозы в субмикронных радиочастотных МОП-транзисторах на КНИ-структурах .....	88
АМБУРКИН Д.М., ЕЛЕСИН В.В., НАЗАРОВА Г.Н., ЧУКОВ Г.В. Радиационно-стойкий монолитный КМОП КНИ генератор, управляемый напряжением $L$ -диапазона .....	89

СОТСКОВ Д.И., НАЗАРОВА Г.Н., УСАЧЕВ Н.А., ЧУКОВ Г.В., ЕЛЕСИН В.В., ТЕЛЕЦ В.А.	
Показатели радиационной стойкости ИС-генераторов, управляемых напряжением СВЧ-диапазона .....	89
АМБУРКИН К.М., ЕЛЕСИН В.В., КУЗНЕЦОВ А.Г., САВЧЕНКОВ Д.В., ЧУКОВ Г.В.	
Исследование возможности лазерного моделирования ионизационных эффектов в СВЧ-интегральных схемах на арсениде галлия .....	90
САВЧЕНКОВ Д.В., КУЗНЕЦОВ А.Г., ЯНЕНКО А.В.	
Использование карт ионизационной реакции для оценки сечений SET в СВЧ-смесителях .....	90
ПЕЧЕНКИН А.А., САВЧЕНКОВ Д.В., БОРУЗДИНА А.Б.	
Совместное использование ускорителя ионов и лазерной установки для оценки параметров чувствительности по тиристорному эффекту различных типов блоков СОЗУ, выполненных на одном тестовом кристалле.....	91
ВАСИЛЬЕВ А.Л., ПЕТРОВ А.Г., БОРУЗДИНА А.Б.	
Моделирование повторных сбоев в ОЗУ при воздействии отдельных ядерных частиц.....	91
БОРУЗДИНА А.Б., УЛАНОВА А.В., ЯНЕНКО А.В., НИКИФОРОВ А.Ю.	
Методика определение параметров сбоеустойчивости микросхем СОЗУ со встроенными схемами коррекции информации при воздействии отдельных ядерных частиц.....	92
БОРУЗДИНА А.Б., УЛАНОВА А.В., ГОРБУНОВ М.С., СОГОЯН А.В.	
Влияние температуры среды на чувствительность к эффекту многократных сбоев микросхем СОЗУ при воздействии тяжелых заряженных частиц.....	92
МАРФИН В.А., НЕКРАСОВ П.В., БОБРОВСКИЙ Д.В., КАЛАШНИКОВ О.А.	
Исследование эффекта одиночного функционального прерывания в СБИС микропроцессора с архитектурой ARM11 .....	93
СОРОКОУМОВ Г.С., БОБРОВСКИЙ Д.В., ЧУМАКОВ А.И., ЦЫБИН С.А., БЫСТРИЦКИЙ А.В.	
Проявление эффекта SET в ПЛИС на основе Antifuse-ОЗУ технологии.....	93
СКОРОБОГАТОВ П.К., СОГОЯН А.В., ДАВЫДОВ Г.Г., ЕГОРОВ А.Н., САВЧЕНКОВ Д.В.	
Учет эффектов нанооптики при лазерном моделировании эффектов объемной и локальной ионизации в интегральных схемах с субмикронными проектными нормами.....	94

ШМАКОВ С.Б., БОРУЗДИНА А.Б., УЛАНОВА А.В., СКОРОБОГАТОВ П.К.	
Повышение эффективности применения источников лазерного излучения для определения стойкости КМОП КНИ СБИС к эффектам мощности дозы.....	94
ЧЕРНЯК М.Е., УЛАНОВА А.В., НИКИФОРОВ А.Ю., ШВЕДОВ С.В.	
Деградация темного сигнала ПЗС-матрицы при воздействии гамма-излучения.....	95
ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ И.И., СМОЛИН А.А., НЕКРАСОВ П.В., УЛАНОВА А.В.	
Элементы комплекса экстракции параметров SPICE-моделей транзисторов с учетом дозовых радиационных эффектов .....	95
БОРИСОВ А.Я., ПЕЧЕНКИНА Д.В., БЕЛОВА М.П., БОЙЧЕНКО Д.В.	
Исследование радиационного поведения микросхем стабилизаторов напряжения в активном и пассивном режимах облучения.....	96
БОРИСОВ А.Я., ПЕЧЕНКИНА Д.В., БЕЛОВА М.П.	
Разброс стойкости к дозовым эффектам партий стабилизаторов напряжения ADP3333ARM-3.15R7.....	96
ПЕТРОВ А.Г., СМОЛИН А.А., ЯНЕНКО А.В.	
Радиационные эффекты в микросхемах флэш-памяти на основе ячеек с ловушками заряда.....	97
ЕПИФАНЦЕВ К.А., СКОРОБОГАТОВ П.К., ГЕРАСИМЧУК О.А.	
Анализ влияния температуры окружающей среды на показатели импульсной электрической прочности КМОП-микросхем.....	97
ЛОСКУТОВ И.О., МАРФИН В.А., НЕКРАСОВ П.В.	
Исследование влияния напряжения питания и частоты входных сигналов на радиационную стойкость КМОП логических элементов .....	98
АХМЕТОВ А.О.	
Сравнение методов оценки параметров чувствительности ИС к воздействию протонов космического пространства по одиночным эффектам на основании результатов испытаний ИС на ускорителях ионов .....	98
НОВИКОВ А.А., ЧУМАКОВ А.И., ЯНЕНКО А.В.	
Моделирование изменения параметров чувствительности ИС по одиночным радиационным эффектам с учетом накопленной дозы.....	99
ОЖЕГИН Т.Ю., ПЕЧЕНКИН А.А.	
Оценка влияния защитных компаундов кристаллов корпусированных элементов ЭРИ на результаты оценки стойкости к воздействию тяжелых заряженных частиц .....	99

## МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

ВАТУЕВ А.С., ЕМЕЛЬЯНОВ В.В. Влияние эффективности выхода заряда на величину напряжения пробоя при возникновении SEDR .....	102
ПРОТОПОПОВ Г.А., КОЗЮКОВА О.С., БАЛАШОВ С.В. Результаты анализа измерений элементов бортового сегмента отраслевой системы мониторинга.....	102
ПЕРШЕНКОВ В.С. Возможная физическая модель отсутствия ELDRS эффекта в SiGe биполярных транзисторах .....	103
ВАСИЛЬЕВ В.К., БЕЛЯКОВ В.В., ГОЛОВИН А.В., МАЛКИН Е.К., ИВАНОВ И.А., ЛИПАТОВ Д.Ю. Моделирование траекторий движения заряженных частиц в дрейфовой трубке спектрометра ионной подвижности для обнаружения аварийно химически опасных веществ .....	103
БАКИРОВ Л.Р., АНАШИН В.С., КОЗЮКОВ А.Е., ЗЕБРЕВ Г.И., ИВАНОВ Е.М., ЩЕРБАКОВ О.А., ВОРОБЬЕВ А.С. Особенности и результаты испытаний статических ОЗУ на стойкость к воздействию естественных нейтронных потоков и высокоэнергетических протонов космического пространства .....	104
КОЗЮКОВ А.Е., АРТЕМЬЕВ К.А., КОРОЛЕВ В.С., ЗЕБРЕВ Г.И. Методы и средства радиационных испытаний отечественных микроконтроллеров 1874BE05T и 1830BE32U .....	104
ЧУБУНОВ П.А., ЯКОВЛЕВ С.А. Особенности регистрации тиристорного эффекта в КМОП-приемопередатчиках .....	105
ЧУБУНОВ П.А., ЯКОВЛЕВ С.А., ВЛАСОВ А.В. Результаты испытаний КМОП-фотоприемника на стойкость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства.....	105
ГОРБУНОВ М.С., АНТОНОВ А.А., ДОЛОТОВ П.С. Определение оптимальной конфигурации сбоеустойчивой кэш-памяти микропроцессоров с точки зрения быстродействия .....	106
ЗЕБРЕВ Г.И., ЗЕМЦОВ К.С., ЕМЕЛЬЯНОВ В.В., ВАТУЕВ А.С. Распределение кратности множественных сбоев при воздействии тяжелых ионов как результат флуктуаций энерговыведения – страгглинга .....	106
ПЕРЕБЕЙНОС А.В., ЧУБУНОВ П.А., ЯКОВЛЕВ С.А., ЯСТРЕБОВ А.Т. Особенности дозовых испытаний ЭКБ с использованием пучков электронов .....	107

ВАХНЕНКО М.С., КОМЛЕВА В.А. Исследование кремний-германиевых биполярных транзисторов на воздействие эффектов низкой интенсивности.....	107
ШАГУРИН И.И., ЖИХАРЕВ Г.Ю., ИВАНОВ П.Ю. Аппаратные средства реализации алгоритмов хеширования для использования в составе СнК.....	108
ЛЕБЕДЕВ А.А., НАЗАРЕНКО А.Е., КОМЛЕВ А.А. Наносекундный компаратор напряжения, устойчивый к воздействию ТЗЧ.....	108
МАКАРОВА Н.В., ШАЛТАЕВА Ю.Р., МАЛКИН Е.К. Моделирование газовых потоков спектрометра ионной подвижности.....	109
МАЛКИН Е.К. Моделирование газовых потоков в устройстве отбора пробы спектрометра ионной подвижности.....	109
МАТУСКО М.А., ГРОМОВ Е.А., БЕЛЯКОВ В.В., ЛИПАТОВ Д.Ю. Реализация универсальной системы индикации и управления на основе графического и ARM контроллеров.....	110
МИРОНОВ А.С., БЕЛЯКОВ В.В., ГОЛОВИН А.В. Разработка устройства термотренировки узла пробоотбора спектрометра ионной подвижности.....	110
САРЫЧЕВА Н.О., ШАЛТАЕВА Ю.Р., МАТУСКО М.А., БЕЛЯКОВ В.В. Разработка микроконтроллерного устройства дублирования SD Flash накопителей.....	111
ШАЛТАЕВА Ю.Р., БЕЛЯКОВ В.В., МАЛКИН Е.К. Исследование стабильности уровня заряда ионов в спектрометре ионной подвижности.....	111
СОЛОМАТИН А.В., БАКЕРЕНКОВ А.С., РОДИН А.С., ФЕЛИЦЫН В.А. Экспериментальное исследование влияния температурного и электрического режимов операционных усилителей при испытаниях на стойкость к воздействию ионизирующего излучения средней и высокой интенсивности.....	112
СОЛОМАТИН А.В., БАКЕРЕНКОВ А.С., ФЕЛИЦЫН В.А., РОДИН А.С. Разработка метода определения и контроля температуры кристалла ИМС при испытаниях на стойкость к воздействию ионизирующего излучения по дозовым эффектам.....	112
РОДИН А.С., БАКЕРЕНКОВ А.С., СОЛОМАТИН А.В., МИРОШНИЧЕНКО А.Г. Разработка автоматизированной системы измерения электрических параметров аналоговых интегральных микросхем при испытаниях на стойкость к воздействию ионизирующего излучения по дозовым эффектам.....	113

ФЕЛИЦЫН В.А., БАКЕРЕНКОВ А.С. Использование технологии Ethernet для автоматизации процесса радиационных испытаний интегральных микросхем на ускорителе частиц.....	113
САМОТАЕВ Н.Н., ИВАНОВА А.В., ОБЛОВ К.Ю., СОЛОВЬЕВ С.А., АЗАРОВА А.В., СУШКО Д.В. Технология нанесения металлизации методом лазерного спекания микропорошков.....	114
САМОТАЕВ Н.Н., ИВАНОВА А.В., ОБЛОВ К.Ю., СОЛОВЬЕВ С.А., АЗАРОВА А.В., СУШКО Д.В., ВАСИЛЬЕВ А.А. Получение микронагревателей на основе лазерной микрообработки оксида циркония.....	114
САМОТАЕВ Н.Н., СОЛОВЬЕВ А.Ю., ИВАНОВА А.В., ОБЛОВ К.Ю., СОЛОВЬЕВ С.А., СУШКО Д.В., ВАСИЛЬЕВ А.А. Совместное моделирование тепловых и электрических характеристик микронагревателя.....	115
ОРЕШКОВ П.Н. Сравнение спектров излучения моделирующих источников (Sr-Y, Co и <sup>137</sup> Cs) и спектра электронов космического излучения.....	115
БОЧАРОВ Ю.И., БУТУЗОВ В.А., СИМАКОВ А.Б. Многоканальная БИС для аналоговой обработки сигналов кремниевых ФЭУ.....	116
КОЗЛОВСКИЙ Д.В., ТИХОНОВ Ю.Н. Разработка встроенного программного обеспечения для контроллеров автоматизации ТПТС-НТ.....	116
ДЕМЕНТЬЕВ В.В. Функциональная модель процессора NM6407.....	117
ШАГУРИН И.И., ШЕВЧЕНКО П.А., ЦИГОРЕВ Л.А. Оценка возможности применений схмотехнических методов повышения стойкости СБИС МИВЭМ к воздействию специальных факторов.....	117
ПОДЛЕПЕЦКИЙ Б.И. Влияние электрических режимов на радиационную чувствительность датчиков водорода с МДП-транзисторными элементами.....	118
НИКИФОРОВА М.Ю., ШИШКИН С.Р. Исследование влияния гамма-излучения на вольт-амперные характеристики ррп-диодов.....	118
ПЕТРОСЯНЦ К.О., КОЖУХОВ М.В. Моделирование с помощью системы TCAD влияния нейтронного и протонного излучений на характеристики биполярных транзисторов.....	119



ПЕТРОСЯНЦ К.О., ПОПОВ Д.А. Исследование дозовой и температурной деградации параметров 45 нм КНИ МОПТ структуры с high-k диэлектриком .....	119
ПЕТРОСЯНЦ К.О., КОЖУХОВ М.В., ХАРИТОНОВ И.А., САМБУРСКИЙ Л.М. Особенности экстракции параметров схемотехнических SPICE-моделей биполярных и МДП-транзисторов с учётом влияния суммарной поглощённой дозы.....	120
ГАЛИМОВ А.М., ДРОЗДЕЦКИЙ М.Г., ЗЕБРЕВ Г.И. Конкуренция между эффектами ELDRS и временного термического отжига при облучении биполярных приборов.....	120
ДРОЗДЕЦКИЙ М.Г., ГАЛИМОВ А.М., ЗЕБРЕВ Г.И. Моделирование радиационного выхода заряда в полевых окислах при низких температурах .....	121
ГАНЗБУРГ М.Ф., ЛЕОНТЬЕВ Л.И., ЕЛУШОВ И.В. Перспективы использования высоковольтной ЭКБ на базе SiC в космических аппаратах с ядерной установкой.....	121
ШУРЕНКОВ В.В. Эффекты воздействия электромагнитного импульса на полупроводниковые структуры .....	122
ВЕСЕЛОВ Д.С., ВОРОНОВ Ю.А. Применение высокотемпературного отжига для модификации свойств диэлектрических мембранных плёнок .....	122

## МОЩНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРОФИЗИКА

РОДИОНОВ А.А., ОГИНОВ А.В., ШПАКОВ К.В. Угловое распределение и временная зависимость излучений атмосферного разряда установки ЭРГ .....	124
АЛФЕРОВ Д.Ф., АХМЕТГАРЕЕВ М.Р., БУДОВСКИЙ А.И., ЕВСИН Д.В., ФИШЕР Л.М. Быстродействующие вакуумные выключатели постоянного и переменного тока для резистивного сверхпроводникового ограничителя тока .....	124
ГРАБОВСКИЙ Е.В., ЛОТОЦКИЙ А.П., ГРИБОВ А.Н., ЛЬВОВ Е.И., ЛЬВОВ Н.Е. Высоковольтный источник электропитания для электрофизической установки .....	125
ДОЛГОВ А.Н., ПРОХОРОВИЧ Д.Е. Особенности корпускулярной эмиссии из плазмы сильноточного Z-пинчевого разряда.....	125

АХМЕТГАРЕЕВ М.Р., ИВАНОВ В.П., МЕНАХИН Л.П., СИДОРОВ В.А. Высоковольтный сильноточный коммутатор на основе РВУ .....	126
МАРКОВ В.Г., КАНЬШИН И.А., ПРОХОРОВИЧ Д.Е., САДИЛКИН А.Г. Диагностический комплекс для измерения параметров корпускулярных потоков в ускорительных нейтронных трубках .....	126
ЧУРИН С.В., ЩИТОВ Н.Н. Метод повышения ресурса работы малогабаритных генераторов нейтронов .....	127
ГАЛАНИН М.П., КРЫЛОВ М.К., ЛОТОЦКИЙ А.П., РОДИН А.С. Моделирование контактного взаимодействия алюминиевого лайнера с твердой преградой .....	127
БЫКОВ Ю.А., КРАСТЕЛЕВ Е.Г., ПОПОВ Г.В., СЕДИН А.А., ФЕДУЩАК В.Ф. Конденсаторно-коммутаторная сборка из пакетов конденсатора ИК-50-3 .....	128
СУХАНОВА Л.А., ХЛЕСТКОВ Ю.А. Численная модель формирования тороидального сильноточного релятивистского пучка .....	128
БЫКОВ Ю.А., КРАСТЕЛЕВ Е.Г., СЕДИН А.А. Разработка усовершенствованных искровых газовых разрядников для ГИН мобильного комплекса молниевых испытаний .....	129
СУХАНОВА Л.А., ХЛЕСТКОВ Ю.А. Моделирование динамики сильноточного релятивистского пучка в диоде с магнитной изоляцией методом конечных разностей и методом крупных частиц .....	129
БИТУЛЕВ А.А., МАСЛЕННИКОВ С.П., СТЕПАНОВ Д.С., ЧУРИН С.В., ШКОЛЬНИКОВ Э.Я., ЩИТОВ Н.Н., ЮРКОВ Д.И. Повышение эффективности источников ионов вакуумных нейтронных трубок .....	130
КЛАДКО С.Г., МАСЛЕННИКОВ С.П., СТЕПАНОВ Д.С., ЧЕБОТАРЕВ А.В., ШКОЛЬНИКОВ Э.Я. Изучение электроэрозионных процессов в области катодного пятна импульсной вакуумной дуги в электродной системе из дейтерида циркония .....	130

### **ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ДЛЯ СВЧ, СИЛОВОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ: ФИЗИКА, ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИБОРЫ**

БЕЗОТОСНЫЙ В.В., КРОХИН О.Н., ОЛЕЩЕНКО В.А., ПЕВЦОВ В.Ф., ПОПОВ Ю.М., ЧЕШЕВ Е.А. Тепловой режим мощных лазерных диодов .....	132
--	-----

БЕЗОТОСНЫЙ В.В., ГОРБУНКОВ М.В., КОРОМЫСЛОВ А.Л., КРОХИН О.Н., ТУНКИН В.Г., ЧЕШЕВ Е.А. Генерация когерентного импульсно-периодического излучения высокой спектральной яркости терагерцового диапазона спектра ....	132
КОЗЛОВСКИЙ В.И., МОРОЗОВ Ю.А., МОРОЗОВ М.Ю. ОПГ с внутривибраторной накачкой полупроводниковым дисковым лазером на основе GaSb (проект) .....	133
СИМАКОВ А.С., НУРИЕВ А.В., МОРОЗОВ А.А., ИВАНОВ В.И. Формирование органических электролюминесцентных структур для применения в современных приборах отображения .....	133
АРАПОВ Ю.Г., ГУДИНА С.В., САВЕЛЬЕВ А.П., НЕВЕРОВ В.Н., ШЕЛУШНИНА Н.Г., ЯКУНИН М.В., ВАСИЛЬЕВСКИЙ И.С., ВИНИЧЕНКО А.Н. Токовый скейлинг и универсальность критических индексов в квантовом эффекте Холла в наногетероструктурах $n$ -InGaAs/InAlAs.....	134
СИБИРМОВСКИЙ Ю.Д., ВАСИЛЬЕВСКИЙ И.С., ВИНИЧЕНКО А.Н., ЕРЕМИН И.С., КОЛЕНЦОВА О.С., ЖИГУНОВ Д.М., МАРТЮК П.А., КАРГИН Н.И., СТРИХАНОВ М.Н. Уровни энергии и излучательные переходы в квантовых кольцах GaAs/AlGaAs.....	134
КОЗЛОВСКИЙ В.И., ИВАНОВ С.В., ЖМЕРИК В.Н., НЕЧАЕВ Д.В. Источник среднего УФ диапазона на основе гетероструктуры AlGaIn с накачкой электронным пучком.....	135
ВАСИЛЬЕВСКИЙ И.С., ЕРЕМИН И.С., КОЛЕНЦОВА О.С., КАРГИН Н.И., ВИНИЧЕНКО А.Н. Изучение влияния параметров CAP-слоя, рецесса и относительных размеров затвора на характеристики pHEMT-транзистора в программной среде Sentaurus.....	135
МИННЕБАЕВ С.В., БАКУН А.Д. Исследование метода создания затвора с топологическими нормами 0,3 мкм формированием «пристенка».....	136
ВАНЮХИН К.Д., ЗАХАРЧЕНКО Р.В., РЫЖУК Р.В., ШОСТАЧЕНКО С.А. Исследование процессов формирования омических контактов к гетероструктуре AlGaIn/GaN.....	136
ЕЛЕСИН В.Ф. К теории прохождения тока через идеальный изолятор.....	137
ГРИШАКОВ К.С., ЕЛЕСИН В.Ф., КАРГИН Н.И., РЫЖУК Р.В., МИННЕБАЕВ С.В. Уменьшение саморазогрева GaN HEMT с помощью распределителей тепла на основе алмазной и графеновой пленок.....	137

# КОНФЕРЕНЦИЯ «ПЛАЗМЕННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»

## ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

ГУЗЕЕВ В.В., КАЛАЕВ М.Е., СЕМЕНОВ С.С., ЦИРКУНОВ П.Т. О возможности бескислородной плазменной конверсии алканов в условиях барьерного разряда .....	140
КУЗНЕЦОВ А.Ю. Теоретический анализ процессов в плазменном диоде с осциллирующими дейтронами .....	140
КРАШЕВСКАЯ Г.В., ЦВЕНТУХ М.М., ПРИШВИЦЫН А.С. Изучение устойчивости плазмы в конфигурации со знакопеременной кривизной магнитного поля .....	141
БАРМИНОВА Е.Е., ЧИХАЧЕВ А.С. Развитие неустойчивости Пирса–Бунемана в системе экстракции источника отрицательных ионов.....	141
МЕЩЕРЯКОВА Е.А., ЗИБРОВ М.С., ХОДАЧЕНКО Г.В., КАЗИЕВ А.В. Исследование параметров плазмы высокочастотного индукционного разряда методами зондов Ленгмюра и оптической эмиссионной спектроскопии .....	142
БОРИСЮК Ю.В., ПИСАРЕВ А.А., ХОДАЧЕНКО Г.В., РЯБЦЕВ С.А., КРАШЕВСКАЯ Г.В., КАЗИЕВ А.В., ТУМАРКИН А.В. Режимы горения аномального тлеющего разряда внутри трубок с аспектным отношением 8-40 .....	142
ТУМАРКИН А.В., КАЗИЕВ А.В., ИЛЬИЧЕВ И.В., КОЛОДКО Д.В., ХОДАЧЕНКО Г.В. Осаждение покрытий из меди импульсным магнетроном с расплавленным катодом .....	143
ХАРЬКОВ М.М., КАЗИЕВ А.В., ТУМАРКИН А.В., ХОДАЧЕНКО Г.В. Свойства покрытий из меди и титана, получаемых с помощью сильноточного импульсного магнетронного разряда.....	143
СТЕПАНЕНКО А.А., ЖДАНОВ В.М. Коэффициенты переноса электронов в молекулярной и атомарной плазме с учетом неупругих столкновений.....	144
ПОПОВ В.Д., ГУТОРОВ К.М., СОРОКИН И.А. Исследование топологии магнитного поля автоколебательного разряда.....	144
СОРОКИН И.А., ВИЗГАЛОВ И.В., ГУТОРОВ К.М., ПОДОЛЯКО Ф.С. О возможности диагностики микротечей воды с помощью автоколебательного разряда.....	145

СОРОКИН И.А., ВИЗГАЛОВ И.В.	
In-situ анализ ионного состава замагниченной плазмы .....	145
ГАВРИКОВ А.В., ЛИЗЯКИН Г.Д., СМИРНОВ В.П., УСМАНОВ Р.А.	
Провисание потенциала на оси отражательного разряда в гелии .....	146
АНТОНОВ Н.Н., ВОРОНА Н.А., ГАВРИКОВ А.В.,	
САМОХИН А.А., СМИРНОВ В.П.	
Разработка источника плазмы модельного вещества	
для обработки метода плазменной сепарации .....	146
АНАНЬИН О.Б., БАШУТИН О.А., БОГДАНОВ Г.С., ВОВЧЕНКО Е.Д.,	
ГЕРАСИМОВ И.А., ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., МЕЛЕХОВ А.П.,	
САВЕЛОВ А.С., РАЕВСКИЙ И.Ф., ФИЛИПШОВ Е.Д.	
Интерферометрическая система для визуализации	
быстропротекающих процессов с лазерной плазмой .....	147
ИГНАТЬЕВ Н.Г., КРАПИВА П.С., ИВАНОВ М.И., БОГОМОЛОВ В.И.,	
СВЕТЛОВ Е.В., НЕСТЕРЕНКО А.О., КОРОТКОВ К.Е.,	
МОСКАЛЕНКО И.Н., ЖУКОВ П.А., СУББОТИНА И.А.	
Аппаратура для диагностики плазмы мишени	
мощной лазерной установки .....	147
БАЛОВНЕВ А.В., ГРИГОРЬЕВА И.Г., ДОДУЛАД Э.И.,	
САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х.	
Исследование рентгеновского излучения плазмы, образованной	
в сильноточных импульсных электрических разрядах.....	148
БАЛОВНЕВ А.В., ВОВЧЕНКО Е.Д., ГРИГОРЬЕВА И.Г.,	
ДОДУЛАД Э.И., САВЕЛОВ А.С., САЛАХУТДИНОВ Г.Х.	
Источники рентгеновского излучения и ионной эмиссии	
в плазме сильноточного электрического разряда .....	148
ХИЛЬКО М.В., ВОЛКОВ Г.С.	
Измерение размеров излучающей области сильноточного Z-пинча	
в диапазоне энергий квантов мягкого рентгеновского излучения .....	149
КОЛОДКО Д.В., МАМЕДОВ Н.В., СИНЕЛЬНИКОВ Д.Н.,	
ХОДАЧЕНКО Г.В.	
Создание источника газовых и металлических ионов	
для нанесения тонких пленок.....	149
ДОДУЛАД Э.И., КОСТЮШИН В.А., САВЕЛОВ А.С.	
Определение плотности плазмы, эмитируемой разрядом типа	
сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра,	
с помощью комплексной корпускулярной диагностики .....	150
САРАНЦЕВ С.А.	
Оценки давления плазмы сильноточной низкоиндуктивной	
вакуумной искры на поверхность катода.....	150

САРАНЦЕВ С.А., ДВОЕГЛАЗОВ Я.М., РАЕВСКИЙ И.Ф. Влияние величины разрядного тока сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры на размеры субмикронной структуры на поверхности электродов .....	151
САРАНЦЕВ С.А., РАЕВСКИЙ И.Ф. Влияние материала электродов на эмиссионные свойства низкоиндуктивной вакуумной искры.....	151
САРАНЦЕВ С.А. Модель формирования поверхностной структуры катода при взаимодействии с потоками плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры.....	152
ДВОРНОВА А.А., ГЕРАСИМОВ С.Н., ХАВЛИЧЕК Й., ХРОНОВА О., ПАНЕК Р. Траектории 3D асимметрий тока во время срывов.....	152

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ**

АГРАФОНОВ Ю.В., ЗЕЛЕНЦОВ Н.А., ПЕТРУШИН И.С. Поверхностные явления в жидкостях .....	154
АЛЕКСЕЕВ П.А., НЕМКОВСКИЙ К.С., МЕНУШЕНКОВ А.П., ЯРОСЛАВЦЕВ А.А., КОЗЛЕНКО Д.П. Сосуществование дальнего магнитного порядка и спиновых флуктуаций в валентно-нестабильных сильнокоррелированных системах.....	154
АНДРЮЩЕНКО Е.А., ГОРДОВА Т.В., ДЮБУА А.Б., КУЧЕРЯВЫЙ С.И., МАШНИНА С.Н., САФОШКИН А.С. Электрон-электронные взаимодействия в сильнолегированном гетеропереходе $Al_xGa_{1-x}/GaAs$ .....	155
БАРКАЛОВ К.Е., ДЕГТЯРЕНКО П.Н., ШАВКИН С.В., КРУГЛОВ В.С. Исследование явления деляминации ВТСП-2 лент .....	155
БАСКАКОВ А.О., МИНЕЕВ Н.А., РУДНЕВ И.А. Анизотропия критических токов ВТСП лент второго поколения во внешнем магнитном поле .....	156
БЕЗОТОСНЫЙ П.И., ГАВРИЛКИН С.Ю., ЛЫКОВ А.Н., ЦВЕТКОВ А.Ю. Расчет параметров сверхпроводящего состояния пластин толщиной порядка длины когерентности $\xi$ в рамках теории Гинзбурга–Ландау.....	156
БЕСЕДИН И.С., ДЖИГАЕВ Д.А., ШАБАЛИН А.Г., ГОРОБЦОВ О.Ю., КУРТА Р.П., МЕЙЕР Я.-М., ПЕТУХОВ А., ЗОЗУЛЯ А.В., ШПРУНГ М., МЕНУШЕНКОВ А.П., ВАРТАНЬЯНЦ И.А. Рентгеновская птайкография коллоидных кристаллов.....	157

БЛУДОВА А.И., СТОЯКИН В.В. Метод определения локальной плотности тока в ВТСП лентах 2-го поколения.....	157
БОЖКО А.Д. Особенности электронного транспорта в металл-углеродных нанокompозитах.....	158
БОЖКО С.И., ИОНОВ А.М., ПРОТАСОВА С.Г., СМИРНОВ А.А., ЧЕКМАЗОВ С.В. Аномальное поведение сурьмы при ионном травлении.....	158
БОЖКО С.И., КСЁНЗ А.С., ИОНОВ А.М. Моделирование роста nanoостровка свинца в приближении теории функционала плотности.....	159
БОЛДЫРЕВ К.Н., ПОПОВА М.Н., СТАНИСЛАВЧУК Т.Н., МАЛКИН Б.З., ГУДИМ И.А. Длинноволновая и оптическая спектроскопия мультиферроика $\text{EuFe}_3(\text{VO}_3)_4$ .....	159
ВАРТАНЬЯНЦ И.А. Когерентные свойства источников синхротронного излучения и рентгеновских лазеров на свободных электронах.....	160
ГАЙНАНОВ Б.Р., ГЕОНДЖИАН А.Ю., АЛЕКСЕЕВ П.А., ЯРОСЛАВЦЕВ А.А., МЕНУШЕНКОВ А.П., BAUDELET F., NATAF L. Исследование валентного состояния европия в соединении $\text{EuCu}_2\text{Ge}_2$ под высоким давлением.....	160
ГЕОНДЖИАН А.Ю., ЯРОСЛАВЦЕВ А.А., МЕНУШЕНКОВ А.П., BAUDELET F., NATAF L. XANES спектроскопия магнитных арсенидов кобальта ( $\text{RCO}_2\text{As}_2$ ) ...	161
ГЛУШКОВ В.В., АНИСИМОВ М.А., БОГАЧ А.В., КУЗНЕЦОВ А.В., САННИКОВ И.И., БАЙБАКОВ Р.Ф., ДУХНЕНКО А.В., ЛЕВЧЕНКО А.В., ФИЛИПОВ В.Б., ДЕМИШЕВ С.В., СЛУЧАНКО Н.Е. Колоссальное магнитосопротивление в $\text{Eu}_{1-x}\text{Ca}_x\text{V}_6$ .....	161
ДЕГТЯРЕНКО Н.Н. Моделирование кластеров немолекулярного азота в оболочке.....	162
ДОБРЕЦОВА Е.А., БОЛДЫРЕВ К.Н. Эффекты кристаллического поля в кристаллах $\text{NdM}_3(\text{VO}_3)_4$ ( $M = \text{Al}, \text{Ga}, \text{Cr}$ ).....	162
ЗАЛУЖНЫЙ И.А., КУРТА Р.П., СУЛЬЯНОВА Е.А., ГОРОБЦОВ О.Ю., ШАБАЛИН А.Г., ЗОЗУЛЯ А.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ШПРУНГ М., ОСТРОВСКИЙ Б.И., ВАРТАНЬЯНЦ И.А. Исследования структуры жидких кристаллов с дальним ориентационным порядком.....	163

ЗУЕВ В.В., ДЕМИН М.В., РОМАНОВ Р.И., МАЦНЕВ Н.П. Изменения структурно-фазовых и электрофизических характеристик тонкопленочного сенсора Pt/WO <sub>x</sub> /6H-SiC под воздействием водорода.....	163
ИВАНОВ В.Г., ЧЕРНЫШЕВА О.В., МЕНУШЕНКОВ А.П. EXAFS-исследование локальной неоднородности структуры сверхпроводящих халькогенидов железа.....	164
ИЛЬИНА К.Б., БОЙКОВА А.С., МАРЧЕНКОВА М.А., САМЫГИНА В.Р., ТЕРЕЩЕНКО Е.Ю. Исследование влияния поверхности твердых подложек на процесс кристаллизации лизоцима.....	164
КАБАНОВА В.А., МЕНУШЕНКОВ А.П., ПОПОВ В.В., ЗУБАВИЧУС Я.В., КУЛИК Э.С. Образование и эволюция локальной и кристаллической структуры соединений, образующихся в системе Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -HfO <sub>2</sub> .....	165
КАШУРНИКОВ В.А., КРАСАВИН А.В. Зонная структура сверхпроводников на основе FeAs.....	165
КАШУРНИКОВ В.А., МАКСИМОВА А.Н., РУДНЕВ И.А. Намагниченность слоистых ВТСП с протяженными ферромагнитными дефектами.....	166
КАШУРНИКОВА О.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ПОПОВ В.В., ПЕТРУНИН В.Ф., ЯРОСЛАВЦЕВ А.А., ЗУБАВИЧУС Я.В., ВЕЛИГЖАНИН А.А., ЧЕРНИКОВ Р.В. Модели катионного упорядочения нанопорошков сложных оксидов Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -MeO <sub>2</sub> (Ln=Dy,Gd; Me=Hf,Zr) по данным синхротронных исследований.....	166
КОКАРЕВ С.А., БОЛДЫРЕВ К.Н. Штарковская структура и спектры люминесценции EuM <sub>3</sub> (VO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (M = Al, Ga, Cr).....	167
КОРОТКОВ В.С. Импульсно-намагничиваемый гибридный магнит на основе массивных ВТСП: последние достижения.....	167
КРИВОБОК В.С., ЧЕНЦОВ С.И., ЧЕРНОПИЦСКИЙ М.А. Дефекты в тонких пленках Zn(S)Se/GaAs.....	168
КУДАСОВ Ю.Б., МАКАРОВ И.В., МАСЛОВ Д.А., ПЛАТОНОВ В.В., ПОПОВ Е.Я., СУРДИН О.М., ФИЛИППОВ А.В. Исследование циклотронного резонанса в полупроводниках в магнитном поле до 50 Тл.....	168
ЛЫМАРЬ А.В., ШУВАЛОВ Д.Б., СЫЧУГОВ В.В., ДЕГТЯРЕНКО П.Н., ШАВКИН С.В. Особенности измерения потерь в ВТСП лентах 2-го поколения .....	169



МАСЛОВ Д.А., КУДАСОВ Ю.Б. Зарядовое упорядочение нестехиометрического соединения $\text{LuFe}_2\text{O}_4$ .....	169
МИРМЕЛЬШТЕЙН А.В. Структурные фазовые переходы со скачком объема в сильно коррелированных $f$ -электронных системах.....	170
МИХАЙЛОВ Б.П., МИХАЙЛОВА А.Б., МИНЕЕВ Н.А., ШАМРАЙ В.Ф., АЛИБЕКОВ С.Я., КРУТСКИХ Н.А., НАСАКИНА Е.О. Влияние условий дозированных механических ударов на сверхпроводящие параметры ВТСП лент .....	170
МОЖЧИЛЬ Р.Н., МЕНУШЕНКОВ А.П., ИОНОВ А.М., БОЖКО С.И., РУМЯНЦЕВА В.Д., ТОЙГУБА А.Л. Исследование РЗМ металлопорфиринов методом XAFS .....	171
МОЛЧАНОВА А.Д., БОЛДЫРЕВ К.Н., ПИСАРЕВ Р.В. Магнитные и структурные особенности монокристаллов $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_6$ и $\text{Co}_3\text{V}_2\text{O}_6$ .....	171
МУРЛИЕВА Ж.Х., ПАЛЧАЕВ Д.К., РАБАДАНОВ М.Х., ФАРАДЖЕВА М.П., АЛИХАНОВ Н.М-Р., ЭМИРОВ Р.М. Свойства нанокристаллического порошка феррита висмута .....	172
НОВИКОВ И.К., ШЕБАНОВ С.М. Эффект улучшения прочностных и баллистических свойств арамидных волокон при электромагнитном воздействии .....	172
ПАЛЧАЕВ Д.К., МУРЛИЕВА Ж.Х., ГАДЖИМАГОМЕДОВ С.Х., РАБАДАНОВ М.Х., ФАРАДЖЕВА М.П., ШАБАНОВ Н.С., ЭМИРОВ Р.М. Структура и свойства наноструктурированных материалов на основе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .....	173
ПРУЧКИНА А.А., ЧЕНЦОВ С.И., ЧЕРНОПИЦСКИЙ М.А. Точечные дефекты в высокочистом $\text{Cd}(\text{Zn})\text{Te}$ .....	173
РОМАНОВ Р.И., ДЕМИН М.В., САВИНОВ В.Д., ФОМИНСКИЙ В.Ю. Получение и исследование каталитических свойств наноструктурированных пленок $\text{MoSe}_x$ .....	174
РУДНЕВ И.А., АБИН Д.А., АЛЕКСЕЕВ М.П., МЕНУШЕНКОВ А.П., МИНЕЕВ Н.А., ОСИПОВ М.А., ПОКРОВСКИЙ С.В. Современные сверхпроводящие токонесящие элементы на основе диборида магния .....	174
РУДНЕВ И.А., МЕНУШЕНКОВ А.П., БЛЕДНОВ А.В., САМОЙЛЕНКОВ С.В., ЧЕПИКОВ В.Н. Магнитные характеристики сверхпроводящих композитов $\text{Y}(\text{Ca})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ .....	175

ФЕДОРОВ А.Н., ОШУРКО В.Б. Два типа гистерезиса ВАХ в нанопористых ионно-обменных мембранах .....	175
САМАРИН А.Н., СЕМЕНО А.В., ЛОБАНОВА И.И., ГЛУШКОВ В.В., САМАРИН Н.А., СЛУЧАНКО Н.Е., ГРИГОРЬЕВ С.В., ДЕМИШЕВ С.В. Электронный спиновый резонанс в $Mn_{1-x}Fe_xSi$ .....	176
САННИКОВ И.И., ИВАНОВ А.А., КУЗНЕЦОВ А.В., МЕНУШЕНКОВ А.П., ЧУРКИН О.А. Энергия активации движения вихрей в пленках $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .....	176
СВИСТУНОВА О.И., ВОЛКОВ П.В., МОРОЗОВ О.В., ШАВКИН С.В. Разработка методики испытаний температурной и полевой зависимости критического тока ВТСП .....	177
ФЕДОРОВ А.Н., ПЕРШИН С.М., БУНКИН А.Ф., ОШУРКО В.Б. О механизме гистерезиса в нанопористых ионно-обменных мембранах для управления химическими реакциями.....	177
СЫЧУГОВ В.В., ШУВАЛОВ Д.Б., ЛЫМАРЬ А.В., ДЕГТЯРЕНКО П.Н. Влияние магнитных полей различной ориентации на токонесящую способность ВТСП-2 лент .....	178
ЧЕКМАЗОВ С.В., БОЖКО С.И., СМИРНОВ А.А., ИОНОВ А.М. СТМ/СТС исследование поверхности Sb (111) .....	178
ШУВАЛОВ Д.Б., СЫЧУГОВ В.В., ЛЫМАРЬ А.В., ДЕГТЯРЕНКО П.Н., ШАВКИН С.В. Влияние деформации изгиба и переменного температурного воздействия на параметры ВТСП-2.....	179

## ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА

ЧИЖОВ П.А., БУКИН В.В., ГАРНОВ С.В. Интерферометрия в диагностике фемтосекундной лазерной плазмы.....	182
МИХАЙЛЮК А.В., КУЗНЕЦОВ А.П., ГУБСКИЙ К.Л. Моделирование и расчет оптической схемы квадратурно-дифференциального неравноплечного интерферометра .....	182
БУХАРИН М.А., ХУДЯКОВ Д.В., ВАРТАПЕТОВ С.К. Исследование профиля показателя преломления, индуцированного фемтосекундными импульсами в фосфатном стекле с неодимом, для целей создания гибридных световедущих структур .....	183
ЦЫГАНКОВ Е.А., ЗИБРОВ С.А., ЯКОВЛЕВ В.П., ВЕЛИЧАНСКИЙ В.Л., КОЗЛОВ А.Н. Уединённая линия двойного радиооптического магнитного резонанса в атомах $^{87}Rb$ .....	183

ДАНИЛОВ П.А., ЗАЯРНЫЙ Д.А., ИОНИН А.А., КУДРЯШОВ С.И., МАКАРОВ С.В. Фемтосекундная лазерная генерация и фрагментация наночастиц твердых материалов.....	184
БОРОДКИН А.А., ХУДЯКОВ Д.В., ЛОБАЧ А.С., ВАРТАПЕТОВ С.К. Определение параметров оптического насыщения пленочных композитов с ОУН и графеном для режима импульсной генерации волоконных лазеров .....	184
АКМАЛОВ А.Э., ДУБКОВА О.И., КОТКОВСКИЙ Г.Е., ЧИСТЯКОВ А.А. Исследование десорбции следовых количеств взрывчатых веществ лазерным излучением.....	185
ПИРОГ В.А., КОШКИН Д.С., ГУБСКИЙ К.Л., КУЗНЕЦОВ А.П. Автоматизированный лазерный многоканальный диагностический комплекс для исследований процессов ударно-волнового нагружения в физике высоких плотностей энергий.....	185
АНДРЕЕВ А.О., БУЖИНСКИЙ О.И., ГУБСКИЙ К.Л., КАЗИЕВА Т.В., КУЗНЕЦОВ А.П., САВЧЕНКОВ А.В., ТУГАРИНОВ С.Н. Система лазерной очистки диагностических зеркал ИТЭР.....	186
ЗАЯРНЫЙ Д.А., ИОНИН А.А., КУДРЯШОВ С.И., МАКАРОВ С.В., ЮРОВСКИХ В.И. Механизмы формирования суб- и микромасштабных отверстий в тонких металлических пленках под действием одиночных нано- и фемтосекундных лазерных импульсов.....	186
БУДИЛОВА О.В., ИОНИН А.А., КИНЯЕВСКИЙ И.О., КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А., САФОНОВ Д.А. Генерация второй гармоники и разностной частоты в нелинейных кристаллах $ZnGeP_2$ и $GaSe$ .....	187
БУДИЛОВА О.В., ИОНИН А.А., КИНЯЕВСКИЙ И.О., КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А., САФОНОВ Д.А. Преобразование излучения молекулярных лазеров в нелинейных кристаллах в диапазон от $\sim 3$ до $\sim 17$ мкм.....	187
КОТКОВСКИЙ Г.Е., ОДУЛО И.П., ЧИСТЯКОВ А.А. Применение пикосекундного лазера в составе дрейф-спектрометра для детектирования взрывчатых веществ .....	188
РЫЖКОВА А.В., ПРОТАСОВ Е.А. Магниторезонансная протонная пульсометрия как метод исследования биологических объектов IN VIVO .....	188
ЛОСЕВ С.С., СЕВОСТЬЯНОВ Д.И., ВАСИЛЬЕВ В.В., ВЕЛИЧАНСКИЙ В.Л. Изготовление миниатюрных ячеек с атомами рубидия для малогабаритных атомных часов .....	189

ДЕРЕВЯШКИН С.П., ИОНИН А.А., КИНЯЕВСКИЙ И.О., КЛИМАЧЕВ Ю.М., КОЗЛОВ А.Ю., КОТКОВ А.А.	
Динамика поглощения в содержащих оксид азота газовых смесях, возбуждаемых импульсным разрядом .....	189
ЛОСЕВ С.С., СЕВОСТЬЯНОВ Д.И., ВАСИЛЬЕВ В.В., ВЕЛИЧАНСКИЙ В.Л.	
Диодный лазер с внешним резонатором повышенной устойчивости к механическим воздействиям и его спектральные характеристики..	190
ПРОТАСОВ Е.А., ПРОТАСОВ Д.Е., РЫЖКОВА А.В.	
Лазерный поляриметр для измерения оптической активности биологических объектов.....	190
КИРЕЕВ С.В., ШНЫРЁВ С.Л., СУГАНЕЕВ С.В., ЕФИМОВА А.Е.	
Разработка лазерно-флуоресцентного он-лайн способа детектирования изотопологов молекулярного йода в газах на базе лазера на парах меди.....	191
ЕВТИХИЕВ Н.Н., СТАРИКОВ Р.С., ШАУЛЬСКИЙ Д.В., ЗЛОКАЗОВ Е.Ю., ПЕТРОВА Э., КОНСТАНТИНОВ М.В.	
Исследование характеристик распознавания растровых фотографий с помощью фильтров, синтезированных на основе векторных 3D-моделей «объектов интереса» в задаче корреляционного распознавания с использованием инвариантных фильтров с минимумом шума и энергии корреляции.....	191
КИРЕЕВ С.В., ШНЫРЁВ С.Л., СОБОЛЕВСКИЙ И.В., КОНДРАШОВ А.А., МАМЕДОВА Г.Ш.	
Разработка on-line метода детектирования изотопологов CO <sub>2</sub> в газовых средах на основе полупроводникового лазера вблизи частоты 4873 см <sup>-1</sup> .....	192
ОБРОНОВ И.В., СЫПИН В.Е., ЛАРИН С.В.	
Исследование особенностей генерации импульсного излучения в тулиевых волоконных лазерах при модуляции усиления.....	192
МУРЗАКОВ М.А., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., БИРЮКОВ В.П., ДЖУМАЕВ П.С., ПОЛЬСКИЙ В.И.	
Особенности формирования структуры и свойств лазерных наплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений.....	193
БЫКОВСКИЙ Д.П., ПЕТРОВСКИЙ В.Н., ДЖУМАЕВ П.С., ПОЛЬСКИЙ В.И.	
Формирование структуры многослойных лазерных наплавов с использованием излучения мощных волоконных лазеров .....	193

БЯЛКОВСКИЙ О.А., ТЫРТЫШНЫЙ В.А. Генерация мощного красного излучения с широким спектром путем преобразования частоты ИК излучения накачки в нелинейно-оптическом кристалле LBO .....	194
МАРКУШОВ Ю.В., ЕВТИХИЕВ Н.Н., ГРЕЗЕВ Н.В. Многопроходная лазерная сварка в узкощелевую разделку больших толщин с подачей присадочной проволоки .....	194

**КОНФЕРЕНЦИЯ «ФИЗИКА ПУЧКОВ  
И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

**ФИЗИКА ПУЧКОВ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.**

ШАШКОВ Я.В., МИТРОФАНОВ А.А., СОБЕНИН Н.П., КАМИНСКИЙ В.И., ЗВЯГИНЦЕВ В.Л. Анализ способов демпфирования ВВТ в девятыячеечном резонаторе с измененными трубками дрейфа .....	196
БОГДАНОВИЧ Б.Ю., ИЛЬИНСКИЙ А.В., НЕСТЕРОВИЧ А.В., ШИКАНОВ А.Е., ШИКАНОВ Е.А. Разработка и исследование малогабаритного импульсного генератора рентгеновских квантов нового поколения .....	196
САВИН Е.А., МАЦИЕВСКИЙ С.В., ЗАВАДЦЕВ А.А., ЗАВАДЦЕВ Д.А., СОБЕНИН Н.П. Варианты концептуального решения генераторно-ускорительного модуля .....	197
КОЛОМИЕЦ А.А., ПЛАСТУН А.С., ТРЕТЬЯКОВА Т.Е. Программа TRANSIT для численного моделирования динамики пучков .....	197
ПЕТРЕНКО В.В., АЛЕКСЕЕВ П.А. Физико-химические основы возможной технологии производства алюминия на базе нового носителя энергии – ускоренных электронов .....	198

ШАШКОВ Я.В., СОБЕНИН Н.П., ЗОБОВ М.М. Анализ способов демпфирования волн высших типов в одноячеечных резонаторах и цепочках резонаторов для проекта повышения светимости БАК.....	198
ПЛОТНИКОВ С.В., ТУРЧИН В.И. Высокочастотные ускоряющие фокусирующие системы для тяжелых и сверхтяжелых ионов .....	199
БУРМИСТЕНКО Ю.Н. Модернизация гамма-активационного комплекса экспрессного анализа руд на золото .....	199
АНДРИАНОВ С.Л., ЗИЯТДИНОВА А.В., КУЙБИДА Р.П., КУЛЕВОЙ Т.В., СИТНИКОВ А.Л., ЧАЛЫХ Б.Б. Моделирование динамики ионных пучков в приближении «идеальных» полей для многофункционального исследовательского стенда.....	200
БЫСТРОВ П.А. Оптимизация облучения электронным пучком объектов в стерилизационной установке с местной биозащитой .....	200
ТАТАРИНОВА Н. В. Эрозия высоковольтных электродов.....	201
РАЩИКОВ В.И. Моделирование ионно-оптической системы газонаполненной нейтронной трубки .....	201
БУЛЕЙКО А.А., ЛАЛАЯН М.В., СТОЛБИКОВА А.Н., ТОПОРКОВ С.Е. Разработка ВЧ-резонаторов для ускорения пучков протонов в диапазоне энергий от 2,3 до 5 МэВ .....	202
БЕЛУГИН В.М., ВАСИЛЬЕВ А.Е., РОЗАНОВ Н.Е. Основные типы мощных широкополосных ламп бегущей волны, разрабатываемых в России.....	202
РОЗАНОВ Н.Е. Развитие теории нагрузки током в электронных ускорителях на стоячей волне .....	203
БЫСТРОВ П.А. Исследование профиля дозы облучения объекта электронным пучком в зависимости от глубины.....	203
ДЮБКОВ В.С. О некоторых результатах по использованию аксиально-симметричной ВЧ-фокусировки в линейных протонных ускорителях на энергию до 20 МэВ .....	204

ДЮБКОВ В.С. Оптимизация динамики протонного сгустка в линейном ускорителе с ВЧ-фокусировкой на энергию 2 МэВ.....	204
КЛАЧКОВ А.П., ПОНОМАРЕНКО А.Г. Моделирование СВЧ-фотоинжектора электронов с питанием сверхкороткими импульсами .....	205
БАЕВ В.К., БОГДАНОВИЧ Б.Ю., НЕСТЕРОВИЧ А.В. Возможности пучкового зонда в научных исследованиях околоземного космического пространства .....	205
КУДИНОВ В.В., СМИРНОВ В.В. Практический метод оценки спектра электронов на основании обработки кривых прохождения электронов в алюминиевом поглотителе .....	206
БОГДАНОВИЧ Б.Ю., КАМИНСКИЙ В.И., СЕНЮКОВ В.А. Система СВЧ-питания линейного ускорителя со стоячей волной, обеспечивающая глубокую перестройку энергии пучка .....	206
ПРОСКИН С.С., ЩЕДРИН И.С., КУЗЬМИН И.А., ДВОРНИКОВ В.А. Эффективность ускорения электронов в ускоряющей структуре с бегущей волной на примере круглого диафрагмированного волновода .....	207
ПАВЛОВ Ю.С., ДОБРОХОТОВ В.В., ПАВЛОВ В.А., НЕПОМНЯЩИЙ О.Н., КЛИМАШИН В.П., ДАНИЛИЧЕВ В.А. Ускоритель УЭЛВ-10-10-Т-1 для радиационно-физических исследований .....	207
БАРМИНОВА Е.Е., САРАТОВСКИХ М.С. Моделирование динамики интенсивных сгустков заряженных частиц во внешних полях.....	208
ЧИХАЧЕВ А.С. Декомпенсированный электронный поток с постоянной температурой в ускоряющем промежутке.....	208
РЫБАКОВ И.В., ГУСАРОВА М.А., ЗВЯГИНЦЕВ В.Л. Влияние массы демпфера на эффективность подавления механических колебаний в четвертьволновом сверхпроводящем резонаторе.....	209

## **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

ВУ К.Т.Ч., ЕГОРОВ Р.В., МИХЕЕВ Д.А. Модель решётки спиралеобразных ректенн .....	212
---	-----

МИХЕЕВ Д.А., САВВИН В.Л., ПИРОГОВ Ю.А., КОННОВ А.В. Динамика ленточного электронного пучка в реверсивных магнитных полях.....	212
ИВАНОВ В.А., СИДОРЕНКО Д.С., РОГОЖИН К.В. Опыт разработки микроволновых установок и технологических процессов обработки пищевых продуктов и материалов .....	213
ЩЕРБАКОВ Г.Н., РЫЧКОВ А.В. Правовые аспекты применения оружия нелетального действия .....	213
МИТРЯСОВ А.А., ЩЕРБАКОВ Г.Н. Очистка прибрежных шельфов от роботов-разведчиков и неконтактных мин .....	214
МОРОЗОВ А.О., МОРОЗОВ О.А., ПРОКОПЕНКО А.В., ТРЕБУХ В.П. Универсальная промышленная СВЧ-установка для обработки зерновых культур .....	214
МОРОЗОВ О.А., ПРОКОПЕНКО А.В., СИМОНЕНКО А.Н., ТРЕБУХ В.П., БРИЕНКОВ А.С. Разработка промышленной СВЧ-установки для высокоэнергетического воздействия на минеральное сырьё .....	215
КАЛИМУЛЛИН Д.З., МОРОЗОВ А.О., ПРОКОПЕНКО А.В., ТРЕБУХ В.П. Исследование вопросов создания промышленной СВЧ-установки по нагреву тяжёлых бетонов .....	215
ЗАВЬЯЛОВ М.А., КУХТО В.А., МОРОЗОВ А.О., ПРОКОПЕНКО А.В., ФИЛИПОВИЧ В.П. Исследование процессов микронизации зерна пшеницы на микроволновых установках .....	216
ДИДЕНКО А.Н., ПРОКОПЕНКО А.В., СМИРНОВ К.Д. Разработка мощного источника света прожекторного типа на основе СВЧ-разряда.....	216
ДИДЕНКО А.Н., ПРОКОПЕНКО А.В., СМИРНОВ К.Д. Использование СВЧ-энергии для эффективного разрушения кимберлитов .....	217
ДИДЕНКО А.Н., ДМИТРИЕВ М.С., ДЪЯКОНОВ М.В., КОЛЯСКИН А.Д., КРАСНОКУТСКИЙ Р.А. СВЧ-установка для обработки неорганических материалов .....	217
ДИДЕНКО А.Н. Ультразвуковой метод разрушения кимберлита.....	218



# КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ

АРСЕНЬЕВ Н.Н., СЕВЕРЮХИН А.П. Влияние сложных конфигураций на свойства гигантского монополюсного резонанса .....	220
ФАЛЬКОВ А.Л., ОВЕЧКИН А.А. Теоретическая интерпретация рентгеноструктурного эксперимента с тёплым плотным веществом.....	220
ФАЛЬКОВ А.Л., ОВЕЧКИН А.А. Влияние пространственных корреляций в ионной подсистеме двухкомпонентной плазмы на величину среднего заряда иона .....	221
ГЕЛЬФЕР Е.Г., МИРОНОВ А.А., БАШМАКОВ В.Ф., ФЕДОТОВ А.М., КОСТЮКОВ И.Ю., НАРОЖНЫЙ Н.Б. Многопучковая конфигурация лазерного поля для наблюдения квантовоэлектродинамических каскадов.....	221
ГОРЕЛИК М.Л., ШЛОМО Ш., ТУЛУПОВ Б.А., УРИН М.Г. О свойствах высокоэнергетических изоскалярных монополюсных возбуждений в среднетяжелых сферических ядрах.....	222
КЕЛВИЧ С.А., ГОРЕСЛАВСКИЙ С.П. Структуры в низкоэнергетической области спектров надпороговой ионизации при различных параметрах лазерных импульсов .....	222
КОРНЕЕВ Ф., ТИХОНЧУК В., ДЮМЬЕР Э. Генерация интенсивного квазистационарного магнитного поля при взаимодействии лазерного излучения с искривлённой поверхностью мишени .....	223
ЛОМОНОСОВА Т.А. Идентификация новых тяжелых фермионов по угловым распределениям продуктов распада при парном рождении тяжелых частиц на $e^+e^-$ -коллайдерах.....	223
МИРОНОВ А.А., НАРОЖНЫЙ Н.Б., ФЕДОТОВ А.М. Коллапс и возрождение КЭД каскадов в лазерных импульсах .....	224
КУЛЕШОВ В.М., МУР В.Д., НАРОЖНЫЙ Н.Б., ФЕДОТОВ А.М. Кулоновская задача с зарядом ядра больше критического.....	224
СЕВЕРЮХИН А.П. Радиальная зависимость эффективной массы нуклонов и свойства $\beta$ -распада сферических ядер.....	225
СУШЕНОК Е.О., СЕВЕРЮХИН А.П. Микроскопическое описание свойств $\beta$ -распада $^{132}\text{Sn}$ .....	225

ВОСКРЕСЕНСКИЙ Д.Н., КОЛОМЕЙЦЕВ Е.Э. Спектр скалярных квантов в ферми жидкостях, неустойчивость Померанчука и бозе конденсация.....	226
ЖУКОВ А.А., ЯКОВЛЕВ В.П. К теории магнито-оптического резонанса в бихроматическом поле .	226
ГОРОДНИЧЕВ Е.Е., КУЗОВЛЕВ А.И., РОГОЗКИН Д.Б. Многократное рассеяние линейно поляризованного света в случайных средах с крупными неоднородностями.....	227
МАСЛОВ К.А., ВОСКРЕСЕНСКИЙ Д.Н., КОЛОМЕЙЦЕВ Е.Э. Уравнение состояния ядерного вещества в релятивистских моделях среднего поля со скалированными константами связи и адронными массами в свете новой информации о массах нейтронных звезд.....	227
ПОПРУЖЕНКО С.В., ТУЛЬСКИЙ В.А. Генерация терагерцовых токов при нелинейной ионизации атомов бихроматическим лазерным полем.....	228
МИРОНОВ А.А., ЦЫГВИНЦЕВ И.П., ШЕХАНОВ С.С., ПОПРУЖЕНКО С.В. Моделирование пространственно-временного сглаживания интенсивности лазерных импульсов методом случайной фазовой пластины.....	228
ГОРОДНИЧЕВ К.Е., КУРАТОВ С.Е., СЕРЁЖКИН А.А. Эволюция возмущений фронта ударных волн и контактной поверхности при распаде разрыва на границе двух сред .....	229
КОНДРАТЬЕВ К.А., МАРИНЮК В.В., РОГОЗКИН Д.Б., ШЕБЕРСТОВ С.В. Усиление флуктуаций прозрачности неупорядоченных образцов при освещении под скользящими углами.....	229
САФОНОВ И.В., УРИН М.Г. О релаксации зарядово-обменных спин-монопольных гигантских резонансов в среднетяжелых сферических ядрах.....	230
КОЛОМИЙЦЕВ Г. В., ИГАШОВ С. Ю., УРИН М. Г. Одноквазичастичная дисперсионная оптическая модель: пути реализации .....	230
ВОРОНОВА Н.С., ЛОЗОВИК Ю.Е. Внутренние осцилляции двухкомпонентной линейно-нелинейной бозе-системы с расстройкой.....	231

# IV КОНФЕРЕНЦИЯ «МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

## Методы математической физики

АКСЕНОВ А.В., ДРУЖКОВ К.П. Законы сохранения и точные решения одномерной системы уравнений мелкой воды над неровным дном.....	234
ПОЛЯНИН А.Д., СОРОКИН В.Г. Некоторые точные решения нелинейных реакционно-диффузионных уравнений с запаздыванием .....	234
АКСЕНОВ А.В., КОЗЫРЕВ А.А. Несуществование нестационарного аналога преобразования Степанова–Манглера .....	235
КАЩЕНКО И.С. Квазинормализация двухкомпонентных сингулярно возмущенных систем .....	235
АБРАШКИН А.А. Гидродинамическая модель первичного вакуума.....	236
ПОРУБОВ А.В. Нелинейное моделирование двумерных волн в гексагональной решетке .....	236
КАЩЕНКО А.А. Устойчивость простейших автоколебательных решений для двух моделей с большим запаздыванием .....	237
БЕКЛЕМИШЕВ С.А., КЛОЧИХИН В.Л. Модель 4 $\pi$ -кинк солитонного решения уравнения синус Гордона для спинов в магнетике .....	237
ЦЕГЕЛЬНИК В.В. Автономные системы дифференциальных уравнений третьего порядка с хаотическим поведением, ассоциированные с уравнением Курамото–Сивашинского.....	238
ДОБЫЧИН Н.П., ШУТОВ А.А. Форма несжимаемой заряженной струи в сильном электрическом поле.....	238
ЧУГАЙНОВА А.П., ШАРГАТОВ В.А., КРИВОШЕЕВ А.В. Устойчивость нестационарных решений обобщенного уравнения Кортевега–де Вриза–Бюргерса .....	239
МАЛЫХ М.Д. Об интегрировании дифференциальных уравнений в конечном виде.....	239

ВАСИЛЬЕВ С.А. Построение асимптотических решений краевой задачи для уравнения Кадышевского .....	240
КУДРЯШОВ Н.А., СИНЕЛЬЩИКОВ Д.И. Аналитические решения уравнения Рэлея для описания динамики пузырька в жидкости .....	240
ДЁМИНА М.В., КУДРЯШОВ Н.А. Полиномиальный метод, многочастичные динамические системы и оператор Шредингера с рациональными потенциалами .....	241
КУЛИКОВ Д.А. Волновые нанорельефы и нелокальное уравнение эрозии .....	241
КУЛИКОВ А.Н. Локальные бифуркации в обобщенном уравнении Кавахары–Курамото–Сивашинского .....	242
ГАЮР И.Ю., КУДРЯШОВ Н.А. Пенлеве-анализ и нахождение точных решений нелинейного уравнения теплопроводности с полиномиальным источником .....	242
ШАРГАТОВ В.А., ГУБИН С.А., КРИВОШЕЕВ А.В. О существовании стационарного фронта испарения воды в горизонтально-протяженной низкопроницаемой области .....	243
ТЕТЕРЕВ А.В., МАНДРИК П.А., РУДАК Л.В., МИСЮЧЕНКО Н.И. Моделирование течения продуктов сгорания в сопле Лавалья.....	243
ТЕТЕРЕВ А.В., ШИБЕКО Е.В. Моделирование газодинамических задач на многопроцессорных системах .....	244
КЛЮЧИХИН В.Л. Механизм и кинетика выщелачивания $C^{14}$ из графита .....	244
ТРОЩИЕВ В.Е., БОЧКАРЕВ Н.С. Нелинейные волновые уравнения газовой динамики (НВУ) и численные модели на их основе.....	245
КУДРЯШОВ Н.А., СКАЧКОВ М.В., ШИШКИН И.В. Статистическое моделирование формирования точек в случае изотропного ионного распыления при нормальном падении ионов.....	245
КУДРЯШОВ Н.А., ШИЛЬНИКОВ К.Е. Численное моделирование и оптимизация операций криохирургии на основе модели теплопереноса в биотканях Пенне и решений Парето .....	246
КОССОВИЧ Е., ТАЛОНОВ А., САВАТОРОВА В., САФОНОВ Р. Определение механических свойств бионаноккомпозитов на основе хитозана с использованием методов многомасштабного молекулярного моделирования .....	246

КОССОВИЧ Е., ТАЛОНОВ А., САВАТОРОВА В. Моделирование процессов переноса в неоднородных материалах с системой нано- и микропор .....	247
КУДРЯШОВ Н.А., ЧМЫХОВ М.А. Численное моделирование нагрева массива замороженного грунта с учетом фазового перехода.....	247
КОЧАНОВ М.Б., КУДРЯШОВ Н.А. Точные и квазиточные решения уравнения пограничного слоя осесимметричного течения несжимаемой жидкости при полном проскальзывании .....	248
ЗАХАРЧЕНКО А.С., КУДРЯШОВ Н.А. Аналитические свойства и точные решения системы реакционно-диффузионных уравнений, описывающих модель «хищник–жертва».....	248
КУДРЯШОВ Н.А., РЯБОВ П.Н. Точные решения обобщенного уравнения Свифта–Хоэнберга.....	249
АРТЫШЕВ С.Г. Обобщение решения Ландау о затопленной струе .....	249
КУДРЯШОВ Н.А., КУТУКОВ А.А. Автомодельные решения задачи движения газа в пористой среде по закону Форхгеймера.....	250
КУДРЯШОВ Н.А., ПЕТРОВ Б.А., РЯБОВ П.Н. Особенности формирования диссипативных структур, описываемых уравнением Курамото–Сивашинского.....	250
ВОЛКОВ А.К., КУДРЯШОВ Н.А., СИНЕЛЬЩИКОВ Д.И. Нелинейные эволюционные уравнения для описания волн в вязком газе .....	251
ДЕМИНА М.В., КУДРЯШОВ Н.А., УЛЬЯНОВА О.О. Устойчивость и точки покоя для статических и равномерно движущихся систем точечных вихрей на плоскости... ..	251
ЧМЫХОВА Н.А. Плазмодинамическая модель формирования квазиравновесной конфигурации в магнитном поле .....	252
ТАЮРСКИЙ А.А. Течение несжимаемой плазмы в плоском канале с учётом инерции электронов.....	252
КУЛЯБОВ Д.С., КОРОЛЬКОВА А.В., СЕВАСТЬЯНОВ Л.А. Проблема построения гамильтониана на полевых уравнениях Максвелла .....	253

ПОСЕНИЦКИЙ Е.А., ВЕСЕЛОВ С.Н., ВОЛК В.И., КАЩЕЕВ В.А., ПОДЫМОВА Т.В. Оптимизация процесса кристаллизационного выделения целевых продуктов переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ) .....	253
ГОЛЬДИЧ А.С. Плазмостатическая модель ловушки «пояс с проницаемой для магнитного поля оболочкой».....	254
ДАШИЦЫРЕНОВ Г.Д., СЕВАСТЬЯНОВ Л.А. Численно-аналитическое моделирование адиабатических волноводных мод плавнерегулярного многослойного интегрально-оптического волновода .....	254
ЛАТЫШЕВ А.В., РИСКА А. Точное решение второй задачи Стокса о генерировании волн в разреженном ферми-газе колеблющейся поверхностью .....	255
КУРИЛОВ А.Д., ЛАТЫШЕВ А.В. Теория ортогональности собственных функций характеристических уравнений как метод решения граничных задач для модельных кинетических уравнений.....	255
БОРОГ В.В., ИВАНОВ И.О., КРЯНЕВ А.В., ТИМАШЕВ С.Ф. Применение метода фликкер-шумовой спектроскопии для идентификации скрытых сигналов в космических лучах .....	256
КРЯНЕВ А.В., БАЛАШОВ Р.Б., СЛИВА Д.Е. Математическая модель оптимального распределения ресурсов на основе нечетких множеств .....	256
ЕФЕРИНА Е.Г., КУЛЯБОВ Д.С., КОРОЛЬКОВА А.В., ВЕЛИЕВА Т.Р. Применение квантово-полевых методов для исследования одношаговых процессов .....	257
КРЯНЕВ А.В., БЕЛЯКОВА Т.Л. К выбору оптимальных стратегий в матричных играх.....	257
КРЯНЕВ А.В., ПИНЕГИН А.А., КЛИМАНОВ С.Г., РЫЖОВ А.А. Выявление перепуток ТВС по распределению энерговыделения в активной зоне ядерного реактора .....	258
ЕГОРОВ А.А. Потери направляемых и вытекающих мод в нерегулярных стационарных и нестационарных оптических волноводах как нелинейных динамических диссипативных системах.....	258
КУЛЯБОВ Д.С. Парадокс сверхсветового движения в СТО .....	259

ДИВАКОВ Д.В., СЕВАСТЬЯНОВ Л.А. Применение неполного метода Галеркина в задачах моделирования распространения собственных мод в нерегулярном волноводном переходе .....	259
ТЮТЮННИК А.А., СЕВАСТЬЯНОВ Л.А., СЕВАСТЬЯНОВ А.Л. Метод аналитических вычислений вывода СУЧП для коэффициентных функций Канторовича по базису адиабатических волноводных мод .....	260
КОТЮКОВ М.М., СЕВАСТЬЯНОВ Л.А. Математическое моделирование направляемых мод трехслойного регулярного оптического волновода .....	260
МАКИН Р.С. Инерциальные многообразия и хаос в теории переноса.....	261
САВЁЛОВА Т.И., ВИШНЯКОВ А.С. Восстановление параметров нормальных распределений по набору отдельных ориентаций .....	261
ГЕВОРКЯН М.Н., ШАЛДЫБИНА Д.М. Сравнительный анализ применимости жидкостного и дискретного подхода к построению моделей телекоммуникационных систем .....	262
МАКИН В.С., МАКИН Р.С. Нерезонансное структурирование поверхностей конденсированных сред импульсами лазерного излучения .....	262
МАКИН Р.С., КРАСНОСЕЛОВ В.А. О математической модели образования радиационных дефектов в твердых телах .....	263
АНТОНОВА А.О., САВЁЛОВА Т.И. Моделирование EBSD-эксперимента и вычисление ПФ и ФРО .....	263
ИВАНОВА Ю.С., САВЁЛОВА Т.И. Определение параметров канонического нормального распределения по полюсным фигурам .....	264
БЕДРИКОВА Е.А., ЛАТЫШЕВ А.В. Решение задачи Куэтта для ферми-газа .....	264
СТЁПИН Е.В. Численная модель установления стационарных альфвеновских и близких к ним МГД-течений в коаксиальных каналах в присутствии продольного магнитного поля.....	265

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ШЕВЧЕНКО С.А., КОЗИН Р.Г. Моделирование переноса радиоактивных примесей в атмосфере .....	268
БРАГУТА В.В., СОЛОВЬЁВА О.Е. Решеточное моделирование КХД с киральным химическим потенциалом .....	268
ГАНИ В.А., ЛЕНСКИЙ В.А., ЛИЗУНОВА М.А. Резонансные явления в столкновениях кинков модели $\phi^8$ при низких энергиях .....	269
ДОВГОПОЛЯЯ Е.А., КОЧЕТКОВА И.А., МАСЛЕННИКОВ В.В. Метод приближенного определения корней кубического уравнения с положительными коэффициентами .....	269
ГРИГОРЬЕВ И.О., ТЕПЛЯКОВ А.В. Математическое моделирование как основа метрологического обеспечения аппаратуры спектрометрического импульсного нейтрон-гамма каротажа .....	270
КОНОВАЛОВ Ю.В. Резонансные колебания шельфового ледника, полученные в 3D модели изотропной упругой среды .....	270
БЕЛЯВЦЕВ И.П., СТАРКОВ С.О. Моделирование эксплуатационных процессов ядерных реакторов с использованием методов искусственного интеллекта .....	271
КОНОВАЛОВ Ю.В., НАГОРНОВ О.В. Зависимость положения береговой линии под шельфовым ледником от изменений температуры атмосферы .....	271
ЛЕГЧИКОВ Д.К., БЕЛЯВЦЕВ И.П., СТАРКОВ С.О., КОЛЕСОВ В.В. Прогнозирование запаса критичности реактора ВВР-ц методом нейросетевого моделирования .....	272
Именной указатель авторов .....	273



**Конференция**  
**«НАУКА О ЖИЗНИ**  
**(ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА)»**

*Секция*

**ЯДЕРНАЯ МЕДИЦИНА**  
**И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА**



Руководитель – *Беляев В.Н.*, профессор, декан факультета  
экспериментальной и теоретической физики  
Секретари – *Громушкина Е.В.*, ассистент кафедры № 35  
*Акмалова Ю.А.*, аспирант кафедры № 35

Тел. (499)323-94-03, (495)788-56-99 доб. 84-32  
E-mail: [EVGromushkina@mephi.ru](mailto:EVGromushkina@mephi.ru)

В.Е. БАЗИНА, А.А. ФЕДЯНИНА<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина, Москва*

## **РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСКОРЕННОГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ**

Рак шейки матки остается одним из наиболее опасных злокачественных заболеваний у женщин. Основной метод лечения - сочетание дистанционной и контактной лучевой терапии.

Целью работы является исследование методики ускоренного фракционирования, которая направлена на минимизацию роста опухоли во время облучения и уменьшения времени лечения пациента. После анализа МРТ-изображений составляется курс брахитерапии с подбором дозы облучения и аппликаторов с учетом индивидуальных особенностей строения шейки матки. Для оценки эффекта воздействия ионизирующего излучения на опухоли, ранней и поздней реакций в зависимости от суммарной дозы используется линейно-квадратичная модель (LQ-модель).

В.А. КЛИМАНОВ<sup>1,2</sup>, А.Н. МОИСЕЕВ<sup>3</sup>, Н.Н. МОГИЛЕНЕЦ<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

*<sup>3</sup>Лечебно-реабилитационный центр Минздрава России, Москва*

## **РАЗВИТИЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТОНКОГО ЛУЧА ФОТОНОВ ДЛЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ГАММА-АППАРАТА РОКУС**

В работе с помощью метода Монте-Карло выполнен расчет дозового ядра в геометрии дифференциального тонкого луча в воде для фотонов со спектром гамма-терапевтического аппарата РОКУС. Спектр фотонов аппарата РОКУС был определен также методом Монте-Карло, моделируя геометрию аппарата в среде кода MCNP4C2. Полученные данные по дозовому ядру аппроксимированы отдельно для радиального распределения первичной и рассеянной компонент дозового ядра суммами экспоненциальных функций, деленными на квадрат радиуса. Погрешность аппроксимации оказалась в пределах 5 %. Показано, что данная аппроксимация делает возможным прямое применение метода «Сжатие в конусы».

А.А. ПРОКОПЧУК, Ж.Ж. ГАЛЯУТДИНОВА<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, Москва*

## **МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ДОЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ МОДУЛИРОВАННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

В лучевой терапии дозовое распределение планов с использованием техники ЛТМИ должны быть обязательно верифицированы как по абсолютной дозе, так и по относительной, характеризующей распределение изодоз. Для измерения планов используется двухмерная матрица детекторов с 729 вентилируемыми ионизационными камерами. Полученные измерения сравниваются с соответствующим дозиметрическим распределением, рассчитанным в системе трехмерного дозиметрического планирования лучевой терапии.

В докладе обсуждаются результаты полученных измерений дозовых распределений, профилей пучка, дозы в точке нескольких дозиметрических планов для различных локализаций.

Я.И. СИРОТА, Ю.А. АКМАЛОВА, Л.Ю. ДУБОВ, В.Н. БЕЛЯЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МИКРОДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В GEANT4-DNA БИНАРНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА**

Для определения оптимальных условий проведения рентген-активационной лучевой терапии с наночастицами золота необходимо моделирование физических процессов в облучаемых тканях и дозовых распределений на масштабах клетки. Данная работа посвящена моделированию с помощью Geant4-DNA физических процессов в водном фантоме, содержащем наночастицу золота, при облучении рентгеновскими квантами различных энергий. Определены доля энергии, поглощенной внутри частицы и вокруг нее, вклады характеристических квантов и вторичных электронов и пробеги электронов для различных энергий рентгеновских квантов и различных размеров наночастиц. На основе полученных данных с учетом различной локализации частиц в клетке предлагаются оптимальные размеры частиц и энергия излучения.

С.С. СОКОЛОВСКИЙ, А.Д. ЛЕЛЯНОВ<sup>1</sup>, Ю.В. ШТОЦКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Смоленская государственная медицинская академия Минздрава России*

## **БЕСПРОВОДНОЙ МОНИТОРИНГ ПАЦИЕНТОВ С АБДОМИНАЛЬНОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ**

Разработана система беспроводного мониторинга функциональных показателей пациентов с абдоминальной хирургической патологией, состоящая из набора беспроводных датчиков и персонального компьютера. Передача информации в системе осуществляется по беспроводному каналу с помощью технологии Bluetooth 4, обладающей низким энергопотреблением, на базе модулей фирмы Bluegiga. Проведён анализ и представлен оптимальный вариант конструктивных, схемотехнических и алгоритмических решений, реализованных в системе беспроводного мониторинга. Подробно рассмотрены требования, предъявляемые к беспроводному датчику для измерения внутрибрюшного давления. Результаты испытаний подтвердили возможность клинического использования разработанной системы беспроводного мониторинга.

О.Ю. ИСАЙКИНА<sup>1</sup>, Ю.И. КУКСА<sup>2</sup>, И.Г. ШИБАЕВ<sup>3</sup>  
*<sup>1</sup>Государственный институт профилактической медицины, Москва  
<sup>2</sup>Центр геоэлектромагнитных исследований института физики Земли, Троицк  
<sup>3</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк*

## **ДЛИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПУЛЬСА: ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВЯЗЬ С ФОНОВЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Работа опирается на данные длительного, более 13 лет, ежедневного (утром и вечером) мониторинга артериального давления и частоты сердечных сокращений. Рассмотрены ряды отражающие во времени динамику коэффициентов корреляции, полученных при одновременном сканировании исследуемых характеристик. Такие ряды коэффициентов корреляции медицинских параметров, аналог степени согласованности организма, взяты за основу и сопоставлены с фоновыми изменениями геомагнитной активности и атмосферного давления. Отмечается повышенная чувствительность утреннего состояния организма к внешнему влиянию и стабилизирующее воздействие ритмических нагрузок к вечеру.

М.В. МОСКОВЦЕВ, А.С. ТОНОЯН<sup>1</sup>, Л.М. ФАДЕЕВА<sup>1</sup>, И.Н. ПРОНИН<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>НИИ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко РАМН, Москва*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Работа посвящена исследованию тканей головного мозга с помощью магнитно-резонансной спектроскопии. Рассмотрены МР методы исследования с применением single-voxel (SVS) и multi-voxel сканирований. Эти методы позволяют визуализировать распределение N-ацетиласпартата, холина, лактата и креатина в головном мозге в норме и при патологии (опухоль мозга). Приведены описание импульсных последовательностей, формулы, лежащие в основе метода и результаты анализа измеренной информации.

Н.Н. ЛАБЕКО, А.Р. КЛЕЙНЕР, А.С. ТОНОЯН<sup>1</sup>, Л.М. ФАДЕЕВА<sup>1</sup>,  
И.Н. ПРОНИН<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>НИИ нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко РАМН, Москва*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОДИНАМИКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА МЕТОДОМ ПЕРФУЗИОННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ**

Работа посвящена исследованию гемодинамических параметров тканей головного мозга с помощью магнитно-резонансной томографии. Рассмотрены МРТ методы исследования мозговой перфузии с применением экзогенных (изменение магнитной восприимчивости крови под действием парамагнитного контрастного препарата – DSC) и эндогенных маркеров (метод мечения спинов артериальной крови-ASL). Методы DSC и ASL позволяют визуализировать изменения гемодинамических характеристик головного мозга в норме и при патологии (опухоль мозга). Приведены описание импульсных последовательностей, формулы, лежащие в основе метода и результаты анализа измеренной информации.

П.Е. МЕНЬЩИКОВ, Н.А. СЕМЕНОВА<sup>1</sup>, Т.А. АХАДОВ<sup>1</sup>,  
М.А. УБЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, И.С. ЛЕБЕДЕВА<sup>2</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>*НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, Москва*

<sup>2</sup>*Научный центр психического здоровья РАМН, Москва*

## **ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ОСНОВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ МОЗГА (GABA, GLX) МЕТОДАМИ ПРОТОННОЙ МРС У ПАЦИЕНТОВ С УЛЬТРАВЫСОКИМ РИСКОМ РАЗВИТИЯ ШИЗОФРЕНИИ**

В ходе работы исследовались две группы обследуемых: 1 группа – 16 пациентов с ультравысоким риском заболевания шизофренией. 2 группа – 15 психически здоровых людей. Все исследуемые мужчины правши в возрасте от 16 до 25 лет. Интересующие нас объемы находятся в лобных долях правом и левом полушариях.

В левой лобной доле наблюдается существенное снижение уровня GABA ( $p=0.026$ ). Уровень GLX снижен с вероятностью 10 процентов справа у группы пациентов с высоким риском заболевания шизофрении.

М.О. СМЕРНОВА, А.С. НОВИКОВ, С.Е. УЛИН, А.Е. ШУСТОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА ГАММА-ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕАНСА НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ ТЕРАПИИ**

В представлено описание конструкция гамма-детектора на основе сцинтилляционного кристалла  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  для определения экспозиционной дозы во время проведения сеанса нейтрон-захватной терапии. Главными элементами разработанного детектора являются: гамма-детектор  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ , антисовпадательная защита на основе кристалла  $\text{CsI}(\text{Tl})$ , электронный блок для питания вакуумного и кремниевых фотоумножителей. Приведены результаты расчетов эффективностей регистрации сцинтилляционных гамма-детекторов методом Монте-Карло, антисовпадательной защиты и оценка экспозиционной дозы при облучении тепловыми нейтронами раствора фармпрепарата.

В.Н. БЕЛЯЕВ, А.К. БЕРДНИКОВА, А.И. БОЛОЗДЫНЯ, Л.Ю. ДУБОВ,  
И.А. ЗНАМЕНСКИЙ<sup>1</sup>, В.В. СОСНОВЦЕВ, Ю.В. ШТОЦКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет  
им. Н.И. Пирогова, Москва*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПТОНОВСКОЙ ГАММА-КАМЕРЫ В ТЕРАНОСТИКЕ**

В работе обсуждается тенденция развития одного из современных направлений ядерной медицины – радионуклидной терапии с одновременной визуализацией распределения препарата – тераностикой. Проведён анализ перспектив использования различных бета- и альфа-излучающих радионуклидов, а также проблем планирования облучения и дозиметрического контроля. В качестве детектора сопутствующего низкоинтенсивного гамма-излучения ( $\sim 10^{-2}$ - $10^{-3}$  квант/расп.) предлагается использовать комптоновскую гамма-камеру. Результаты моделирования в среде Geant4/GATE подтвердили высокую эффективность регистрации ( $\sim 1\%$ ) и приемлемое пространственное разрешение ( $\sim 20$  мм).

Д.Е. ФИЛИППОВ, В.Н. БЕЛЯЕВ, D. BESSON<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>University of Kansas, Lawrence, USA*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТКЛИКА ГАММА-КАМЕРЫ НА КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯХ**

Гамма-камера – это позиционно-чувствительный детектор гамма-излучения, широко применяемый в современной ядерной медицине. В рамках работы по разработке полномасштабного прототипа гамма-камеры необходимо определение оптимальной геометрии детектора с целью получения максимально возможного собственного пространственного разрешения. Для этого было проведено моделирование функции пространственного отклика детектора. По результатам моделирования получены зависимости функции пространственного отклика детектора от вида и толщины сцинтилляционного кристалла, толщины световода, количества кремниевых фотоумножителей, особенности отражения света в кристалле, и используемых алгоритмов восстановления изображения.

В.В. ТРЕТЬЯКОВА, И.И. ПАШКОВИЧ, В.А. КАНЦЕРОВ,  
А.К. БЕРДНИКОВА, А.И. БОЛОЗДЫНЯ, В.В. СОСНОВЦЕВ,  
Д.Е. ФИЛИППОВ, В.Н. БЕЛЯЕВ, А.А. ARODZERO<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Detection Division, RadiaBeam Technologies, Santa Monica, California*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ «СТОРОЖЕВЫХ» ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ**

Предложен изотоп-ассоциированный метод трехмерного поиска сторожевых лимфатических узлов. Основываясь на экспериментальных данных, полученных с помощью ППД на основе кристалла CdZnTe (5x5x3 мм<sup>3</sup>) и сцинтилляционного детектора, включающего в себя кристалл LaBr<sub>3</sub>Ce 5x10 мм<sup>3</sup> и кремниевый ФЭУ sens1, а также источника Cs-137, помещенного в фантом из органического стекла с варьлируемой глубиной расположения, можно сделать вывод о принципиальной возможности его реализации для портативных интраоперационных гамма-локаторов.

А.Ю. ГРАЧЁВА<sup>1</sup>, М.А. ЗАВЬЯЛОВ<sup>1</sup>, Ю.С. ПАВЛОВ<sup>2</sup>,  
В.П. ФИЛИППОВИЧ<sup>1</sup>, А.В. ПРОКОПЕНКО<sup>3</sup>

*<sup>1</sup>ВНИИ технологии консервирования, Видное, Московская обл.*

*<sup>2</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва*

*<sup>3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА МОДЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ МИКРООРГАНИЗМОВ**

В работе показаны современные тенденции развития радиационных технологий обработки пищевой продукции с помощью ускорителей заряженных частиц в России. Обозначена актуальность создания нормативно-правовой документации и определен круг задач для дальнейших исследований. Проведены экспериментальные исследования по радиационному облучению суспензий микроорганизмов пучками электронов на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 дозами 3 кГр, 5 кГр, 7 кГр и 10 кГр и определены параметры радиационной устойчивости для водных суспензий микроорганизмов *E coli* и *Staphylococcus aureus*.



Д.Д. БАБИНА<sup>1,2</sup>, Ю.Н. АНОХИН<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск, Калужская обл.

<sup>2</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

## **НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЛЕТОК**

В работе продемонстрирована высокая эффективность блеоцина, сульфата меди а также доксорубицина для повышения радиочувствительности клеток после одновременного комбинированного воздействия этих препаратов и ионизирующего излучения. Фактор изменения дозы, определяемый отношением изоэффективных доз после действия одного ионизирующего излучения и после его комбинации с химическими сенситизаторами был равен 2, 4 и 5 соответственно. Это усиление происходило за счет синергического взаимодействия химических агентов с ионизирующей радиацией. Совокупность приведенных данных, показывает перспективность использования химических радиосенсибилизаторов в ядерной медицине.

Е.С. ЕВСТРАТОВА<sup>1</sup>, Е.И. РОМАШКИНА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск, Калужская обл.

<sup>2</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

## **РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ**

Приводятся новые экспериментальные результаты, подтверждающие перспективность использования плотноионизирующих излучений для инактивации клеток. К ним относятся зависимость относительной биологической эффективности от способности клеток восстанавливаться от потенциально летальных радиационных повреждений, различные количественные характеристики задержки первого пострадиационного деления клеток и эффекта позднего появления колоний, сформированных облученными клетками. Продемонстрировано снижение способности клеток восстанавливаться от потенциально летальных повреждений при повторных облучениях плотноионизирующим излучением, обусловленное увеличением доли необратимо пораженных клеток.

Ю.Н. АНОХИН<sup>1,2</sup>, В.Г. ПЕТИН<sup>1,2</sup>, Г.П. ЖУРАКОВСКАЯ<sup>2</sup>,  
М.Д. ПРОНКЕВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

<sup>2</sup>Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск, Калужская обл.

## **МЕХАНИЗМЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ**

Цель работы – разработка и экспериментальная проверка новой концепции и математической модели синергизма для выяснения механизмов и оптимизации одновременных и последовательных комбинированных воздействий в ядерной медицине. Полученная в результате исследований возможность прогнозировать условия достижения максимального синергизма и его величины определяет актуальность, перспективность и практическую значимость результатов работы.

Ю.Н. АНОХИН<sup>1,2</sup>, В.Ф. СТЕПАНЕНКО<sup>2</sup>, А.Ю. ЗАХАРКИВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

<sup>2</sup>Медицинский радиологический научный центр РАМН, Обнинск, Калужская обл.

## **ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ В ОРГАНАХ ЖИВОТНЫХ С ОПУХОЛЯМИ ПРИ ВВЕДЕНИИ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ АНТИТЕЛ**

**Цель:** провести расчет поглощенных доз в органах лабораторных животных с опухолями, которым введены внутривенно противоопухолевые моноклональные антитела, меченные  $I^{131}$ . В расчетах использовали математический фантом лабораторной мыши (воксельная версия с трехмерной матрицей). **Результаты:** разработан метод расчета доз внутреннего облучения органов и тканей у лабораторных животных с солидными опухолями, которым введены меченные  $I^{131}$  противоопухолевые антитела. Вследствие высокой избирательности накопления антител в опухолевом очаге создана поглощенная доза, в 4-5 раз превышающая дозы в других органах и более чем в 10 раз во всем теле.

С.В. АКУЛИНИЧЕВ<sup>1</sup>, С.А. АРТАМОНОВ<sup>2</sup>, В.И. ДЕРЖИЕВ<sup>3</sup>,  
С.А. ЧАУШАНСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерных исследований РАН, Москва

<sup>2</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

<sup>3</sup>ООО «Делиз», Москва

## **КЕРАМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169 ДЛЯ ВЫСОКОДОЗОВОЙ БРАХИТЕРАПИИ**

**Цель:** проанализировать перспективу применения высокодозовой брахитерапии (ВДБ) с использованием керамического источника, на основе оксида иттербия, обогащенного по изотопу иттербий-169. **Результаты:** приведены результаты расчета радиационных и дозиметрических характеристик керамического источника, на основе оксида иттербия, обогащенного по изотопу иттербий-169. Источник разработан для применения в тросовых терапевтических аппаратах высокодозовой брахитерапии (ВДБ) типа АГАТ.

С.В. АКУЛИНИЧЕВ<sup>1</sup>, И.С. ТЫЧКИН<sup>2</sup>, В.И. ДЕРЖИЕВ<sup>3</sup>,  
С.А. ЧАУШАНСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерных исследований РАН, Москва

<sup>2</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

<sup>3</sup>ООО «Делиз», Москва

## **ИСТОЧНИК НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169 ДЛЯ НИЗКОДОЗОВОЙ БРАХИТЕРАПИИ**

**Цель:** проанализировать перспективу применения низкодозовой брахитерапии (НДБ) имплантируемых источников на основе естественного и обогащенного по иттербию-168 изотопного материала. **Результаты:** приведены результаты расчета медианного распределения мощности дозы от источника в водном фантоме, которые сравниваются с используемыми в практике НДБ источниками на основе йода-125 и палладия-103. Рассчитаны толщины биологической защиты из свинца и бетона для экранирования источников.

А.В. КОСМЫНЦЕВА, Л.Ю. ДУБОВ, Д.Н. ФОМИН<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава России, Москва*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОЙ БРАХИТЕРАПИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИЛИКОНОВОГО АППЛИКАТОРА С РЕНИЕМ-188**

Для оценки активности препарата для внутрисуставной терапии брюшной полости разработана математическая модель процесса облучения в программной среде GATE/Geant4. Она позволяет рассчитывать распределение поглощённой дозы вблизи силиконового аппликатора с радиоизотопом, и оценивать дозовую нагрузку на органы брюшной полости.

С помощью модели получены профили дозы в облучаемых тканях для нескольких терапевтических изотопов. Для <sup>188</sup>Re, испускающего  $\beta$ -частицы, и  $\gamma$ -кванты, рассчитана зависимость дозы на поверхности аппликатора от активности введенного препарата и времени облучения и оценена лучевая нагрузка на органы брюшной полости.

А.А. ТРУХИН, Л.Ю. ДУБОВ, Д.К. ФОМИН<sup>1</sup>, Ю.В. ШТОЦКИЙ,  
Я.И. СИРОТА, Е.В. ГРОМУШКИНА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава России, Москва*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В СУСТАВАХ ПРИ РАДИОТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «<sup>188</sup>Re-Sn-КОЛЛОИДА»**

Данная работа посвящена методике планирования внутритканевой радиотерапии воспалительных заболеваний суставов, заключающейся во внутрисуставном введении радиофармацевтического препарата «<sup>188</sup>Re-Sn-Коллоида». Введённый таким образом препарат захватывается клетками синовиальной оболочки и осуществляет локальное облучение области воспаления. Для оценки параметров дозового распределения и расчета необходимой активности препарата в среде GATE/Geant4 разработана математическая модель. В докладе приводится описание процедуры лечения, обсуждаются физические принципы и результаты моделирования. Результаты расчета необходимой активности представлены в виде таблицы для различных значений площади и толщины синовиальной сумки.

Ф.В. ПАРКИНА<sup>1</sup>, Ю.А. АКМАЛОВА<sup>1</sup>, Л.Ю. ДУБОВ<sup>1</sup>,  
Е.В. ГРОМУШКИНА<sup>1</sup>, Ю.А. ФЕДОТОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, Москва

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА ДЛЯ РЕНТГЕН-АКТИВАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ**

Наночастицы золота представляют класс биологически безопасных материалов, который имеет хорошие перспективы для использования в визуализации и терапии опухолей. Радиобиологический эффект зависит не только от концентрации частиц золота в облучаемой ткани, но и от их локализации внутри клеток. Локализация наночастиц определяется их размером, способом функционализации и свойствами клеток органа-мишени. Для получения максимального эффекта при рентген-активационной терапии нужно, чтобы наночастицы располагались как можно ближе к ядру клетки. В работе рассмотрены различные размеры частиц и виды функционализации, проанализирована возможность их использования в рентген-активационной терапии.

Е.С. ВОРОБЬЕВА<sup>1</sup>, Ю.А. АКМАЛОВА<sup>1</sup>, И.Н. ШЕЙНО<sup>2</sup>, А.В. ГОРДЕЕВ<sup>2</sup>,  
Ю.А. ФЕДОТОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, Москва

## **ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК РЕНТГЕНОВСКОГО СПЕКТРА УСТАНОВКИ РУСТ-220 МЕТОДОМ СНЯТИЯ КРИВОЙ ОСЛАБЛЕНИЯ**

Форма спектра излучения рентгеновской трубки имеет большое значение при расчете эффектов взаимодействия рентгеновского излучения с биологической тканью и тяжелыми элементами, содержащимися в препаратах, специально вводимых в организм для усиления действия ионизирующего излучения. В данной работе задача реконструкции спектра решается путем сравнения его математической модели с экспериментальной оценкой эффективной энергии спектра, которая определяется методом снятия кривой ослабления с помощью радиохромных пленок Gafchromic EBT и наборов калиброванных алюминиевых и медных пластин.

Х.Ц. БУЯНАЕВА<sup>1</sup>, И.Н. ШЕЙНО<sup>2</sup>, П.В. ИЖЕВСКИЙ<sup>2</sup>,  
Ж.Ж. ГАЛЯУТДИНОВА<sup>2</sup>, Ю.А. ФЕДОТОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, Москва

## **ПЛАНИРОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ В ОТДЕЛЕНИИ РАДИОТЕРАПИИ ФМБЦ ИМ. А.И. БУРНАЗЯНА**

Успешность лечения опухолей определяют многие факторы, среди которых ведущими являются квалификация медицинского персонала и техническая оснащенность медицинского учреждения. Высокий уровень лечения в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна достигается за счет комплексного подхода к процессу предлучевой подготовки, дозно-анатомического планирования и облучения на основе современного диагностического, дозиметрического и лечебного оборудования (компьютерная и магнитно-резонансная томография, иногда УЗИ и ангиография). Данные исследований аккумулируются в системе дозно-анатомического планирования. В докладе описывается используемое в ФМБЦ медицинское оборудование и комплекс диагностических и радиотерапевтических процедур.

А.В. ПЕТРАКОВ, Ю.С. ФЕДЯЕВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>ОАО НПК «Дедал», Дубна, Московская обл.

## **ТЕЛЕИНФРАВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ**

Наинизшая визуализируемая глазом частота видимого спектра 380 ТГц. Меньшие частоты это инфракрасный спектр, радиодиапазоны от миллиметровых до всех километровых длин волн, ультразвуковые и звуковые диапазоны длин волн (к последним относятся электромагнитные и механические волны).

Проанализированы достижения в разработке дистанционных визуализирующих систем безопасности-разведки, используемых во всех этих инфрадиапазонах, включая совместно функционирующие разноспектрональные визуализирующие и решающие комплексы.

А.В. ПЕТРАКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ТЕЛЕУЛЬТРАВИЗУАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ**

Наивысшая визуализируемая глазом частота видимого спектра 780 ТГц. Большие частоты это ультрафиолетовый спектр, рентгеновский диапазон и гамма-диапазон.

В системах безопасности широко используется рентгеновский диапазон длин волн уже несколько десятков лет. В последние годы в таких системах стал использоваться гамма-диапазон и теперь уже ультрафиолетовый спектр.

Проанализированы достижения в разработке дистанционных визуализирующих систем безопасности-разведки, используемых в системах телеультивизуализации.





*Секция*

**ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
В МЕДИЦИНЕ И ТЕХНИКЕ**



Руководитель – *Никитаев В.Г.*, д.т.н., профессор, заведующий  
кафедрой № 46

Секретарь – *Поляков Е.В.*, аспирант кафедры № 46

Тел. (499)324-82-25, (499)324-75-54

Факс (499)324-82-25

E-mail: kaf46@mail.ru

В.В. ДМИТРИЕВА<sup>1</sup>, М.И. ДАВЫДОВ<sup>2</sup>, В.Ю. СЕЛЬЧУК<sup>1,2</sup>,  
В.Г. НИКИТАЕВ<sup>1</sup>, А.Н. ПРОНИЧЕВ<sup>1</sup>, А.О. РАСУЛОВ<sup>2</sup>,  
В.П. КОНОНЕЦ<sup>2</sup>, С.А. МЕЛИХОВ<sup>2</sup>, И.С. АКИМОВ<sup>1</sup>,  
З.М. АЙДУНБЕКОВ<sup>1</sup>, В.И. КАДАШЕВ<sup>1</sup>, А.А. ЛАВРОВА<sup>1</sup>,  
В.К. ГОЛОВАНОВА<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"

<sup>2</sup>Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина, Москва

## **НОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ И ПОСТДИПЛОМНОЙ ПОДГОТОВКЕ ВРАЧЕЙ ОНКОЛОГОВ**

В целях обеспечения современного уровня послевузовской подготовки врачей-интернов разработан комплекс, который включает разделы - эпидемиология, диагностика, лечение, реабилитация, диспансеризация. Реализован мультидисциплинарный подход к образованию врачей-интернов, предусматривающий использование в процессе обучения электронного учебника, базы знаний по морфологической диагностике новообразований ЖКТ, электронной истории болезни, системы тренинга, контроля знаний, обучающего фильма, дистанционного обучения, информационного портала. Рассмотрены нозологические формы – рак пищевода, рак желудка, рак толстой кишки.

В.Г. НИКИТАЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГИСТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Рассмотрен интерактивный метод распознавания сложных микроскопических изображений опухолей. Отличительные особенности метода: - участие врача-патологоанатома на стадии описания распознаваемых изображений, основанного на традиционных для него оценках общепринятых качественных информативных признаков опухолей; формирование на заключительном этапе распознавания – классификации, набора наиболее близких вероятностных диагнозов; окончательный гистологический диагноз выносится врачом-патологоанатомом. Предложенный метод успешно апробирован в клинической практике.

А.Н. ПРОНИЧЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЪЕКТ-МИКРОМЕТРА**

Предложена методика автоматизированной калибровки информационно-измерительных систем компьютерной микроскопии с применением объект-микрометра. Рассмотрена структура погрешности измерения линейных размеров в системах компьютерной микроскопии. На основе экспериментальных исследований рассчитаны оценки составляющих погрешности измерения линейных размеров в системах компьютерной микроскопии с применением методов автоматизированной обработки изображений и распознавания образов.

Представлены рекомендации по выбору средств калибровки и их применению для минимизации погрешностей измерения линейных размеров микроскопических объектов.

Л.К. ИСАЕВ<sup>1</sup>, Е.В. КУЛЯБИНА<sup>1</sup>, Т.В. КУЛЯБИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВНИИМС», Москва

<sup>2</sup>ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург

## **О СОЗДАНИИ ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ «КАТАЛ»**

Рассматриваются работы по созданию первичного эталона каталитической активности биологически и химически активных веществ - «катал». В результате выполнения этих работ будут обеспечены:

- прослеживаемость измерений биологически активных компонентов в растворах, жидкостях и тканях человека, что повлечет повышение достоверности анализов, улучшение качества жизни населения;
- метрологическое обеспечение ряда средств измерений биохимического и химического анализа;
- разработка нормативных документов, методов измерений, мер, стандартных образцов для определения каталитической активности в области биологических и химических измерений;
- гармонизация метрологической инфраструктуры России с международными требованиями.

Ю.А. КУДЕЯРОВ, Е.В. КУЛЯБИНА  
*ФГУП «ВНИИМС», Москва*

### **ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕЩЕСТВ ПРИ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ**

Доклад посвящен изложению метода, основанного на применении критерия Стьюдента, позволяющего провести идентификацию веществ при хроматографическом анализе и количественно оценить достоверность идентификации в случае, когда ее не удастся провести по объему удерживания, и возникает необходимость привлечения для этой цели дополнительной информации. Такой дополнительной информацией могут быть экспериментально измеренные спектральные отношения. Рассмотрен пример, связанный с идентификацией пирена.

М.В. ЗЕЛЕНКОВА, Ю.А. КУДЕЯРОВ  
*ФГУП «ВНИИМС», Москва*

### **МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ЛОЖНОГО СРАБАТЫВАНИЯ ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ ТЕСТ-СИСТЕМ**

Доклад посвящен изложению методологии оценки рисков ложного срабатывания иммунохроматографических тест-систем (включая получение ложноположительных и ложноотрицательных результатов). Методология основана на анализе полученных для каждого конкретного вещества и средства измерений (детектора) калибровочных кривых и среднеквадратических отклонений. Методология экспериментально апробирована и может быть применима как в случае прямой, так и в случае обратной зависимости сигнала прибора от концентрации вещества.

М.М. АСЛАНЯН

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАНЦЕРОГЕНЕЗА**

Развитие злокачественных опухолей является генетически контролируемым процессом. Прогрессия опухоли обуславливается возникновением мутаций в одном или нескольких генах, функционирующих кооперативно, и отбором мутантных клеточных клонов. Эти гены можно условно разделить на 2 крупные категории – протоонкогены и гены-супрессоры опухолей. Гетерозиготность по мутантным аллелям может быть использована для диагностики предрасположенности индивида к раковому заболеванию. Существуют три теории развития онкогенеза: вирусогенетическая, мутационная и эпигенетическая. В клинике онкологических заболеваний различают две формы рака: семейная (наследственная) и спорадическая. При семейной форме вероятность возникновения заболевания у здоровых членов семьи в несколько раз выше, чем в случае спорадического рака. При спорадической форме рака опухоль развивается под воздействием не одной мутации, а целой группы.

Е.А. ПРИЛЕПСКАЯ<sup>1</sup>, М.В. КОВЫЛИНА<sup>1</sup>, Д.Ю. ПУШКАРЬ<sup>1</sup>,  
В.Г. НИКИТАЕВ<sup>2</sup>, А.Н. ПРОНИЧЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный медико-стоматологический университет  
им. А.И.Евдокимова*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ВОЗМОЖНОСТИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Золотым стандартом диагностики рака предстательной железы является морфологическое исследование фрагментов ткани предстательной железы после трансректальной мультифокальной биопсии. Важность дифференциального диагноза особенно актуальна при анализе фрагментов ткани простаты, полученных в результате биопсии, так как ложноположительный результат может привести к выполнению ненужного и чрезмерного лечения. Представлен проект создания экспертной системы, включающей описание наиболее распространенных доброкачественных процессов, которые могут имитировать аденокарциному различных степеней. Применение системы поможет прийти к верному диагностическому заключению.

В.Г. НИКИТАЕВ<sup>1</sup>, Д.Ю. ПУШКАРЬ<sup>2</sup>, А.Н. ПРОНИЧЕВ<sup>1</sup>,  
Е.А. ПРИЛЕПСКАЯ<sup>2</sup>, В.В. ДМИТРИЕВА<sup>1</sup>, В.Ю. КАЗАДАЕВ<sup>1</sup>,  
М.В. КОВЫЛИНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>Московский государственный медико-стоматологический университет  
им. А.И. Евдокимова МЗРФ

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ АЦИНУСОВ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

Одним из признаков развития опухолевого процесса в предстательной железе является изменение характеристик ацинусов предстательной железы. Для уменьшения субъективизма гистологического анализа разработаны средства автоматизированной обработки микроскопических изображений. Предложен метод выделения ацинусов на микроскопическом изображении препарата предстательной железы и последующего анализа их характеристик для определения степени развития опухолевого процесса.

Т.В. ДЖАНГИРОВА<sup>1</sup>, И.П. ШАБАЛОВА<sup>1</sup>, В.Г. НИКИТАЕВ<sup>2</sup>,  
А.Н. ПРОНИЧЕВ<sup>2</sup>, Е.В. ПОЛЯКОВ<sup>2</sup>, С.М. ЗАЙЦЕВ<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>ГОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования»,  
Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРЕПАРАТЫ КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦИТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Цитологическое исследование – широко используемый метод диагностики и актуальным является проведение контроля качества цитологической диагностики. Классические методы контроля качества диагностики результатов по цитологическим микропрепаратам под микроскопом имеют недостатки. Рассмотрен альтернативный подход, основанный на использовании виртуальных препаратов. Виртуальный препарат – это цифровое изображение, формируемое на основе цифровой съемки микроскопических изображений реальных препаратов при их автоматизированном сканировании. Это позволяет отображать на экране компьютера, как панораму препарата, так и любой его фрагмент с необходимым увеличением. Предложенное решение внедрено в практику и успешно используется.

Д.В. УСКАЛОВА, Е.И. САРАПУЛЬЦЕВА

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.*

## **ЭКСПРЕСС-МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ МОРФОМЕТРИИ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ**

Разработана простая в использовании лабораторная тест-система прижизненной компьютерной морфофункциональной диагностики одноклеточных, позволяющая оценить уровень электромагнитного воздействия доступными лабораторными средствами.

Апробированный в работе экспресс-метод может быть предложен для ранней диагностики негативного влияния электромагнитных полей на подвижность сперматозоидов. Из литературы известно о значимом линейном увеличении с дозой снижения выживаемости и подвижности сперматозоидов после облучения *in vitro* с частотой сотовой связи. Как утверждают специалисты, это может быть одним из факторов, влияющих на мужское бесплодие.

М.Э. БУЗОВЕРЯ, И.В. ШИШПОР, Ю.А. ПРИСТАЛОВА

*ФГОУ ВПО «Саровский государственный физико-технический институт  
НИЯУ МИФИ», Нижегородская обл.*

## **ФРАКТАЛЬНАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ БИОЖИДКОСТЕЙ В ОЦЕНКЕ МАЛЫХ ДОЗ**

Предложен фрактальный подход при исследовании биологических жидкостей в диагностике состояния организма и оценке малых доз и уровней воздействия (ионизирующее излучение, электромагнитное излучение, специальные условия труда и др.).

Проведено исследование фрактальных свойств биологических жидкостей на разных масштабных уровнях: на оптическом уровне с использованием программно-аппаратного комплекса «Морфо», на наноуровне с использованием возможностей сканирующей зондовой микроскопии АСМ Solver Next. Оценены корреляционные связи между фрактальными характеристиками и морфологическими параметрами исследуемых объектов.

Показана возможность эффективного использования методов функциональной морфологии биожидкостей и фрактального подхода к параметризации изображений.

Н.А. КОРЕНЕВСКИЙ, И.И. ХРИПИНА, А.Н. ШУТКИН<sup>1</sup>,  
К.В. РАЗУМОВА

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск*

*<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Воронежский институт государственной  
противопожарной службы МЧС России»*

## **СИНТЕЗ КОЛЛЕКТИВОВ НЕЧЕТКИХ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

Рассмотрены вопросы синтеза решающих правил баз знаний медицинских экспертных систем для задач с плохоформализуемой структурой данных (прогнозирование, ранняя и дифференциальная диагностика, оптимизация профилактики и лечения). Показано, что для решения этого класса задач целесообразно использовать коллективы гибридных нечетких решающих правил, синтез которых производится на основе методов разведочного анализа. Разработаны методы синтеза и агрегации нечетких решающих правил на основе: правил нечеткого вывода Л. Заде; теории уверенности Е. Шортлифа; решающих правил, получаемых в интерактивном режиме; последовательной процедуры А. Вальда; метода группового учета аргументов; теории измерения латентных переменных.

С.А. ФИЛИСТ, Л.В. СТАРОДУБЦЕВА, Т.Н. ГОВОРУХИНА,  
С.Н. КОРЕНЕВСКАЯ

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНУТРЕННИХ СТРУКТУР ОРГАНИЗМА С ПОВЕРХНОСТНЫМИ МЕРИДИАННЫМИ СТРУКТУРАМИ**

Рассматриваются вопросы взаимодействия внутренних органов и систем человека через микрзоны ретикулярных формаций спинного мозга с акупунктурными точками образующими поверхностные меридианные структуры. Предлагаются различные типы математических моделей такого взаимодействия: на основе теории графов, систем управляемых операторов, на основе элементов теории автоматического управления, матриц нечетких взаимосвязей. Показано, что использование различных типов математических моделей позволяет повысить точность оценки энергетического состояния меридианных структур организма и оптимизировать процедуры рефлексодиагностики и рефлексотерапии.



Е.Ф. ИВАНУШКИН, О.Н. БУДАДИН, Б.М. САПРОНЕНКОВ<sup>1</sup>

*ООО «НПО «Институт термографии»*

*<sup>1</sup>Федерация хоккея России, Москва*

## **НЕИНВАЗИВНАЯ СКРИНИНГ-ДИАГНОСТИКА И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ МЕТОДОМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ИХ ТРАВМИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Разработанный метод обеспечивает диагностику физического состояния спортсмена и является инвариантным к видам спорта. Он основан на 3-D технологиях хронологического ретроспективного анализа данных спортсменов до, во время и после тренировок с использованием современных математических методов температурной томографии, распознавания образов и построения индивидуальных прогностических моделей. Время обследования одного спортсмена не более 2-3 мин. Эффективность разработанного комплекса подтверждена - по согласованию с Федерацией Хоккея России – путем обследования молодежной и национальной сборных хоккея (спортивная база г. Новогорск).

Э.И. НАСЫБУЛЛИНА<sup>1,2</sup>, О.В. КОСМАЧЕВСКАЯ<sup>2</sup>, К.Б. ШУМАЕВ<sup>2,3</sup>  
В.Г. НИКИТАЕВ<sup>1</sup>, А.Ф. ТОПУНОВ<sup>2</sup>

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>ФГБУН Институт биохимии им. А.Н. Баха Российской академии наук, Москва*

*<sup>3</sup>Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗРФ, Москва*

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ГЕМОГЛОБИНОПАТИЙ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

В группу гемоглобинопатий входят патологические состояния, обусловленные нарушением нормальной структуры гемоглобина (Hb) и/или мембраны эритроцита. Гемоглобинопатии бывают наследственные и «лекарственные». Наделяя каждый показатель анализа крови определенным критерием значимости, можно оптимизировать процесс диагностики и увеличить точность с 70 до 95%. Рассмотрены показатели: лейкоциты, тромбоциты, эритроциты, общий Hb и его дериваты, метHb, мембранно-связанный Hb, гематокрит, ССГ, СКГ, ширина эритроцитометрической кривой.

А.Ф. ТОПУНОВ<sup>1</sup>, Э.И. НАСЫБУЛЛИНА<sup>1,2</sup>, А.Я. ТИМОФЕЕВА<sup>1</sup>,  
О.В. КОСМАЧЕВСКАЯ<sup>1</sup>, К.Б. ШУМАЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт биохимии им. А.Н. Баха Российской академии наук, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ГЕМОГЛОБИНОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ**

В последнее время изучение гемоглобинов (Hb) привело к новым неожиданным результатам. Hb были найдены у новых организмов, а у «старых» организмов были открыты «новые» Hb. Не стал исключением и человек. Сейчас известно, что в организме человека одновременно или в разное время функционирует более 10 гемоглобинов, гены которых расположены в разных хромосомах. Это как давно известные различные цепи альфа- и бета-типов эритроцитарного Hb и миоглобин, так и открытые сравнительно недавно нейроглобин и цитоглобин. Особо следует отметить описанный в 2012 г. андроглобин. Все эти Hb различаются по свойствам и могут различаться по своим функциям. Детальное выяснение механизмов их функционирования необходимо для понимания их роли у человека в норме и при различных патологиях.

В.Г. НИКИТАЕВ, А.Н. ПРОНИЧЕВ, В.А. ВЛАСОВ, С.В. ВЛАСОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГИСТОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ «АТЛАНТ»**

Комплекс «Атлант» является важнейшим инструментом для реализации технологии поддержки принятия врачебных решений на базе экспертных систем и дистанционного консультирования. На базе этой системы создана телемедицинская сеть «РОСАТОМ-ФМБА-МИФИ» с центром управления на кафедре «Компьютерные медицинские системы» Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) для решения задач повышения качества диагностики онкологических заболеваний. Анализ опыта практического применения комплекса Атлант показал, что с его применением молодые врачи (стаж работы до 5 лет) допускали ошибку в сложных случаях диагностики лишь в 5% случаев, в то время как при самостоятельно проводимой диагностике (без применения комплекса) ошибки в сложных случаях составили 25%.

Е.В. ПОЛЯКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЛИМФОЦИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Применение новейших диагностических технологий не заменяет исследование клеточного состава периферической крови и костного мозга под микроскопом, в ходе которого проводится морфологическое исследование и дифференциальный подсчет лейкоцитов по типам. Результат исследования субъективен и зависит от опыта и квалификации врача. Для объективизации и проведения дифференциальной диагностики используются в основном два типа систем, проточные и на базе компьютерного анализа микроскопических изображений. В докладе представлен обзор основных видов систем, достоинства и недостатки состояния и перспективы развития. Предложен подход к совершенствованию систем компьютерной микроскопии.

В.В. СЕЛЕГЕЙ, А.Н. ПРОНИЧЕВ, Е.В. ПОЛЯКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРЫ РЕЗКОСТИ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

При диагностике онкологических заболеваний широко используются микроскопические методы исследования цитологических препаратов. Для повышения объективности и снижения трудоемкости таких исследований ведутся работы по их автоматизации. Одной из решаемых проблем является автоматическая фокусировка микроскопической системы. Предложен метод определения меры резкости, который позволяет из серии изображений выбрать наиболее резкое изображение. Представлены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности предложенного метода.

И.Ю. БОРЩЕВА, В.Ю. СЕЛЬЧУК<sup>1,2</sup>, В.Г. НИКИТАЕВ,  
В.В. ДМИТРИЕВА.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина, Москва*

## **СИСТЕМА РАСЧЕТА НАГРУЗОК И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ТРАНСПЛАНТАТОВ ПРИ ПЛАСТИКЕ БЕДРА**

Подходы к решению проблем костной пластики всегда индивидуальны, и конечный результат операции зависит как от общего состояния и возраста больных, так и от протекания послеоперационного периода. По статистике в половине случаев у пациентов в период реабилитации возникают так называемые перегрузочные переломы. Они возникают в результате оказания на зону пересадки механических нагрузок. Для положительного результата лечения при выполнении костной пластики необходимо учесть всех нагрузок, оказываемых на пересаживаемый трансплантат. В связи с этим возникла необходимость разработки системы расчета нагрузок и моделирования трансплантата перед проведением операции. Данная работа позволит повысить процент приживаемости трансплантата и избежать перегрузочных переломов в послеоперационный период.

А.А. СОЛОВЬЯНЧИК<sup>1</sup>, В.Ю. СЕЛЬЧУК<sup>1,2</sup>, В.Г. НИКИТАЕВ<sup>1</sup>,  
В.В. ДМИТРИЕВА<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина, Москва*

## **ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПЛАНТА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ**

Лечение пациентов с дефектами верхней и нижней челюстей остается актуальной проблемой челюстно-лицевой хирургии во всем мире. Современные методы пластики нижней челюсти основаны на применении метода аутотрансплантации в сочетании с использованием металлоконструкций. При выполнении операции восстановительной хирургии челюсти необходимо учитывать внутренние напряжения, которые должны выдерживать имплантаты после установки. Создание системы, способной оценить физические характеристики имплантатов, позволит повысить эффективность операций восстановительной хирургии челюстного аппарата и уменьшить время выбора и изготовления имплантатов.

С.О. НАВОЛЬНЕВ

*ФГБУ НИИ эпидемиологии и микробиологии им Н.Ф. Гамалеи, Москва*

## **ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ОТ МИКРОСКОПА СО СВЕРХВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

Предел чувствительности светового микроскопа около 300 нанометров, что гораздо больше размера белковых молекул. В результате возможен анализ только «интегральных показателей», крупных структур, состоящих из множества белковых и других молекул. Появление микроскопов со сверхвысоким разрешением и пределом чувствительности 40-10 нанометров и менее позволяет следить за отдельными крупными белками. Поскольку белки ответственны за функциональное состояние клетки, то появляется возможность следить за отдельными функциями в клетке. Обработка образцов позволяет не убивать клетку и следить за ней во времени, что открывает огромные возможности для слежения за функциональным состоянием клеток в норме и патологии. В клетках могут функционировать одновременно тысячи разных белков, что ведет при анализе к появлению множества новых параметров, не использовавшихся ранее в программах компьютерной микроскопии. Это приводит к увеличению объема собираемой информации, потребует использования процессоров с повышенной скоростью.



*Секция*

**БИОФИЗИКА**



Руководитель – *Андреев С.Г.*, к.ф.-м.н., доцент кафедры № 35  
Секретарь – *Кофанова О.А.*, инженер кафедры № 35

Тел.: (495) 323-93-99, (495) 323-94-03  
E-mail: [olga.kofanova@gmail.com](mailto:olga.kofanova@gmail.com)

С.С. БАРТЕНЕВА, **В.М. ПЕТРОВ**, С.Г. АНДРЕЕВ<sup>1,2</sup>

*ФГБУ науки ГНЦ РФ ИМБП РАН, Москва*

<sup>1</sup>*ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **КАЛИБРОВКА БИОДОЗИМЕТРА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ**

В докладе приводится метод получения и калибровочная кривая, основанная на данных о дозовых зависимостях выхода хромосомных aberrаций для моноэнергетических пучков протонов с энергетическим спектром от 50 до 645 МэВ и энергетическом спектре протонов в магнитосфере Земли. Обсуждается ее применимость к анализу данных по выходу хромосомных aberrаций у космонавтов в зависимости от дозы, полученной за полет.

Е.П. ДАНИЛОВА<sup>1,2</sup>, И.С. ЛЕБЕДЕВА<sup>2</sup>, А.С. ТОМЫШЕВ<sup>2</sup>,

П.С. КАНОНОВИЧ<sup>2</sup>, М.В. УБЛИНСКИЙ<sup>3</sup>,

Н.А. СЕМЕНОВА<sup>3</sup>, Т.А. АХАДОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*ФГБУ «НЦПЗ» РАМН, Москва*

<sup>3</sup>*НИИ НДХиТ, ДЗ, Москва*

### **ПРОВОДЯЩИЕ ПУТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА РАННИХ ЭТАПАХ ШИЗОФРЕНИИ**

20 больных шизофренией мужчин (18-27 лет) и 20 подобранных по возрасту психически здоровых мужчин обследовали на томографе 3T Philips Achieva (Голландия), анализ состояния белого вещества осуществляли методом диффузионно-тензорной томографии. Для обработки изображений использовали программный пакет FSL (Functional MRI Software Library). Обнаружены множественные зоны межгрупповых различий по показателю фракционной анизотропии, в том числе, включающие области в мозолистом теле, лобных и затылочных долях. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых клинически значимых маркеров состояния головного мозга.

Исследование было поддержано грантом РФФИ 12-06-00284.



Т.И. ВЫШЕГОРОДЦЕВА<sup>1</sup>, Е.В. ШЕШЕГОВА<sup>2</sup>, Я.Р. НАРЦИССОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>НИИ цитохимии и молекулярной фармакологии, Москва

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНДРОМА ДЕФИЦИТА ВНИМАНИЯ И ГИПЕРАКТИВНОСТИ НА КРЫСАХ**

Синдром дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) – форма минимально-мозговой дисфункции, характеризующаяся гиперактивностью, импульсивностью и дефицитом внимания. Линия крыс SHR со спонтанной гипертензией является наиболее распространенной моделью СДВГ на животных. В настоящей работе проводилось исследование поведенческих реакций крыс SHR и WKY при пероральном введении глицина в приподнятом крестообразном лабиринте с использованием интегральной балльной оценочной шкалы. После введения глицина понизился интегральный уровень тревожности у крыс обеих линий, исследовательский компонент повысился у крыс линии WKY и понизился у крыс линии SHR на фоне гиперактивности.

С.Ю. КОТОВ<sup>1</sup>, А.Г. ШУБНЫЙ<sup>1</sup>, Ю.А. ЭЙДЕЛЬМАН<sup>1,2</sup>, С.Г. АНДРЕЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

## **ПОЛИМЕРНЫЕ МОДЕЛИ ХРОМОСОМ**

Обсуждаются подходы к моделированию упаковки хроматина в составе хромосом в клетке на основе физики полимеров. Варьируя потенциалы взаимодействия между элементами цепи, а также вводя различные внешние поля, удается получать разные макроскопические состояния полимерных цепей (клубок, глобула, глобула с микрофазовым расслоением), которые могут описывать свойства хромосом в ядре. В рамках динамической модели хроматина методом Монте-Карло изучается поведение полимеров в растворе в зависимости от кинетики взаимодействия (сорбции-десорбции) белковых шшивок с хроматином. Обнаружен дискретный спектр макроскопических состояний системы, определены условия их возникновения в зависимости от параметров модели. Обсуждается возможность описания макроскопических параметров хромосом в клетке на основе предложенных модельных полимерных систем.

Н.М. ЛИПУНОВ, О.Н. МАТЧУК, И.А. ЗАМУЛАЕВА  
*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

### **ВЛИЯНИЕ $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОПУЛЯЦИЮ ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК И ПРОЦЕСС ЭПИТЕЛИАЛЬНО-МЕЗЕНХИМАЛЬНОЙ ТРАНЗИЦИИ В КУЛЬТУРАХ ЛИНИЙ HeLa И MCF-7**

Исследовано влияние  $\gamma$ -облучения в дозах 1-20 Гр на популяцию опухолевых стволовых клеток (ОСК) и экспрессию виментина – одного из маркеров эпителиально-мезенхимальной транзиции (ЭМТ). ОСК идентифицировали в культурах раков молочной железы MCF-7 и шейки матки HeLa с помощью проточной цитометрии по исключению красителя Хёхст 33342. Экспрессию виментина оценивали с помощью лазерной микроскопии. Установлена статистически значимая корреляция между радиационно-индуцированным увеличением количества ОСК и возрастанием экспрессии виментина в клетках исследованных линий. Результаты подтверждают предположение об участии ЭМТ в поддержании популяции ОСК.

С.А. МАКАРЕНКО, И.А. ЗАМУЛАЕВА, С.Г. СМИРНОВА  
*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

### **ВЛИЯНИЕ ФОТОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПУХОЛЕВЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ *IN VITRO***

Исследовано влияние фотодинамического воздействия на популяцию SP клеточных линий меланомы В-16 и рака молочной железы MCF-7, характеризующуюся свойствами опухолевых стволовых клеток. Методами исследования явились проточная цитофлуориметрия с возможностью сортировки и лазерная сканирующая микроскопия, был использован фотосенсибилизатор «Фотолон», активация которого производилась лазерным излучением. Получены закономерности накопления фотосенсибилизатора в клетках основной и SP-популяций указанных линий в зависимости от времени и концентрации препарата. На отсортированных клетках указанных популяций показана высокая эффективность фотодинамического воздействия на опухолевые стволовые клетки различных линий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№13-04-01721).

О.Н. МАТЧУК, И.А. ЗАМУЛАЕВА

*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

## **СРАВНЕНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОННОГО И $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ**

Опухолевые стволовые клетки (ОСК), существование которых показано в клеточных линиях и опухолях различной локализации, обладают повышенной резистентностью к большинству противоопухолевых воздействий. Нами изучена чувствительность ОСК, выявляемых методом «боковой популяции» (side population), к действию редко- и плотно-ионизирующего излучения на примере клеточных культур В16 меланомы и MCF-7 аденокарциномы молочной железы. Установлено, что резистентность ОСК к действию  $\gamma$ -излучения значимо выше по сравнению с остальной массой клеток в диапазоне доз до 20,0 Гр. Чувствительность опухолевых стволовых и не стволовых клеток к нейтронному излучению не отличалась, что обосновывает высокую эффективность его применения в радиотерапии опухолей.

И.К. ХВОСТУНОВ, Н.Н. ШЕПЕЛЬ, О.Н. КОРОВЧУК,  
Е.В. ГОЛУБ, В.Ю. НУГИС<sup>1</sup>

*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

<sup>1</sup> *ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ БИОДОЗИМЕТРИИ ПО ХРОСОМОНЫМ АБЕРРАЦИЯМ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА**

Путем анализа накопленных данных обследования аварийно облучившихся лиц предложен метод ретроспективной оценки дозы по частоте aberrаций хромосом в отделенном периоде. Для этого использовались результаты обследования 14 человек с клиническими проявлениями острой лучевой болезни и дозами общего облучения в пределах 0.9-4.0 Гр. Период наблюдения варьировался от нескольких дней до 30 лет после облучения. Результаты включали 14 анализов частоты дицентриков в начальный период и 33 анализа частоты транслокаций в отдаленном периоде. Предложенный метод позволяет реконструировать начальную частоту дицентриков и устранить систематическое занижение оценки дозы.

Д.А. ПОДВЯЗНИКОВ<sup>1,2</sup>, М.С. ШУПЛЕЦОВ<sup>1,3</sup>, Л.И. ГОЛУБЕВА<sup>1</sup>,  
С.С. РУБИНА<sup>1</sup>, С.В. МАШКО<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «НИИ Аджиномото-Генетика», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. Ломоносова

## **РАСШИРЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПОТОКОВ МЕТОДОМ <sup>13</sup>С-ФЛУКСОМИКИ**

Применение метода <sup>13</sup>С-флюксомии на практике невозможно без специально разработанного программного обеспечения. Возможности программы с открытым кодом OpenFLUX были расширены для расчета внутриклеточных потоков на базе параллельных экспериментов – современного подхода, обеспечивающего наиболее точную количественную характеристику метаболических карт. Также была введена возможность предсказания метки для единичных экспериментов, оптимальной для разрешения набора целевых потоков. Результаты представленной работы вошли в состав научной публикации.

Л.В. РАЗОВА

*ФГБУ здравоохранения КБ № 85 ФМБА России, Москва*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТА КОЛМОГорова–СМИРНОВА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТАЮЩИХ ЖЕНЩИН МИНАТОМПРОМА**

Целью работы было изучение особенностей гормонального профиля женщин предприятия Минатомпрома и выявление корреляций. Было проведено реальное клиническое исследование без выборки. Возрастная группа исследованных приходилась на период перименопаузы и менопаузы. Основной характеристикой этого периода с позиции нейроэндокринологии является гипогонадотропный гипогонадизм. Проводилось исследование лютеинизирующего, фолликулостимулирующего, тиреотропного и паратиреоидного гормонов. Статистическая обработка проведена для 135 женщин в возрасте от 18 до 85 лет (медиана 53 года, интерквартильный размах {44; 61} средний возраст  $52,39 \pm 1,16$  (M $\pm$ m)). Выявлена статистически достоверная зависимость (с высокой степенью корреляции) изменения (нарастания) ФСГ от возраста. Результаты анализа соотношения ФСГ/ЛГ показали важную корреляционную связь с изменением ПТГ.

М.В. ПУСТОВАЛОВА, И.В. ОЗЕРОВ<sup>1</sup>, Н.М. СМЕТАНИНА<sup>1</sup>,  
А.К. ГРЕХОВА<sup>1</sup>, Н.Ю. ВОРОБЬЕВА<sup>1</sup>, С.Г. АНДРЕЕВ<sup>2,3</sup>, А.Н. ОСИПОВ<sup>1</sup>  
*ФГБУ науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва*  
<sup>1</sup>*ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва*  
<sup>2</sup>*ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*  
<sup>3</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОКУСОВ БЕЛКОВ РЕПАРАЦИИ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК В ФИБРОБЛАСТАХ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА, ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

В докладе представлены результаты иммуноцитохимического анализа фокусов белков репарации двуниевых разрывов ДНК ( $\gamma$ H2AX, 53BP1 и RAD51) в клетках первичной культуры фибробластов кожи человека, облученных рентгеновским излучением в различных дозах. Приводится подробное описание изменений количества, размеров, интенсивности флуоресценции и со-локализации фокусов белков репарации ДР в зависимости от дозы и времени после облучения.

В.С. ПЯТЕНКО<sup>1,2</sup>, И.К. ХВОСТУНОВ<sup>2</sup>, Ю.А. ЭЙДЕЛЬМАН<sup>1,3</sup>,  
С.Г. АНДРЕЕВ<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва*

<sup>2</sup>*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ЗАВИСИМОСТЬ ДОЗА-ЭФФЕКТ ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОСОМ В КЛЕТКАХ СНО**

Исследовались дицентрики в потомках облученных клеток в различные сроки после облучения (нестабильность хромосом, РИНХ). Зависимость доза-эффект для РИНХ линейна в диапазоне 1-5 Гр. В области 0.1-1 Гр также наблюдается рост частоты по сравнению с контролем. Была исследована более детальная характеристика, зависимость доза-время-эффект. Дозовая зависимость меняется в зависимости от времени между облучением и наблюдением дицентриков в потомках в пределах 1-17 суток. Наблюдаемые зависимости доза-время-эффект согласуются с теорией, предсказывающей кинетическую природу дозовой зависимости РИНХ.

И.В. САЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, Ю.А. ЭЙДЕЛЬМАН<sup>1,2</sup>, С.Г. АНДРЕЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

## **РЕПАРАЦИЯ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК, БИОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Радиационно-индуцированные двунитевые разрывы (ДР) ДНК измеряют с помощью геля-электрофореза или флуоресцентных маркеров белков репарации (гамма-фокусов). Обоиими методами наблюдается двустадийная кинетика репарации ДР. С помощью моделирования выделения энергии треков заряженных ионов в субклеточных мишенях (ДНК, хроматин, хромосомы) рассчитывается выход различных типов повреждений генетических структур для разных доз и ЛПЭ излучения. Предсказываются повреждения каждой хромосомы в области активного-неактивного хроматина. Получена кинетическая кривая исчезновения гамма-фокусов для некоторых ЛПЭ. Расчеты с учетом различной скорости репарации в активном и неактивном хроматине объясняют двустадийный характер кинетики репарации двунитевых разрывов.

И.К. ХВОСТУНОВ, Л.В. КУРСОВА, Н.Н. ШЕПЕЛЬ,  
О.Н. КОРОВЧУК, Ю.А. РАГУЛИН

*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «ФМИЦ им. П.А. Герцена»  
Минздрава России, Обнинск, Калужская обл.*

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОЗИМЕТРИЯ ЛОКАЛЬНОГО ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЕГКОГО**

В работе проанализированы возможности биологической дозиметрии при локальном фракционированном облучении человека в суммарной очаговой дозе от 47,5 до 70 Гр, используя частоту aberrаций хромосом в лимфоцитах крови онкологических пациентов. В работе представлены результаты цитогенетического обследования 17 больных раком легкого с II-IV клиническими стадиями после курса дистанционной лучевой терапии с использованием гамма-излучения 60-Со. В результате предложена и обоснована полумпирическая модель локального фракционированного облучения, позволяющая вычислять суммарную очаговую дозу, используя частоту нестабильных хромосомных aberrаций на момент окончания курса лучевой терапии.

Ю.А. ЭЙДЕЛЬМАН<sup>1,2</sup>, С.В. СЛАНИНА<sup>2</sup>, С.Г. АНДРЕЕВ<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>ФГБУ науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ  
ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ  
РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ХРОМОСОМНОЙ  
НЕСТАБИЛЬНОСТИ**

Радиационно-индуцированная нестабильность хромосом (РИНХ) есть повышенный уровень нестабильных хромосомных aberrаций в потомках облученных клеток. Дозовые зависимости РИНХ и хромосомных aberrаций, наблюдаемых в первом пострadiационном митозе, отличаются по форме, однако природа отличий остается не выясненной. В данной работе дозовая зависимость РИНХ для дицентриков исследовалась на основе биофизической модели, учитывающей кинетику перехода клеток между фазами клеточного цикла, генерацию разрывов ДНК в потомках облученных клеток, формирование aberrаций хромосомного и хроматидного типа, гибель клеток с дицентриками, цикл разрыва-воссоединения анафазных мостов. На основе предложенной модели проведен анализ экспериментальных данных по РИНХ, дана оценка вклада различных механизмов.





**Конференция**  
**«НАНОСТРУКТУРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

*Секция*

**РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**



Руководитель – *Телец В.А.*, директор Института экстремальной  
прикладной электроники НИЯУ МИФИ  
Секретарь – *Уланова А.В.*, доцент кафедры № 3

Тел. (499)324-04-20 , (495)984-67-44  
Факс (499)324-04-20, (499)324-32-95  
E-mail: VATelets@mephi.ru, avulan@spels.ru

А.С. АРТАМОНОВ<sup>1</sup>, А.И. ЧУМАКОВ<sup>1</sup>, В.А. ХАРИТОНОВ<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>ГК «Росатом», Москва

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИРОСКОПОВ В ПОЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ГАММА-УСТАНОВКИ**

Представлены результаты экспериментальных исследований радиационного поведения двух типов гироскопов фирм Systron Donner Inertial и STMicroelectronics в поле импульсной гамма-установки «АРСА». Предложена и апробирована методика проведения экспериментальных исследований. Приведены результаты экспериментальных исследований, по результатам анализа которых выявлено отсутствие катастрофических отказов до уровня около  $10^{10}$  ед./с. Вместе с тем в одном типе гироскопа выявлено, что выходной сигнал после воздействия не восстанавливается до начального уровня и при этом имеет место снижение тока потребления.

К.Э. ЛЕВИН<sup>1</sup>, К.А. ПЕТРОВ<sup>2</sup>, В.Я. СТЕНИН<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>НИИ системных исследований РАН, Москва

## **ЭЛЕМЕНТЫ КОДИРОВАНИЯ-ДЕКОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ 28-нм КМОП ОЗУ**

Проведен анализ кодеров-декодеров, применяемых в ОЗУ для повышения надежности хранения данных при воздействиях одиночных ядерных частиц. Декодер Хсяо при равном количестве проверочных битов имеет меньшую задержку прохождения сигналов, чем декодер модифицированного кода Хэмминга, а декодер расширенного кода Хсяо с дополнительными проверочными битами имеет наименьшую задержку среди всех декодеров. Использование в 28-нм КМОП ОЗУ декодеров Хсяо с блоками с укороченной схемой коррекции, симметрично-упрощенной схемой вычисления вектора ошибки и схемой формирования сигналов ошибки без использования вектора ошибки позволяет уменьшить длину критических путей и снизить аппаратные затраты для случаев, когда исключается обнаружение трехкратных ошибок.

В.Я. СТЕНИН, Ю.В. КАТУНИН, П.В. СТЕПАНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭЛЕМЕНТЫ ЧТЕНИЯ ДАННЫХ В НЕСТАЦИОНАРНОМ СОСТОЯНИИ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОДИНОЧНЫХ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ 28-нм КМОП DICE ОЗУ**

КМОП ячейки памяти DICE при воздействии одиночной ядерной частицы переходят в нестационарное состояние, из которого либо возвращается в исходное состояние, либо происходит сбой. У ячеек DICE с разделенными на две группы транзисторами, которые разнесены на кристалле ОЗУ на расстояние, снижающее вероятность сбоя хранимых данных, длительность нестационарного состояния может достигать 1 нс. В этом состоянии можно осуществлять чтение данных, определяя два (из четырех) вывода ячейки DICE, которые сохраняют исходные состояния до воздействия. Моделирование двух вариантов схемотехники КМОП элементов чтения подтвердили реальность чтения данных в статических КМОП 28 нм ОЗУ при нестационарных состояниях ячеек памяти DICE, время задержки сигнала при чтении 70-160 пс.

Д.А. ДОМОЖАКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОК В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ**

К современным приемопередатчикам ответственного применения предъявляются повышенные требования по допустимому числу ошибок, зависящему, в частности, от формы передаваемых и принимаемых сигналов. Важным критерием оценки работы приемопередающего тракта является параметр BER ( Bit Error Rate ) – число ошибок, деленное на общее число переданных бит за тестовый интервал. В данной работе предложена методика расчета вероятности возникновения ошибок в тракте приемник – передатчик. Проанализирован вклад амплитудных и фазовых искажений. Произведен сравнительный анализ с подобными решениями других авторов. Разработанный алгоритм предназначен для оценки целостности передаваемых данных на этапе проектирования.

А.В. КОБЫЛЯЦКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИНХРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ СЧИТЫВАНИЯ В КМОП ОЗУ**

Рассмотрены основные преимущества и недостатки применения синхронных и асинхронных усилителей считывания (УС) в КМОП СФ-блоках и базовых секциях СБИС статических ОЗУ специального назначения. Перечислены основные особенности конструктивно-топологической реализации УС. Осуществлен сравнительный анализ топологий УС, реализованных по технологии 90 нм. Моделирование топологий по результатам экстракции паразитных параметров выявило наиболее приоритетную реализацию, позволяющую достичь наилучших значений параметров УС.

Э.В. АТКИН, Е.З. МАЛАНКИН, Д.Д. НОРМАНОВ, В.В. ШУМИХИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПРОТОТИПНАЯ МИКРОСХЕМА СЧИТЫВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Представлен прототип интегральной микросхемы, включающий в себя два типа каналов с собственным уровнем шума не более 12 е- для построения многоканальных интегральных схем обработки сигналов полупроводниковых детекторов рентгеновского излучения. Канал первого типа включает в себя: зарядо-чувствительный усилитель с внешним головным полевым транзистором, усилитель-формирователь 6-го порядка и схему формирования сигнала сброса ЗЧУ. Канал второго типа включает в себя: ЗЧУ со встроенным головным МОП-транзистором, усилитель-формирователь 6-го порядка и схему внутреннего сброса ЗЧУ. Микросхема изготовлена по КМОП технологии с проектными нормами 0,35 мкм компании AMS (Австрия). Предусилители оптимизированы для работы с кремниевыми дрейфовыми детекторами PNDetector GmbH типа PS3-10-128pnW с ёмкостью анода до 200 фФ.

Д.Д. НОРМАНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МЕТОД И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ НЕПОСТОЯННОГО ВО ВРЕМЕНИ ПОТОКА ДАННЫХ С МНОГОКАНАЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

Рассматривается метод асинхронной обработки непостоянного во времени потока данных с многоканальных детекторов для аппаратуры ускорительного комплекса ФАИР (Дармштадт, Германия). Предлагаемая структурная схема состоит из:  $N$  аналоговых каналов которые считывают сигналы с детекторов (зарядо-чувствительный усилитель, усилитель формирования); блока арбитража с матрицей ключей, фильтрующего аналоговые сигналы, по критерию превышения амплитуды сигнала над заданным порогом;  $M$  каналов цифровой обработки, причем  $M < N$ , выделяющих амплитуду сигнала, номер и время появления сигнала в канале. Рассматриваются 2 прототипа микросхем, спроектированных с применением данного метода, выполненных по КМОП технологии с проектными нормами 0,18 мкм компании UMC (Тайвань). Приводится сравнение методов асинхронной обработки непостоянного во времени потока данных.

Ю.А. ВОЛКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМ ВЛИЯНИЕМ МЕЖКАСКАДНЫХ ПАРАЗИТНЫХ РЕАКТИВНОСТЕЙ**

Обосновывается целесообразность построения высокочастотных многокаскадных усилителей, между каскадами которых осуществляется режим рассогласования импедансов. Этот режим позволяет заметно повысить чувствительность характеристик усилителя к паразитным (конструктивным) емкостям и индуктивностям между каскадами. Предлагается процедура синтеза таких усилителей, эффективность и наглядность которой обеспечивается использованием метода сигнальных графов.

Ю.А. ВОЛКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ОБ ОСНОВНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

Предлагается количественный критерий выявления одного (среди других возможных) коэффициента передачи, обладающего наименьшей чувствительностью к дестабилизирующим факторам. Показано, что именно с помощью этого коэффициента, названного в работе основным, целесообразно проводить оценку усилительных возможностей конкретной схемы, в противном случае оценки качества усилителя и чувствительности его характеристик могут оказаться необъективными.

Ю.А. ВОЛКОВ, И.И. ИЛЬЮЩЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ТЕНДЕНЦИИ В РЕАЛИЗАЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОСХЕМ ДЕТЕКТОРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Приводятся результаты анализа литературных источников – статей, материалов научных конференций – по созданию микроэлектронной базы устройств сбора и обработки сигналов детекторов ионизирующего излучения в крупных физических экспериментах. Результаты анализа сведены в обобщающую таблицу, содержащую название физического эксперимента, в рамках которого осуществлена разработка микросхемы, а также информацию о числе каналов, технологии изготовления, потребляемой мощности на канал, уровне шумов, коэффициенте преобразования входного зарядового сигнала и т.д.

И.С. БУЛЬБАКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМЫ ИСТОЧНИКА ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА BANDGAP В КМОП-ТЕХНОЛОГИИ 180 НМ**

Описывается принцип действия исследуемой схемы источника опорного напряжения, которое равно ширине запрещенной зоны полупроводника при абсолютном нуле температур. Представлена электрическая принципиальная схема и приведены результаты ее моделирования в системе автоматизированного проектирования Cadence Virtuoso. Схема выполнена в технологической библиотеке КМОП-технологии с проектными нормами 180 нм, предоставленной компанией United Microelectronics Corporation (Тайвань). Температурный коэффициент опорного напряжения в диапазоне от -60 до + 70 °С составил 20.1 ppm/°С.

А.В. ГУСЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **МОДИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ТИПА SALLEN-KEY**

Описывается модификация фильтра типа Sallen-Key (классической структуры неинвертирующего активного аналогового фильтра). Плюсом этого фильтра является меньшая склонность к генерации, в отличие от инвертирующих активных фильтров. Выявлено новое качество, с помощью которого фильтр типа Sallen-Key можно выполнить инвертирующим, используя дополнительный усилитель между входами фильтра. Приведена принципиальная электрическая схема, проведено моделирование в системе автоматизированного проектирования Cadence Virtuoso. Также рассмотрена передаточная функция фильтра и отмечены ее частные случаи. Описанная схема может применяться в случае, когда одновременно необходима высокая стабильность и требуется инверсия сигнала.

П.П. ПАРЫГИН<sup>1</sup>, Е.В. ПОПОВА<sup>1</sup>, Э. ГАРУТТИ<sup>2</sup>, Й. ШВАНД<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Universität Hamburg, Institut für Experimental physic, Germany

## **РАЗРАБОТКА РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ SYNOPSIS TCAD**

Кремниевые фотоумножители – это полупроводниковые устройства с высоким внутренним усилением, позволяющие регистрировать единичные фотоны. Лимитирующим фактором их использования в ядерной физике является радиационная стойкость. Было произведено моделирование приборов в среде Synopsys TCAD. По разработанному маршруту изготовлены экспериментальные образцы и облучены разными дозами гамма-квантов с энергией  $E \approx 12$ кэВ. Для изучения влияния радиационного воздействия были сняты вольт-амперные характеристики приборов до и после облучения и сопоставлены с результатами моделирования.

И.О. МЕТЕЛКИН<sup>1,2</sup>, Н.А. УСАЧЕВ<sup>1,2</sup>, В.В. ЕЛЕСИН<sup>1,2</sup>,  
Г.Н. НАЗАРОВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ МОЩНОСТИ ДОЗЫ В СУБМИКРОННЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ НА КНИ-СТРУКТУРАХ**

Представлены результаты моделирования эффектов воздействия импульсного ионизирующего излучения в субмикронных радиочастотных МОП-транзисторах на КНИ-структурах (МОПТ КНИ), полученные с использованием ПО Sentaurus TCAD. Калибровка трехмерной приборно-технологической модели МОПТ КНИ проведена по экспериментальным ВАХ и S-параметрам. Показано, что адекватное моделирование доминирующих эффектов: суперлинейной зависимости амплитуды ионизационной реакции (ИР) тока стока от мощности дозы и долговременной релаксации S21, требует настройки модели по экспериментальным амплитудно-временным характеристикам ИР тока стока.



Д.М. АМБУРКИН<sup>1,2</sup>, В.В. ЕЛЕСИН<sup>1,2</sup>, Г.Н. НАЗАРОВА<sup>1,2</sup>,  
Г.В. ЧУКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»

## **РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЙ МОНОЛИТНЫЙ КМОП КНИ ГЕНЕРАТОР, УПРАВЛЯЕМЫЙ НАПРЯЖЕНИЕМ L-ДИАПАЗОНА**

На основе анализа доминирующих эффектов воздействия импульсного ионизирующего излучения в интегральных схемах (ИС) КМОП КНИ генераторов, управляемых напряжением (ГУН), предложены схемотехнические и топологические решения, направленные на обеспечение требований радиационной стойкости (РС). Указанные решения использованы при проектировании ИС ГУН L-диапазона из состава БИС навигационного радиоприемного устройства. Согласно представленным результатам экспериментальных исследований, решения обеспечили увеличение уровня функционального сбоя на 2 порядка.

Д.И. СОТСКОВ<sup>1,2</sup>, Г.Н. НАЗАРОВА<sup>1,2</sup>, Н.А. УСАЧЕВ<sup>1,2</sup>,  
Г.В. ЧУКОВ<sup>1,2</sup>, В.В. ЕЛЕСИН<sup>1,2</sup>, В.А. ТЕЛЕЦ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»

## **ПОКАЗАТЕЛИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИС-ГЕНЕРАТОРОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЧ-ДИАПАЗОНА**

Проведен обзор показателей радиационной стойкости ИС-генераторов, управляемых напряжением (ГУН), изготовленных по технологиям: КМОП КНИ, SiGe БиКМОП и GaAs ГБТ. С учетом анализа доминирующих радиационных эффектов разработан ряд радиационно-стойких гибридных и монолитных ГУН с диапазоном частот от 200 МГц до 24 ГГц для применения в аппаратуре космического и специального назначения. Приведены рекомендации по области применения ГУН с точки зрения стойкости к дозовому и импульсному воздействиям ИИ, чувствительности к эффектам ОЯЧ и структурным повреждениям.

К.М. АМБУРКИН<sup>1,2</sup>, В.В. ЕЛЕСИН<sup>1,2</sup>, А.Г. КУЗНЕЦОВ<sup>1,2</sup>,  
Д.В. САВЧЕНКОВ<sup>1,2</sup>, Г.В. ЧУКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В СВЧ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ**

Представлены результаты экспериментальных исследований ионизационных эффектов в СВЧ интегральных схемах на основе арсенида галлия при воздействии импульсного ионизирующего излучения и тяжелых заряженных частиц, полученные с использованием моделирующих установок и лазерных источников с перестройкой длины волны. По результатам сравнительного анализа доминирующих эффектов предложены методические рекомендации по практическому использованию лазерных методов моделирования объемных и локальных ионизационных эффектов на этапах проектирования и испытаний СВЧ интегральных схем на основе арсенида галлия.

Д.В. САВЧЕНКОВ, А.Г. КУЗНЕЦОВ, А.В. ЯНЕНКО

*ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы», Москва*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТ ИОНИЗАЦИОННОЙ РЕАКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЧЕНИЙ SET В СВЧ-СМЕСИТЕЛЯХ**

Чувствительность интегральной схемы (ИС) к воздействию отдельных ядерных частиц (ОЯЧ) в космосе характеризуется зависимостью сечения одиночных эффектов (ОЭ) от линейных потерь энергии (ЛПЭ) частицы. В работе были получены зависимости сечения эффектов «иглоков» (SET) от энергии лазерного излучения, а также карты распределения значения амплитуды импульса ионизационной реакции по площади кристалла для двух СВЧ-смесителей. Показано, что учет этого распределения повышает достоверность оценок зависимости сечения иглоков от ЛПЭ ОЯЧ по результатам испытаний на лазере и ускорителе ионов.

А.А. ПЕЧЕНКИН, Д.В. САВЧЕНКОВ, А.Б. БОРУЗДИНА  
*ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы», Москва*

## **СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЯ ИОНОВ И ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО ТИРИСТОРНОМУ ЭФФЕКТУ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЛОКОВ СОЗУ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ОДНОМ ТЕСТОВОМ КРИСТАЛЛЕ**

Традиционные методы испытаний КМОП ИС на стойкость к воздействию ТЗЧ с использованием ускорителя ионов позволяют определить только параметры чувствительности, усредненные по всему испытываемому кристаллу. Задача сравнения стойкости различных топологических решений на одном кристалле может быть решена только с использованием сфокусированного лазерного воздействия на определенные участки кристалла. В работе показаны результаты совместного использования ускорителя ионов и лазерной установки, позволившего получить независимые оценки параметров чувствительности по тиристорному эффекту для каждого из четырех типов блоков СОЗУ, которые имеют значительную неоднородность степени покрытия металлизацией.

А.Л. ВАСИЛЬЕВ, А.Г. ПЕТРОВ, А.Б. БОРУЗДИНА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВТОРНЫХ СБОЕВ В ОЗУ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ**

При испытаниях микросхем ОЗУ на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц возможно занижение результата в оценке количества произошедших сбоев в ячейках памяти между двумя циклами считывания информации, в связи с повторными сбоями которые могут произойти в одной и той же ячейки. В работе представлены результаты моделирования повторных сбоев в ОЗУ численным методом Монте-Карло и на ускорителе ионов. Полученные данные позволяют оценить систематическую и относительную погрешность при определении числа сбоев в ОЗУ в зависимости от количества событий инверсии информации в ячейках. Результаты работы возможно использовать для определения систематической ошибки сечения сбоев в ОЗУ вносимой повторными сбоями, а также для снижения этой ошибки при выборе условий проведения испытаний.

А.Б. БОРУЗДИНА<sup>1,2</sup>, А.В. УЛАНОВА<sup>1,2</sup>, А.В. ЯНЕНКО<sup>1,2</sup>,  
А.Ю. НИКИФОРОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СБЕОУСТОЙЧИВОСТИ МИКРОСХЕМ СОЗУ СО ВСТРОЕННЫМИ СХЕМАМИ КОРРЕКЦИИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТДЕЛЬНЫХ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ**

В работе проведен анализ возможных подходов к проведению испытаний микросхем СОЗУ, содержащих встроенные схемы коррекции и исправления информации, на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц (ОЯЧ) по эффектам сбоев. Рассмотрена эффективность применения зарубежного подхода (ф. Aegoflex), заключающегося в проведении расчетной оценки частоты сбоев, основываясь на данных о собственной чувствительности накопителя при отключенной коррекции. Приведены экспериментальные результаты исследований микросхемы СОЗУ емкостью 16 Мбит при воздействии тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), протонов высоких энергий (ВЭП) и источников сфокусированного лазерного излучения.

А.Б. БОРУЗДИНА<sup>1,2</sup>, А.В. УЛАНОВА<sup>1,2</sup>, М.С. ГОРБУНОВ<sup>3</sup>,  
А.В. СОГОЯН<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

<sup>3</sup>НИИ системных исследований РАН, Москва

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ЭФФЕКТУ МНОГОКРАТНЫХ СБЕОВ МИКРОСХЕМ СОЗУ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Получение достоверных оценок о стойкости изделий микроэлектроники к внешним воздействующим факторам, в том числе к воздействию тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), требует проведения экспериментальных исследований в наиболее критичных режимах работы. В работе обоснована необходимость проведения испытаний микросхем статических ОЗУ на стойкость к воздействию ТЗЧ по эффектам одиночных и многократных сбоев (ОС и МС) при повышенной температуре среды. Приведены экспериментальные данные, полученные для двух типов КМОП СОЗУ 65 нм, свидетельствующие о росте вклада МС и максимальной кратности МС (до 15-ти) при повышении температуры среды.

В.А. МАРФИН<sup>1,2</sup>, П.В. НЕКРАСОВ<sup>1,2</sup>, Д.В. БОБРОВСКИЙ<sup>1,2</sup>,  
О.А. КАЛАШНИКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ОДИНОЧНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРЕРЫВАНИЯ В СБИС МИКРОПРОЦЕССОРА С АРХИТЕКТУРОЙ ARM11**

Проведены экспериментальные исследования эффекта одиночного функционального прерывания (ФП) в СБИС микропроцессора с архитектурой ARM11 на ускорителе ионов У-400М. Проведена классификация эффектов ФП (сбросы и «зависания»). Предложена инженерная модель оценки сечения одиночного эффекта ФП. Произведена апробация и представлены результаты инженерной методики оценки сечения эффекта ФП в зависимости от сечения одиночных сбоев. Проведены экспериментальные исследования возможности регистрации эффекта ФП на пикосекундном источнике лазерного излучения.

Г.С. СОРОКОУМОВ<sup>1</sup>, Д.В. БОБРОВСКИЙ<sup>1</sup>, А.И. ЧУМАКОВ<sup>1</sup>,  
С.А. ЦЫБИН<sup>2</sup>, А.В. БЫСТРИЦКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы», Москва

<sup>2</sup>ОАО «КТЦ «ЭЛЕКТРОНИКА», Воронеж»

## **ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА SET В ПЛИС НА ОСНОВЕ ANTIFUSE-ОЗУ ТЕХНОЛОГИИ**

Представлены результаты исследования проявления эффекта одиночных переходных процессов «иголок» (SET) в образцах ПЛИС, построенных по Antifuse-ОЗУ КМОП технологии 0,18 мкм при воздействии тяжелых заряженных частиц. При современных проектных нормах (менее 90 нм) и частотах функционирования цифровых СБИС (сотни МГц) важным является оценка вероятности распознавания возникающих SET в СБИС исполнительным устройством при работе в определенном диапазоне частот. Исследования проводились на ускорителе ионов У-400М, а также на установке сфокусированного лазерного излучения ПИКО-3. Исследования показали возможность возникновения в данном классе СБИС переходных процессов различной длительности (от ед. нс до ед. мкс) и амплитуды (от сотен до тыс. мВ), потенциально приводящие к ложным срабатываниям исполнительных устройств и сбоям.

П.К. СКОРОБОГАТОВ<sup>1,2</sup>, А.В. СОГОЯН<sup>1,2</sup>, Г.Г. ДАВЫДОВ<sup>1,2</sup>,  
А.Н. ЕГОРОВ<sup>1,2</sup>, Д.В. САВЧЕНКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»

### **УЧЕТ ЭФФЕКТОВ НАНООПТИКИ ПРИ ЛАЗЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭФФЕКТОВ ОБЪЕМНОЙ И ЛОКАЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ С СУБМИКРОННЫМИ ПРОЕКТНЫМИ НОРМАМИ**

Импульсные лазерные источники с плоской поляризацией широко применяются при моделировании локальных эффектов ионизации и эффектов мощности дозы в современных микросхемах. В данной работе продемонстрировано значимое влияние диаметра пятна и направления поляризации импульсного лазерного излучения на ионизационный отклик интегральных схем с проектными нормами, не превышающими длины волны лазерного излучения. Разработан метод учета параметров лазерного излучения при проведении испытаний субмикронных микросхем на стойкость к одиночным эффектам.

С.Б. ШМАКОВ<sup>1,2</sup>, А.Б. БОРУЗДИНА<sup>1,2</sup>,  
А.В. УЛАНОВА<sup>1,2</sup>, П.К. СКОРОБОГАТОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ КМОП КНИ СБИС К ЭФФЕКТАМ МОЩНОСТИ ДОЗЫ**

В работе рассмотрена возможность распространения метода обеспечения предельных уровней воздействия импульсного ионизирующего излучения с помощью выбора оптимальной длины волны лазерной установки на КМОП КНИ СБИС. Для подтверждения полученных выводов был проведен эксперимент и получены зависимости изменения параметров КМОП КНИ СОЗУ от интенсивности лазерного воздействия в диапазоне длин волн от 0,53 мкм до 1,06 мкм при облучении со стороны приборного слоя и подложки. Результатом работы является обоснование выбора длин волн в диапазоне от 0,8 мкм до 0,9 мкм для моделирования эффектов мощности дозы в КМОП КНИ СБИС.

М.Е. ЧЕРНЯК<sup>1,2</sup>, А.В. УЛАНОВА<sup>1,2</sup>, А.Ю. НИКИФОРОВ<sup>1,2</sup>,  
С.В. ШВЕДОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы», Москва

<sup>3</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Минск,  
Беларусь

## **ДЕГРАДАЦИЯ ТЕМНОВОГО СИГНАЛА ПЗС-МАТРИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ**

Проведены исследования ПЗС-матрицы с межстрочным переносом с разрешением 1980 на 1092 пикселей на стойкость к воздействию гамма-излучения. Изучены структура сенсора, основные принципы и режимы работы. Для получения изображения и измерения оптических и электрических параметров с сенсора ПЗС была разработана технологическая оснастка, состоящая из блоков ПЛИС, драйверов и АЦП. После воздействия наблюдалось увеличение среднего темного сигнала области, закрытой от света. Основной причиной данного эффекта является захват заряда в объеме межконтактных и подзатворных окислов, а также на ловушках на границе Si/SiO<sub>2</sub>.

И.И. ШВЕЦОВ-ШИЛОВСКИЙ, А.А. СМОЛИН,  
П.В. НЕКРАСОВ, А.В. УЛАНОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭЛЕМЕНТЫ КОМПЛЕКСА ЭКСТРАКЦИИ ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ С УЧЕТОМ ДОЗОВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ**

Разработаны элементы автоматизированной системы измерения вольт-амперных характеристик и методики экстракции параметров SPICE-модели транзисторов с учетом дозовых радиационных эффектов для задач последующей характеристики библиотечных элементов. Методика апробирована на выборке КМОП КНИ транзисторных тестовых структур. Указано влияние на радиационную деградацию тока утечки и сдвига порога (основного и паразитного транзисторов) режима при облучении, длины и ширины области канала, типа контакта к плавающему телу (транзисторы Н- или L-типа) и толщины приборного слоя кремния. Исследована возможность экстракции SPICE-параметров транзисторов в зависимости от величины накопленной дозы.

А.Я. БОРИСОВ, Д.В. ПЕЧЕНКИНА, М.П. БЕЛОВА, Д.В. БОЙЧЕНКО  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ МИКРОСХЕМ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В АКТИВНОМ И ПАССИВНОМ РЕЖИМАХ ОБЛУЧЕНИЯ**

Проведено исследование радиационного поведения стабилизаторов напряжения ADP3333ARM-3.15R7 (Analog Devices) в активном и пассивном режимах облучения. Уровни стойкости к эффектам поглощенной дозы микросхем, облучавшихся в пассивном режиме в два раза ниже, чем у микросхем, облучавшихся в активном режиме. Приведена схема автоматизированного измерительного комплекса, методика эксперимента и набор параметров-критериев стойкости, контролируемых в процессе радиационного воздействия. Показана опасность применения метода холодного резервирования данного типа устройств на борту космических аппаратов.

А.Я. БОРИСОВ, Д.В. ПЕЧЕНКИНА, М.П. БЕЛОВА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗБРОС СТОЙКОСТИ К ДОЗОВЫМ ЭФФЕКТАМ ПАРТИЙ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ADP3333ARM-3.15R7**

Проведено исследование стойкости к дозовым эффектам стабилизаторов напряжения ADP3333ARM-3.15R7 (Analog Devices) двух разных партий, произведенных в разные года. Уровни стойкости к эффектам поглощенной дозы партий микросхем, произведенных в 2004 и 2011 годах, различаются более, чем в три раза. Показана опасность безусловного распространения результатов радиационных исследований одной выборки на все партии изделия даже одного производителя. А так же обоснована и подтверждена необходимость сертификации каждой партии изделий.



А.Г. ПЕТРОВ<sup>1,2</sup>, А.А. СМОЛИН<sup>1,2</sup>, А.В. ЯНЕНКО<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва»*

## **РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В МИКРОСХЕМАХ ФЛЭШ-ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ ЯЧЕЕК С ЛОВУШКАМИ ЗАРЯДА**

В работе проведен анализ наблюдаемых радиационных эффектов в микросхемах флэш-памяти с ячейками, выполненными на транзисторах, в которых заряд определяющий состояние ячейки сохраняется путем размещения на ловушках в непроводящем материале. Данная технология позволяет производить микросхемы с проектными нормами 20 нм и менее и является потенциально более стойкой к воздействию ионизирующих излучений. Поскольку в результате образования локального дефекта в туннельном диэлектрике происходит потеря лишь части заряда, в отличие от классической технологии производства микросхем флэш-памяти, где заряд, как правило, размещается на проводящем слое поликремния.

К.А. ЕПИФАНЦЕВ<sup>1</sup>, П.К. СКОРОБОГАТОВ<sup>1</sup>, О.А. ГЕРАСИМЧУК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Научно-производственный центр импульсной техники ФГУП ВНИИА, Москва*

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КМОП-МИКРОСХЕМ**

Представлены результаты экспериментальных исследований образцов КМОП микросхемы CD4001BCN\_NL на импульсную электрическую прочность (ИЭП) при двух значениях температуры окружающей среды +25 и +125°C. Анализ полученных результатов показал, что температура среды влияет на значения показателей импульсной электрической прочности исследуемой микросхемы. Величина и характер изменения ИЭП могут быть описаны моделью теплового повреждения  $p-n$  перехода.

И.О. ЛОСКУТОВ<sup>1,2</sup>, В.А. МАРФИН<sup>1,2</sup>, П.В. НЕКРАСОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ И ЧАСТОТЫ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ КМОП ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Проведено исследование влияния напряжения питания и частоты входных сигналов КМОП логических элементов на их радиационную стойкость. В среде OrCad проведено схемотехническое моделирование поведения логических элементов с учетом радиационных эффектов возникающих в КМОП ИС. Произведено экспериментальное исследование радиационного поведения выбранных логических КМОП элементов (инвертор, логическое «И», «ИЛИ»). Выявлены характерные особенности влияния режима работы микросхем на их радиационную стойкость, а также определены граничные условия электрических и динамических режимов работоспособности интегральной схемы.

А.О. АХМЕТОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ОАО «ЭНПО Специализированные электронные системы, Москва

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИС К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРОТОНОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ОДИНОЧНЫМ ЭФФЕКТАМ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ИС НА УСКОРИТЕЛЯХ ИОНОВ**

В работе проводится сравнение методов описанных в отечественной литературе и нормативной документации, а также в зарубежных источниках. Проведен анализ экспериментальных данных по определению параметров чувствительности (ПЧ) ИС при воздействии протонов и сравнение результатов с данными, рассчитанными по ПЧ ИС при воздействии ионов. Рассматриваются проблемы при оценке ПЧ ИС на ускорителях протонов: сильная дозовая деградация параметров ИС; необходимость набора большого флюенса протонов (больше  $10^{12}$  см<sup>2</sup>) при наборе статистики по одиночным эффектам (порядка 100 событий) для дискретного набора энергий протонов в диапазоне 15÷100 МэВ, что, зачастую, невозможно.

А.А. НОВИКОВ, А.И. ЧУМАКОВ, А.В. ЯНЕНКО  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИС ПО ОДИНОЧНЫМ РАДИАЦИОННЫМ ЭФФЕКТАМ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕННОЙ ДОЗЫ**

Проведено схемотехническое моделирование по оценке влияния дозового воздействия на стойкость отдельных элементов изделий микроэлектроники к воздействию тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ). Приведены результаты моделирования влияния дозового воздействия на стойкость к воздействию ТЗЧ для ячейки памяти (изменение пороговых напряжений и возникновение утечек в транзисторах хранения) и тиристорной структуры (изменение коэффициентов передачи токов базы паразитных транзисторов и возникновение утечки в одном из паразитных транзисторов). В качестве модели воздействия ТЗЧ использован импульсный источник тока с длительностью импульса много меньше скорости развития эффекта.

Т.Ю. ОЖЕГИН, А.А. ПЕЧЕНКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОМПАУНДОВ КРИСТАЛЛОВ КОРПУСИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭРИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Рассмотрены основные компоненты и методы нанесения защитных компаундов корпусированных элементов ЭРИ. При помощи программного комплекса SRIM произведена оценка ЛПЭ ТЗЧ в компаунде в зависимости от толщины и химического состава последнего. Расчетно показана незначительность влияния химического состава компаунда для целей оценки стойкости элементов ЭРИ к воздействию ТЗЧ. Предложена методика определения толщины защитного компаунда при помощи конфокального лазерного сканирующего микроскопа Nanofocus uSurf mobile. Произведена оценка граничного значения толщины компаунда, при которой влияние ЛПЭ ТЗЧ в компаунде становится существенным при испытаниях элементов ЭРИ для целей оценки стойкости к воздействию ТЗЧ.



*Секция*

**МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**



Руководитель – *Першенков В.С.*, д.т.н., профессор, зав. кафедрой № 27  
Секретарь – *Зебрев Г.И.*, д.т.н., профессор кафедры № 27

Тел. (495)324-0184,  
E-mail: [vspershenkov@mephi.ru](mailto:vspershenkov@mephi.ru), [gizebrev@mephi.ru](mailto:gizebrev@mephi.ru)

А.С. ВАТУЕВ, В.В. ЕМЕЛЬЯНОВ  
*ФГУП НИИ приборов, Лыткарино, Московская обл.*

### **ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫХОДА ЗАРЯДА НА ВЕЛИЧИНУ НАПРЯЖЕНИЯ ПРОБОЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ SEDR**

В работе представлены обобщенные результаты исследований возникновения пробоя диэлектриков полевых МОП транзисторов при воздействии различных типов ионов, с различными энергетическими характеристиками. Проведен анализ зависимости сечения SEDR эффекта от напряжения на затворе с учетом флуктуаций энергии передачи в тонком слое диэлектрика МОП-структуры, а так же с учетом эффективности выхода заряда из трека частицы. В ходе анализа получена зависимость порогового напряжения возникновения SEDR от заряда вышедшего из трека частицы, которая имеет характер линейной зависимости, и является универсальной (относительно  $Z$  – типа и  $E$  – энергии) для ионов с энергиями в диапазоне от 3 до 40 МэВ/А.

Г.А. ПРОТОПОПОВ<sup>1</sup>, О.С. КОЗЮКОВА<sup>1</sup>, С.В. БАЛАШОВ<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва*  
<sup>2</sup>*ОАО «ИСС», Железногорск, Красноярский край*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВОГО СЕГМЕНТА ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

В докладе представлены бортовые измерения поглощенной дозы в 2009 – 2014 гг. на круговой орбите ~20000 км. Был проведен анализ существенного всплеска значения мощности дозы в 2014 году и проведено сравнение с другими характеристиками космической погоды (поток электронов и протонов разных энергий, солнечные вспышки), полученными различными бортовыми и наземными измерительными средствами. Приведено сравнение расчетных и модельных значений мощности дозы.

В.С. ПЕРШЕНКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ВОЗМОЖНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТСУТСТВИЯ ELDRS ЭФФЕКТА В SiGe БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ**

Экспериментальные данные последних 2-лет показывают отсутствие ELDRS (Enhanced Low-Dose-Rate Sensitivity) эффекта в SiGe биполярных транзисторах, перспективной элементной базы для использования в экстремальных условиях эксплуатации. Минимальная мощность дозы в этих экспериментах составляла  $10^{-1}$  рад( $\text{SiO}_2$ )/с, т.е. наличие или отсутствие эффекта при меньших интенсивностях, характерных для условий космического пространства, в этих приборах остается открытым. В докладе предлагается физическая модель, согласно которой ELDRS эффект в этих приборах вообще не должен проявляться. Причина состоит в меньшей ширине запрещенной зоны базовой области SiGe структур.

В.К. ВАСИЛЬЕВ, В.В. БЕЛЯКОВ, А.В. ГОЛОВИН, Е.К. МАЛКИН,  
И.А. ИВАНОВ, Д.Ю. ЛИПАТОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ДРЕЙФОВОЙ ТРУБКЕ СПЕКТРОМЕТРА ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Выполнено моделирование электрического поля и траекторий движения ионов в области источника ионизации, в камере ионизации и в дрейфовой области. Определены лучшие конструктивные решения для изготовления дрейфовой трубки, позволяющие минимизировать воздействие неоднородности поля. Проведены эксперименты по обнаружению аварийно химически опасных веществ. Установлена возможность уверенного обнаружения и определения порогов обнаружения сернистого газа, аммиака и хлора.

Л.Р. БАКИРОВ<sup>1,2</sup>, В.С. АНАШИН<sup>1</sup>, А.Е. КОЗЮКОВ<sup>1</sup>, Г.И. ЗЕБРЕВ<sup>2</sup>,  
Е.М. ИВАНОВ<sup>3</sup>, О.А. ЩЕРБАКОВ<sup>3</sup>, А.С. ВОРОБЬЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>ФГБУ «ПНИЯФ», Гатчина, Ленинградская обл.

## **ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СТАТИЧЕСКИХ ОЗУ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ПОТОКОВ И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

Стойкость интегральных микросхем к воздействию естественных нейтронных потоков и высокоэнергетических протонов космического пространства подтверждается проведением прямых испытаний. В работе представлены методика проведения испытаний, физические принципы генерации пучков нейтронов и протонов, а также результаты испытаний статических оперативных запоминающих устройств объемом 1 и 4 Мбит.

А.Е. КОЗЮКОВ<sup>1,2</sup>, К.А. АРТЕМЬЕВ<sup>1,2</sup>, В.С. КОРОЛЕВ<sup>1</sup>, Г.И. ЗЕБРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ 1874ВЕ05Т И 1830ВЕ32У**

Основным вычислительным и управляющим элементом практически каждой электронной схемы является микроконтроллер, поэтому при работе в условиях воздействия ионизирующих излучений космического пространства в первую очередь необходимо обеспечить его надежное функционирование. В данной работе рассмотрены методы и средства радиационных испытаний на стойкость к воздействию тяжелых заряженных частиц отечественных микроконтроллеров 1874ВЕ05Т и 1830ВЕ32У, разработанных предприятием Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт электронной техники».



П.А. ЧУБУНОВ, С.А. ЯКОВЛЕВ  
*Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва*

## **ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ТИРИСТОРНОГО ЭФФЕКТА В КМОП-ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКАХ**

В докладе описываются результаты испытаний двухканального приемопередатчика со встроенным кодером/декодером работающий по стандарту MIL-STD-1553 на стойкость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства в части одиночных радиационных эффектов, а также особенности проявления и регистрации тиристорного эффекта в данном типоминале в различных электрических режимах. Определены функциональные блоки, в которых возникает тиристорный эффект. Также приводятся результаты испытаний на удержание в состоянии тиристорного эффекта возникающего в различных блоках.

П.А. ЧУБУНОВ, С.А. ЯКОВЛЕВ, А.В. ВЛАСОВ  
*Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ КМОП-ФОТОПРИЕМНИКА НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

В докладе описываются результаты испытаний фотоприемника отечественного производства, выполненной по КМОП – технологии, на стойкость к воздействию ионизирующего излучения космического пространства. Определены характеристики стойкости по дозовым ионизационным эффектам, эффектам структурных повреждений и одиночным радиационным эффектам. Представлено описание применяемых испытательных установок, схем включения и методик контроля электрических параметров и функционирования.

М.С. ГОРБУНОВ, А.А. АНТОНОВ, П.С. ДОЛОТОВ  
*НИИ системных исследований РАН, Москва*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ СБОЕУСТОЙЧИВОЙ КЭШ-ПАМЯТИ МИКРОПРОЦЕССОРОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ**

Сбоеустойчивость кэш-памяти достигается использованием специализированных ячеек и/или применением корректирующих кодов. Зачастую применение этих методов не является оптимальным с точки зрения сохранения быстродействия. Во всех случаях происходит рост площади (в случае троирования рост площади кристалла может оказаться неприемлемым), при этом в системе остаются «узкие места», сбой в которых может свести к минимуму проведённое усложнение системы. В ряде случаев усложнение системы для повышения сбоеустойчивости может оказаться избыточным. Требуется развитие методик и создание средств анализа системы для выявления таких «узких мест».

Г.И. ЗЕБРЕВ<sup>1</sup>, К.С. ЗЕМЦОВ<sup>1</sup>, В.В. ЕМЕЛЬЯНОВ<sup>2</sup>, А.С. ВАТУЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*ФГУП НИИ приборов, Лыткарино, Московская обл.*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТНОСТИ МНОЖЕСТВЕННЫХ СБОЕВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ КАК РЕЗУЛЬТАТ ФЛУКТАЦИЙ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ – СТРАГГЛИНГА**

Помехоустойчивость и сбоеустойчивость ячеек памяти характеризуется критическим зарядом. Сбой происходит, когда заряд, собранный при пролете одной ионизирующей частицы, превышает критическое значение. В интегральных схемах высокой интеграции (с нормами < 100 нм) критический заряд оказывается порядка 1 фКл и попадание одной частицы приводит сбою нескольких ячеек памяти. Традиционно выделенный заряд рассчитывается исходя из среднего энерговыделения в чувствительной области ячейки. При этом стохастический разброс энерговыделения (страгглинг) соответствует заряду более 1 фКл. В докладе показано, что экспериментальный разброс среднего количества сбоев в ячейках памяти технологии 90 нм соответствует рассчитанной функции распределения флуктуаций энерговыделения.

А.В. ПЕРЕБЕЙНОС, П.А. ЧУБУНОВ, С.А. ЯКОВЛЕВ, А.Т. ЯСТРЕБОВ  
*Филиал ОАО «ОРКК» - «НИИ КП», Москва*

## **ОСОБЕННОСТИ ДОЗОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЧКОВ ЭЛЕКТРОНОВ**

Облучение электронами является одним из допустимых методов контроля стойкости ЭКБ к воздействию ионизирующих излучений в части дозовых эффектов. В межведомственном центре радиационных испытаний ЭКБ разработана типовая методика испытаний с использованием ускорителей электронов. В докладе представлены результаты испытаний микросхемы МС14060В (функциональное назначение – двоичный счетчик) с использованием гамма-излучения и пучков электронов с разными энергиями. Описаны особенности подготовки к испытаниям, проводится сравнение результатов, полученных на разных установках.

М.С. ВАХНЕНКО, В.А. КОМЛЕВА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭФФЕКТОВ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

Проводится исследование транзисторов, изготовленных на основе 0,25 мкм высокочастотной кремний-германиевой биполярной технологии на воздействие гамма-излучения с интенсивностью 1 и 0,01 Рад/с. Показаны зависимости основных параметров транзисторов от накопленной дозы излучения. Дальнейшее исследование позволит выявить чувствительность используемой технологии к эффектам низкой интенсивности, а также создать модель для учета этих эффектов в системах схемотехнического проектирования аналоговых схем.

И.И. ШАГУРИН, Г.Ю. ЖИХАРЕВ, П.Ю. ИВАНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ХЕШИРОВАНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ СнК**

Для обеспечения достоверности и конфиденциальности информации, передаваемой и обрабатываемой в современных электронных системах, используются различные криптоалгоритмы. Одним из распространённых классов криптоалгоритмов являются алгоритмы хеширования, используемые для защиты паролей, проверки достоверности сообщений, реализации цифровой подписи. В состав ряда зарубежных СБИС включены специализированные криптоблоки, обеспечивающие выполнение соответствующих алгоритмов. В докладе рассматриваются вопросы разработки универсальных криптоблоков, выполняющих основные алгоритмы хеширования, для использования при проектировании российских СБИС класса СнК (система на кристалле). Проведён анализ методов аппаратной реализации алгоритмов, предложена архитектура универсального конвейеризованного вычислительного канала для подмножества алгоритмов, получены оценки основных характеристик при изготовлении канала в составе СБИС и на базе ПЛИС.

А.А. ЛЕБЕДЕВ, А.Е. НАЗАРЕНКО, А.А. КОМЛЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **НАНОСЕКУНДНЫЙ КОМПАРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ, УСТОЙЧИВЫЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЗЧ**

Проводится математическое моделирование компаратора напряжения (КН) со встроенным триггером - защелкой. По сравнению с типовыми интегральными КН предложенный вариант имеет повышенный коэффициент усиления и как следствие на порядок большую чувствительность без увеличения потребляемой мощности. Предложенная схема полностью выполнена на транзисторах рпн-типа с граничной частотой 12 ГГц по каскадной схеме с положительной обратной связью (петлевое усиление меньше 1). Это позволяет снизить реакцию выходного импульса до 20 – 30 мВ длительностью 0.5 нс, при воздействии ТЗЧ.

Н.В. МАКАРОВА, Ю.Р. ШАЛТАЕВА, Е.К. МАЛКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ СПЕКТРОМЕТРА ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ**

Существует проблема, которая приводит к снижению чувствительности спектрометра. Часть анализируемых веществ адсорбируется на стенках ионно-дрейфовой камеры и камеры ионного источника. Проведено моделирование газовых потоков в камере ионного источника с использованием пакета Comsol Multiphysics. Исследуется проблема переноса пробы исследуемого вещества через конечный объем без перемешивания газовых потоков. Задача была решена для 2D и 3D моделей камеры ионного источника. Введение охранного потока позволяет понизить порог чувствительности, увеличить точность и селективность анализа спектрометра, обеспечить чистоту ионно-дрейфовой области, а также существенно повысить срок эксплуатации прибора.

Е.К. МАЛКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В УСТРОЙСТВЕ ОТБОРА ПРОБЫ СПЕКТРОМЕТРА ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ**

Для проверки конструкции устройства отбора пробы с импульсным нагревом промежуточного носителя была построена трехмерная модель устройства. С помощью программного пакета Comsol методом конечных элементов проведен анализ газовых потоков в данной модели. По результатам анализа можно определить, что поток газа в канале забора пробы в основном формируется разностью давлений, создаваемый вентилятором забора пробы спектрометра ионной подвижности. При этом скорость потока периферийного газа на некоторых участках превышает скорость потока газа в канале забора пробы. Входная сетка является основным физическим барьером для проникновения загрязнений в канал забора пробы.

М.А. МАТУСКО, Е.А. ГРОМОВ, В.В. БЕЛЯКОВ, Д.Ю. ЛИПАТОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКОГО И ARM КОНТРОЛЛЕРОВ**

Спектрометр ионной подвижности является сложным измерительным комплексом, для управления которым необходим простой и надежный модуль отображения информации и управления. Разработано программно-аппаратное обеспечение графического модуля для спектрометра ионной подвижности, реализующего предварительную конфигурацию устройства и сохранение графических, звуковых и видео- файлов на носитель ПЗУ. Для реализации индикации используется графический контроллер фирмы Solomon Systech SSD1963. ARM микроконтроллер STM32F417VGT6 реализует аппаратно функции микроконтроллера- диспетчера и контроллера управления, опрашивает кнопки и сенсорную панель. Устройство позволяет подключать большинство современных жидкокристаллических панелей, функционирующих по RGB интерфейсу.

А.С. МИРОНОВ, В.В. БЕЛЯКОВ, А.В.ГОЛОВИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ТЕРМОТРЕНИРОВКИ УЗЛА ПРОБООТБОРА СПЕКТРОМЕТРА ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ**

Коммерческие портативные спектрометры ионной подвижности, такие как Varog Tracer, Ionscan, Sabre, Quantum Sbiffer используются преимущественно для обнаружения взрывчатых и наркотических веществ. Пробоотбор осуществляется из газовой фазы, либо термодесорбцией следовых концентраций с поверхности багажа через промежуточный носитель. В пробоотборном устройстве нагреватель, изолирован от других металлических поверхностей устройства термостойким высокотехнологичным компаундом. При рабочей температуре  $T = 200^{\circ}\text{C}$ , клей с поверхности изолятора испаряется. Для устранения загрязнений необходима наработка устройства. Разработано программно-аппаратное обеспечение для термотренировки пробоотборных устройств и калибровки нагревательных элементов спектрометров ионной подвижности.

Н.О. САРЫЧЕВА, Ю.Р. ШАЛТАЕВА, М.А. МАТУСКО, В.В. БЕЛЯКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО УСТРОЙСТВА ДУБЛИРОВАНИЯ SD FLASH НАКОПИТЕЛЕЙ**

В данной работе решается задача дублирования содержимого одной карты памяти на другие, от одной до шестнадцати включительно. Разработано, запрограммировано в среде CoIDE и отлажено автономное микроконтроллерное устройство для дублирования карт памяти Secure Digital с светодиодной индикацией на базе микроконтроллера компании «STMicroelectronics» STM32F417VGT6. «Мастер-карта» передает данные по интерфейсу SDIO на микроконтроллер, который в свою очередь по шине SPI, выполненной программно, на остальные карты памяти. Для улучшения скоростных характеристик разработано устройство дублирования на базе комбинации аппаратного SPI в режиме подключения DMA (Direct Memory Access) и программного SPI. Время дублирования информации на 16 карт памяти составило 75 мин.

Ю.Р. ШАЛТАЕВА, В.В. БЕЛЯКОВ, Е.К. МАЛКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ УРОВНЯ ЗАРЯДА ИОНОВ В СПЕКТРОМЕТРЕ ИОННОЙ ПОДВИЖНОСТИ**

Спектрометрия ионной подвижности - быстроразвивающийся метод для обнаружения наркотических и взрывчатых веществ, мониторинга окружающей среды и для медицинской диагностики. В результате набора статистики по нескольким десяткам спектрометров было замечено, что имеет место существенный (до 20%) разброс значений полного заряда, вызванный нестабильной работой источника ионизации на основе коронного разряда с геометрией типа острие - острие. Разработано программно-аппаратное обеспечение для исследования характеристик источника ионизации на основе коронного разряда. Экспериментальное исследование характеристик ионного тока и стабильности уровня заряда ионов показало, что вклад в погрешность воспроизведения уровня заряда вносят погрешности межэлектродного расстояния и радиуса закругления острия электродов.

А.В. СОЛОМАТИН, А.С. БАКЕРЕНКОВ, А.С. РОДИН, В.А. ФЕЛИЦЫН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ  
ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ  
НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕЙ И ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

Нормальный электрический режим мощных операционных усилителей и операционных усилителей общего применения приводит к саморазогреву кристалла. Увеличение температуры кристалла при проведении испытаний влияет на процессы образования и разрушения радиационных дефектов, и фактический уровень стойкости. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния саморазогрева кристаллов операционных усилителей на уровень стойкости к воздействию ионизирующего излучения средней и высокой интенсивности.

А.В. СОЛОМАТИН, А.С. БАКЕРЕНКОВ, В.А. ФЕЛИЦЫН, А.С. РОДИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛА ИМС ПРИ ИСПЫТАНИЯХ  
НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ  
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДОЗОВЫМ ЭФФЕКТАМ**

При проведении радиационных испытаний по методике, основанной на конверсионной модели эффекта ELDRS, для учёта влияния кинетики процессов образования радиационных дефектов, необходимо: знать температуру кристалла объекта испытаний и контролировать температуру в процессе испытаний. В настоящее время не существует стандартизированных методов определения температуры кристалла интегральных микросхем. В данной работе представлены результаты экспериментальной отработки метода определения и контроля температуры кристалла объекта испытаний и моделирования тепловых процессов.



А.С. РОДИН, А.С. БАКЕРЕНКОВ, А.В. СОЛОМАТИН,  
А.Г. МИРОШНИЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ  
НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДОЗОВЫМ ЭФФЕКТАМ**

Разработан и собран стенд для измерения ряда параметров, чувствительных к воздействию ионизирующего излучения для следующих типов ИМС: операционных усилителей, аналоговых ключей, преобразователей напряжение-частота, компараторов и источников опорного напряжения питания. Стенд позволяет осуществлять мониторинг деградации радиационно-чувствительных параметров в реальном времени и как следствие даёт возможность фиксировать функциональный отказ микросхемы на любом этапе проведения испытаний. Испытания на радиационную стойкость проводились со следующими типонаминами: LM317, OP27G, OP484, MAX4508ESE, AD652BQ, C7733I.

В.А. ФЕЛИЦЫН, А.С. БАКЕРЕНКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ETHERNET  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА  
РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМ НА УСКОРИТЕЛЕ ЧАСТИЦ**

В докладе представлен способ дистанционного управления измерительными приборами с помощью применения технологии Ethernet для проведения радиационных испытаний большого количества интегральных микросхем на ускорителях частиц У-400 и У-400М. Разработан специальный адаптер для подключения измерительных приборов к сети Ethernet. Описан протокол передачи данных для осуществления связи по сети Ethernet между персональным компьютером и измерительным оборудованием.

Н.Н. САМОТАЕВ, А.В. ИВАНОВА, К.Ю. ОБЛОВ, С.А. СОЛОВЬЕВ,  
А.В. АЗАРОВА, Д.В. СУШКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ МИКРОПОРОШКОВ**

Разработанная технология основана на лазерной микрообработке микродисперсных металлических порошков и паст, нанесенных на поверхность керамических материалов. В ходе экспериментов на подложки оксида алюминия толщиной от 10 мкм до 500 мкм, наносится порошок диоксида рутения слоем толщиной 5-10 мкм, после чего производится лазерное спекание порошка, по траектории, соответствующей топологическому рисунку металлизации. Данный подход позволяет упростить и минимизировать время производственного цикла, затрачиваемого на изготовление металлизации, за счет отказа от фотошаблонов и трафаретов, используемых в классических технологиях.

Н.Н. САМОТАЕВ<sup>1</sup>, А.В. ИВАНОВА<sup>1</sup>, К.Ю. ОБЛОВ<sup>1</sup>, С.А. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>,  
А.В. АЗАРОВА<sup>1</sup>, Д.В. СУШКО<sup>1</sup>, А.А. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## **ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

Разработана технология изготовления микронагревателей для полупроводниковых газовых сенсоров, основанная на комбинации лазерной микрообработки оксида циркония толщиной 10 мкм и вакуумного напыления металлизации. Целью лазерной микрообработки является перфорация подложки для получения электрически изолированных областей топологии металлизации, после сплошного нанесения металлизации в магнетроне. На основе полученных тестовых структур, была проведена оценка технологии, как альтернативы уже существующим методам производства микронагревателей.

Н.Н. САМОТАЕВ<sup>1</sup>, А.Ю. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, А.В. ИВАНОВА<sup>1</sup>, К.Ю. ОБЛОВ<sup>1</sup>,  
С.А. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, Д.В. СУШКО<sup>1</sup>, А.А. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

## **СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОНАГРЕВАТЕЛЯ**

В работе приведены результаты моделирования тепловых и электрических параметров кантелевероподобной микронагревательной структуры, позволяющих выявить ее мощностные характеристики, оптимальные с точки зрения равномерности нагрева области, предназначенной для нанесения полупроводникового металлооксидного газочувствительного слоя. Исходя из результатов моделирования, предложены к технологическому изготовлению микронагреватели оптимальные по сочетанию толщин металлизации нагревательного элемента и подложки с точки зрения рассеиваемой мощности.

П.Н. ОРЕШКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ МОДЕЛИРУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ (Sr-Y, Co и <sup>137</sup>Cs) И СПЕКТРА ЭЛЕКТРОНОВ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Приводятся расчетные данные спектров излучения источника электронов Sr-Y, источника Co и гамма-источника (<sup>137</sup>Cs), а также расчетные данные спектра электронов космического излучения. Спектры излучения рассматривались в разрезе порогового и подпорогового дефектообразования. Полученные результаты позволили сопоставить спектры указанных источников моделирующего излучения и спектр электронов космического излучения, а также оценить распределение количества дефектов в зависимости от энергии электронов, и сделать выводы о идентичности условий облучения на моделирующих источниках условиям облучения в космосе.

Ю.И. БОЧАРОВ, В.А. БУТУЗОВ, А.Б. СИМАКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МНОГОКАНАЛЬНАЯ БИС ДЛЯ АНАЛОГОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ КРЕМНИЕВЫХ ФЭУ**

Рассмотрены состав, параметры и особенности проектирования специализированной многоканальной БИС, входящей в состав комплекта микромощных микросхем для считывания, аналоговой обработки и преобразования сигналов кремниевых ФЭУ. Каждый из 9-ти каналов БИС содержит следующие блоки: масштабирующий преобразователь с цифровым управлением величиной коэффициента передачи, быстродействующий усилитель, компаратор с цифровой регулировкой порога срабатывания, прецизионный пиковый детектор и цифровой таймер. Настройка осуществляется через последовательный интерфейс SPI. В составе комплекта еще одна разработанная БИС, которая содержит 10 независимых микромощных 10-разрядных АЦП и буферное запоминающее устройство. Она изготовлена на фабрике X-FAB по технологии КМОП 0,35 мкм.

Д.В. КОЗЛОВСКИЙ, Ю.Н. ТИХОНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ТПТС-НТ**

В докладе описываются результаты разработки и тестирования встроенного программного обеспечения для микроконтроллера PIC32, используемого в мультипроцессорных модулях контроллеров автоматизации, применяемых в автоматизированных системах управления в энергоблоках тепловых и атомных электростанций ТПТС-НТ. Описываются особенности архитектуры и реализации, базовые алгоритмы работы основных программных модулей, разработанные протоколы информационного обмена с узлами мультипроцессорной системы, а также приводятся результаты проведенных процедур верификации и тестирования реализованного программного обеспечения.

В.В. ДЕМЕНТЬЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ЗАО НТЦ «Модуль», Москва

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОРА NM6407**

В докладе приводятся результаты моделирования работы процессора NM6407, который является дальнейшим развитием семейства процессоров NeuroMatrix. Процессор содержит 32-разрядное RISC ядро и матрично-векторные сопроцессоры для обработки данных с плавающей и фиксированной точкой. NM6407 принадлежит к классу систем цифровой обработки данных (DSP). Модель написана на языке описания архитектур процессоров PPDL (processor and peripheral description language). Из полученного описания компилятор PPDL генерирует симулятор, который работает, как интерпретатор инструкций. Такая модель полезна при разработке программного обеспечения и оценки производительности системы, а также для проверки новых архитектурных решений.

И.И. ШАГУРИН<sup>2</sup>, П.А. ШЕВЧЕНКО<sup>1</sup>, Л.А. ЩИГОРЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО НТЦ «Модуль», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЙ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СБИС МИВЭМ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ**

В ЗАО НТЦ «Модуль» разрабатывается новая СБИС МИВЭМ (микросхема интегральная высокопроизводительная, энергоэффективная мультимедийная) класса «система-на-кристалле». К ней предъявляются требования по устойчивости к воздействию специальных факторов. В работе проведен анализ существующих схемотехнических методов повышения стойкости к воздействию специальных факторов и дана оценка возможности их применения для проектируемой СБИС. Представлен сравнительный анализ уже разработанных микросхем в ЗАО НТЦ «Модуль» в том числе и с точки зрения требований по стойкости к воздействиям специальных факторов.

Б.И. ПОДЛЕПЕЦКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ  
НА РАДИАЦИОННУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ  
ДАТЧИКОВ ВОДОРОДА С МДП-ТРАНЗИСТОРНЫМИ  
ЭЛЕМЕНТАМИ**

Приведены результаты исследований влияния ионизирующего излучения на характеристики интегральных датчиков с МДП-транзисторными водородочувствительными элементами (ТЧЭ). Предложены компактные модели водородной и радиационной чувствительности ТЧЭ, учитывающие изменения порогового напряжения, удельной крутизны и ионизационных токов при различных электрических режимах и мощностях доз ионизирующей радиации. Показано как влияют электрические режимы ТЧЭ и типы измерительных схем на метрологические характеристики датчиков в условиях действия ионизирующей радиации с различными мощностями доз поглощения.

М.Ю. НИКИФОРОВА, С.Р. ШИШКИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ PIN-ДИОДОВ**

Представлены результаты исследований влияния гамма-излучения на вольт-амперные характеристики кремниевых *pin*-диодов коммерческого назначения S1223 фирмы Hamamatsu и BPW34 фирмы Osram для применения в качестве чувствительных элементов дозиметров. На основе измеренных вольт-амперных характеристик получены передаточные характеристики чувствительных элементов обоих типов, представляющие собой зависимости электрического тока, протекающего через *pin*-диоды, от мощности поглощенной дозы и аналитические выражения их зависимостей. Определены метрологические характеристики чувствительных элементов на основе анализа их откликов на импульсное воздействие ионизирующего излучения с различными мощностями поглощенной дозы

К.О. ПЕТРОСЯНЦ<sup>1,2</sup>, М.В. КОЖУХОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

<sup>2</sup>Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ TCAD ВЛИЯНИЯ НЕЙТРОННОГО И ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

В стандартной версии системы TCAD учитываются дозовые эффекты, обусловленные воздействием только гамма-излучения, а остальные виды излучения не учитываются. В настоящей работе в систему Synopsys Sentaugus включены физические модели, учитывающие влияние дозовых эффектов на электрофизические параметры ( $\tau$ ,  $\mu$ ,  $S_0$ ,  $N_{ii}$  и др.) при воздействии нейтронного и протонного излучений, на структуры Si БТ и SiGe ГБТ. Сравнение смоделированных и экспериментальных ВАХ Si БТ и SiGe ГБТ при воздействии нейтронного и протонного излучений показывают, что точность разработанных моделей составляет 10-20%.

К.О. ПЕТРОСЯНЦ<sup>1,2</sup>, Д.А. ПОПОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

<sup>2</sup>Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗОВОЙ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕГРАДАЦИИ ПАРАМЕТРОВ 45 нм КНИ МОПТ СТРУКТУРЫ С HIGH-K ДИЭЛЕКТРИКОМ**

С помощью Synopsys TCAD проведено моделирование 45 нм МОПТ КНИ структуры с различными материалами подзатворного оксида: SiO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub>, в диапазоне температур до 300°C и при облучении  $\gamma$ -квантами с дозой до 1 Мрад, с учетом скорректированных значений концентрации ловушечных уровней. Показано, что при облучении происходит большая деградация основных параметров МОПТ ( $V_{th}$ ,  $I_{off}$ ,  $I_{on}$ ,  $\mu$ ,  $S$ ) для структуры с high-k диэлектриком, чем для структуры с SiO<sub>2</sub>. С повышением температуры деградация для структур почти одинакова, за исключением  $I_{on}$ , в структурах с high-k материалом  $I_{on}$  изменяется мало.

К.О. ПЕТРОСЯНЦ, М.В. КОЖУХОВ,  
И.А. ХАРИТОНОВ, Л.М. САМБУРСКИЙ  
*Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ*

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРАКЦИИ ПАРАМЕТРОВ  
СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ SPICE-МОДЕЛЕЙ  
БИПОЛЯРНЫХ И МДП-ТРАНЗИСТОРОВ  
С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ СУММАРНОЙ ПОГЛОЩЁННОЙ ДОЗЫ**

Специализированная библиотека SPICE-моделей Si и SiGe биполярных, Si и КНИ/КНС МДП-транзисторов включает набор макромоделей, построенных по единому принципу: ядром является современная SPICE-модель (GP, VBIC, HiCUM, Mextram; BSIM, BSIMSOI, EKV). Для учёта дозовых эффектов используется комбинация двух подходов: добавление к модели схемных элементов и математических выражений для радиационно-зависимых параметров. Для экстракции параметров разработана методика определения параметров необлучённых транзисторов и аппроксимация зависимостей параметров от дозы, реализованная в виде полуавтоматической процедуры в IC-CAP.

А.М. ГАЛИМОВ, М.Г. ДРОЗДЕЦКИЙ, Г.И. ЗЕБРЕВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**КОНКУРЕНЦИЯ МЕЖДУ ЭФФЕКТАМИ ELDRS И ВРЕМЕННОГО  
ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ  
БИПОЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ**

Изменение мощности дозы  $P$  в ходе облучения биполярного транзистора вызывает, как правило, изменение динамики деградации. Например, резкое уменьшение  $P$ , с одной стороны, вызывает увеличение скорости деградации за счет эффектов ELDRS. С другой стороны, увеличение временных масштабов облучения приводит к возрастанию роли одновременного термического отжига, что выражается в уменьшении скорости деградации, или даже проявления в ходе облучения эффектов отжига. Таким образом, эти два эффекта являются конкурирующими. В докладе представлена кинетическая модель, позволяющая количественно описывать результаты этой конкуренции при разных соотношениях параметров.



М.Г. ДРОЗДЕЦКИЙ, А.М. ГАЛИМОВ, Г.И. ЗЕБРЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВЫХОДА ЗАРЯДА В ПОЛЕВЫХ ОКИСЛАХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Скорость радиационной деградации определяется радиационным выходом заряда в изолирующих окислах микроэлектронных компонентов. Под радиационным выходом подразумевается доля электронно-дырочных пар, избежавших рекомбинации. Уменьшение температуры облучения увеличивает скорость рекомбинации, уменьшая при этом выход заряда. Показано, что модель выхода заряда с энергией температурной активации  $\sim 0.4$  эВ, полученная ранее экспериментально в диапазоне комнатных температур, хорошо описывает экспериментальную температурную зависимость выхода заряда при низких температурах ( $< 100$  К), представленную в недавних работах американских авторов.

М.Ф. ГАНЗБУРГ, Л.И. ЛЕОНТЬЕВ, И.В. ЕЛУШОВ

*ОАО «Авиационная электроника и коммуникационные системы», Москва*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЭКБ НА БАЗЕ SiC В КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ С ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКОЙ**

В докладе описана задача разработки бортовой аппаратуры для использования в составе транспортно-энергетического модуля с ядерной энергодвигательной установкой для доставки грузов на околоземные и окололунные орбиты. При этом необходима электронно-компонентная база для коммутации бортовой цепи напряжением 4.5 кВ. Также непосредственная близость активной зоны повышает требования радиационной стойкости: доза гамма-излучения 0.1-1 Мрад, флюенс быстрых нейтронов  $\sim 10^{12}$  см<sup>-2</sup>. Для этих целей ОАО «АВЭКС» задало разработку высоковольтных диодов Шоттки и высоковольтных MOSFET на основе карбида кремния. В разрабатываемых приборах будет использован кристалл с допустимым напряжением 10 кВ.

В.В. ШУРЕНКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ**

В докладе анализируются экспериментальные и теоретические результаты исследований воздействия электромагнитного излучения на пассивные и активные элементы интегральных схем и на дискретные полупроводниковые приборы. Рассматриваются методы испытаний воздействия ЭМИ на полупроводниковые структуры.

Д.С. ВЕСЕЛОВ, Ю.А. ВОРОНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕМБРАННЫХ ПЛЁНОК**

На кремниевых подложках методом реактивного магнетронного распыления были получены пленки оксинитрида кремния и фосфоросиликатного стекла. Формирование плёнок оксинитрида кремния проводилось в среде аргона, азота и кислорода. Формирование плёнок фосфоросиликатного стекла проводилось в среде аргона и кислорода, а в качестве источника фосфора применялся  $POCl_3$ . Для модификации свойств полученных пленок проводился их отжиг в атмосфере азота в диапазоне температур 600 – 1200°C. Исследован химический состав полученных пленок и выявлена его зависимость от температуры отжига. Проведено исследование характеристик полученных плёнок, а также сопоставление результатов с характеристиками плёнок, не подвергавшихся отжигу. Выработаны рекомендации по применению высокотемпературного отжига при формировании диэлектрических мембранных конструкций для чувствительных элементов полупроводниковых датчиков концентрации газа.

*Секция*

**МОЩНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРОФИЗИКА**



Руководитель – *Школьников Э.Я.*, профессор, зав. кафедры № 8  
Секретарь – *Кладко С.Г.*, аспирант кафедры № 8

Тел. (495)323-92-42, доб. 9263  
Факс (495)324-70-26  
E-mail: [eyshkolnikov@mephi.ru](mailto:eyshkolnikov@mephi.ru)

А.А. РОДИОНОВ, А.В. ОГИНОВ, К.В. ШПАКОВ

*Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, Москва*

## **УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА УСТАНОВКИ ЭРГ**

В данной работе рассматриваются экспериментальные исследования анизотропии коротких импульсов мягкого и жесткого рентгеновского, гамма и нейтронного излучений, возникающих во время протекания атмосферного разряда в установке ЭРГ (ЛПНУ ОЯФА ФИАН). Статистические данные, собранные во время последовательных серий экспериментов, позволяют утверждать о наличии излучений, их анизотропном характере, а также показывают взаимосвязь наблюдаемых явлений с характерными особенностями осциллограмм тока и напряжения предимпульсной фазы развития атмосферного разряда. Приведены результаты серий экспериментов и их анализ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-08-31397 мол\_а, 13-08-01379), а также гранта Учебно-Научного Комплекса ФИАН (УНК).

Д.Ф. АЛФЕРОВ, М.Р. АХМЕТГАРЕЕВ, А.И. БУДОВСКИЙ,  
Д.В. ЕВСИЦ, Л.М. ФИШЕР

*ОАО «Научно-исследовательский институт технической физики  
и автоматизации», Москва*

## **БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ВАКУУМНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ РЕЗИСТИВНОГО СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА**

Изготовлены и испытаны опытные образцы вакуумных выключателей для применения в составе резистивных сверхпроводниковых ограничителей постоянного и переменного тока. Выключатель постоянного тока на номинальное напряжение 3,5 кВ, номинальный ток 2 кА и отключающей способностью 10 кА имеет собственное время отключения менее 4 мс. Выключатель переменного тока на номинальное напряжение 35 кВ, номинальный ток 1 кА позволяет отключать токи короткого замыкания до 20 кА за время менее чем 7 мс. Представлены результаты коммутационных испытаний.

Е.В. ГРАБОВСКИЙ<sup>1</sup>, А.П. ЛОТОЦКИЙ<sup>1</sup>, А.Н. ГРИБОВ<sup>1</sup>,  
Е.И. ЛЬВОВ, Н.Е. ЛЬВОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>ТРИНИТИ, Троицк, Москва*

## **ВЫСОВОЛЬТНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

В работе приводятся результаты численного и физического моделирования режимов в основных элементах установки, скомпонованной из промышленных блоков, параметры которых исходно не согласованы. Нагрузкой источника является электрофизическая установка с током потребления до 7 мА. Для выбора режимов блоков было проведено численное моделирование процессов в наиболее проблемных узлах. Разработана модель преобразователя, вырабатывающего переменное напряжение с частотой до 400 Гц. В преобразователе каждый полупериод выходного напряжения представляет эшелон импульсов, следующих с регулируемой скважностью, изменяющей на выходе величину действующего напряжения. Численное моделирование цепей с умножителем напряжения позволило выявить потенциально аварийные режимы в элементах установки и предложить способы их устранения.

А.Н. ДОЛГОВ, Д.Е. ПРОХОРОВИЧ

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики, Москва*

## **ОСОБЕННОСТИ КОРПУСКУЛЯРНОЙ ЭМИССИИ ИЗ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНОГО Z-ПИНЧЕВОГО РАЗРЯДА**

Импульсный сильноточный разряд в среде тяжелых элементов интересен высокой эффективностью преобразования электрической энергии в энергию мягкого рентгеновского излучения, источником которого является область горячей плотной плазмы - микропинч. Появление подобного объекта становится возможным благодаря реализации явления, получившего название радиационного сжатия. Путем исследования параметров корпускулярной эмиссии, пространственной структуры области горячей плазмы и особенностей спектра испускаемого рентгеновского излучения получены новые данные о динамике плазмы в режиме микропинчевания.

М.Р. АХМЕТГАРЕЕВ, В.П. ИВАНОВ, Л.П. МЕНАХИН, В.А. СИДОРОВ  
*ФГУП «Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Ленина»,  
Москва*

## **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ СИЛЬНОТОЧНЫЙ КОММУТАТОР НА ОСНОВЕ РВУ**

Изготовлены и испытан высоковольтный коммутатор на постоянное напряжение до 40 кВ, ток до 300 кА, для питания импульсных нагрузок. Коммутатор состоит из двух последовательно соединенных управляемых вакуумных разрядников РВУ-43-1. Последовательное соединение РВУ позволило уменьшить вероятность пробоя при максимальном рабочем напряжении до величины не превышающей  $10^{-3}$ . Коммутатор позволяет формировать импульсное напряжение на нагрузке с полным временем задержки ( $3 \pm 0,5$ ) мкс относительно оптического импульса управления и скоростью нарастания тока в нагрузке до 10 кА/мкс. Представлены результаты коммутационных испытаний и результаты расчетов электрической прочности коммутатора.

В.Г. МАРКОВ, И.А. КАНЬШИН, Д.Е. ПРОХОРОВИЧ, А.Г. САДИЛКИН  
*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики, Москва*

## **ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРПУСКУЛЯРНЫХ ПОТОКОВ В УСКОРИТЕЛЬНЫХ НЕЙТРОННЫХ ТРУБКАХ**

Большинство работ, посвященных совершенствованию ускорительных нейтронных трубок, ведутся в направлении повышения стабильности работы ионных источников, а также улучшения технических характеристик мишеней. Однако немаловажными с точки зрения повышения рабочих параметров нейтронных трубок являются процессы ускорения пучка, а также его транспортировки с минимальными потерями. Данная работа посвящена развитию комплексного подхода к изучению особенностей транспортировки пучка заряженных частиц в нейтронной трубке, заключающегося в экспериментальных исследованиях параметров этих пучков на выходе из ионного источника и компьютерном моделировании транспортировки пучка непосредственно в ионно-оптической системе с учетом зарегистрированных параметров.

С.В. ЧУРИН, Н.Н. ЩИТОВ  
*ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва*

## **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НЕЙТРОНОВ**

Основной технической проблемой при разработке малогабаритных генераторов нейтронов на вакуумных нейтронных трубках является обеспечение относительно большого ресурса работы при повышенной до 175 °С температуре окружающей среды. Классической схемой построения источников питания нейтронной трубки является симметричная биполярная схема. Однако, эта схема, размещенная внутри металлического корпуса генератора и подключенная к нейтронной трубке, существенно изменяет свои характеристики. При этом симметричная схема питания не обеспечивает симметричности импульсов напряжения на электродах трубки. Одним из методов увеличения ресурса работы генератора нейтронов является изменение энергетического соотношения в положительном и отрицательном плечах схемы питания вакуумной нейтронной трубки.

М.П. ГАЛАНИН, М.К. КРЫЛОВ<sup>1</sup>, А.П. ЛОТОЦКИЙ<sup>1</sup>, А.С. РОДИН  
*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва*  
<sup>1</sup>*ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Троицк, Москва*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ЛАЙНЕРА С ТВЕРДОЙ ПРЕГРАДОЙ**

Выполнено моделирование движения ленточного алюминиевого лайнера, сжимаемого магнитным полем тока до 2 МА в вакууме. Используются двумерные приближения, соответствующие продольному и поперечному сечениям устройства. Предложен алгоритм комбинации расчетов по двум моделям, который позволяет описать реальное трехмерное движение ленты, в том числе соударение лайнера с наклонной призмой при скорости до 1,3 км/с. Для расчета деформирования лайнера применены модели упругопластического тела (с учетом больших деформаций) и вязкой несжимаемой жидкости. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-01-31496).

Ю.А. БЫКОВ, Е.Г. КРАСТЕЛЕВ, Г.В. ПОПОВ, А.А. СЕДИН,  
В.Ф. ФЕДУЦАК

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

### **КОНДЕНСАТОРНО-КОММУТАТОРНАЯ СБОРКА ИЗ ПАКЕТОВ КОНДЕНСАТОРА ИК-50-3**

Представлены результаты разработки специализированных низкоиндуктивных конденсаторно-коммутаторных сборок на напряжение до 40 кВ для системы импульсного электропитания сильноточного ускорителя электронов на базе линейного импульсного трансформатора. Сборка включает в себя смонтированные в одном корпусе два конденсатора емкостью 0,34 мкФ каждый, один общий для них коммутирующий искровой управляемый разрядник, и 8 кабельных выводов. Особенностью конструкции сборки является использование в ней пакетов промышленных конденсаторов ИК50-3. Разработанная топология ошиновки, использование в каждом плече по 4 кабельных вывода и объединение в единую конструкцию с коммутирующим разрядником обеспечивают получение малой суммарной индуктивности цепи разряда ( $\leq 40$  нГн). Дано описание конструкции сборки, представлены результаты ее испытаний.

Л.А. СУХАНОВА, Ю.А. ХЛЕСТКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРОИДАЛЬНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА**

Работа посвящена численному исследованию возможности формирования кольцевого сильноточного релятивистского пучка в диоде с магнитной изоляцией и проводящей тороидальной камере. Решение нестационарных аксиально-симметричных уравнений Максвелла и уравнений движения Лоренца, описывающих динамику пучка в собственном и внешнем электромагнитном поле методом конечных разностей показывает, что при инжекции прямого сильного релятивистского пучка, сформированного с помощью диода с магнитной изоляцией, в тороидальную проводящую камеру он отражается от стенок и формирует кольцевой пучок.



Ю.А. БЫКОВ, Е.Г. КРАСТЕЛЕВ, А.А. СЕДИН  
*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

### **РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ИСКРОВЫХ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДНИКОВ ДЛЯ ГИН МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МОЛНИЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Проведен анализ работы системы коммутации генератора импульсных напряжений (ГИН) мобильного комплекса для испытаний молниезащитных систем по итогам проведения экспериментов при токах разряда до 40 кА и энергии в импульсе  $\leq 4$  МДж. Для увеличения ресурса работы системы коммутации ГИН и устранения эффекта деградации динамических характеристик разработана новая конструкция разрядников с основными электродами тороидальной геометрии, управляющим электродом в виде диска увеличенной толщины и дополнительным коронным разрядом для предыонизации промежутков. В докладе дано обоснование выбора геометрии электродов, представлены результаты стендовых испытаний опытного образца разрядника новой конструкции и проведено их обсуждение.

Л.А. СУХАНОВА, Ю.А. ХЛЕСТКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИЛЬНОТОЧНОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО ПУЧКА В ДИОДЕ С МАГНИТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ И МЕТОДОМ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ**

В работе проводится сравнение результатов моделирования динамики сильноточного релятивистского пучка, формируемого в высоковольтном диоде с магнитной изоляцией, методом конечных разностей с результатами, полученными для пучка с теми же параметрами с помощью известного кода КАРАТ, в котором реализован метод крупных частиц. Моделирование двумя способами дает схожие результаты, чем обосновывается возможность использования метода конечных разностей при численном решении уравнений движения, описывающих движение пучка в собственном и внешнем электромагнитном поле.

А.А. БИТУЛЕВ<sup>1</sup>, С.П. МАСЛЕННИКОВ<sup>2</sup>, Д.С. СТЕПАНОВ<sup>2</sup>,  
С.В. ЧУРИН<sup>1</sup>, Э.Я. ШКОЛЬНИКОВ<sup>2</sup>, Н.Н. ЩИТОВ<sup>1</sup>, Д.И. ЮРКОВ<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики, Москва*  
<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ ВАКУУМНЫХ НЕЙТРОННЫХ ТРУБОК**

Оптимизация режимов работы цепей импульсного электропитания вакуумных нейтронных трубок с помощью включения дополнительных элементов устраняет нестабильности протекания токов, согласует ускоряющий и разрядный импульсы, позволяет значительно снизить токовую и тепловую нагрузку на ионный источник. При этом выход нейтронов практически не уменьшается, что подтвердили соответствующие эксперименты.

С.Г. КЛАДКО, С.П. МАСЛЕННИКОВ, Д.С. СТЕПАНОВ,  
А.В. ЧЕБОТАРЕВ, Э.Я. ШКОЛЬНИКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ КАТОДНОГО ПЯТНА ИМПУЛЬСНОЙ ВАКУУМНОЙ ДУГИ В ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЕ ИЗ ДЕЙТЕРИДА ЦИРКОНИЯ**

Определялся количественный состав компонент плазмы импульсного вакуумного дугового разряда в источнике ионов вакуумной нейтронной трубки. Проведено теоретическое исследование электроэрозионных процессов, протекающих в разрядной системе на катоде их дейтерида циркония.

Проведенные расчеты для характерных параметров катодных пятен в ZrD однозначно указывают на то, что газоразрядная плазма в основном формируется за счет процессов диффузии дейтерия на стадии нагрева ZrD в приповерхностной области катодного пятна до момента начала испарения материала катода.

Проведенные расчеты позволили оценить массу расплавленного и испарившегося материала катода в разрядный период времени и выход дейтерия в межэлектродное пространство в послеразрядный период при остывании электрода.

*Секция*

**ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ДЛЯ СВЧ,  
СИЛОВОЙ И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ:  
ФИЗИКА, ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИБОРЫ**



Руководитель – *Каргин Н.И.*, профессор кафедры № 67  
Секретарь – *Васильевский И.С.*, доцент кафедры № 67

Тел. (495)7885699, доб. 8146, 8170  
E-mail: [ivasilevskii@mail.ru](mailto:ivasilevskii@mail.ru)

В.В. БЕЗОТОСНЫЙ<sup>1</sup>, О.Н. КРОХИН, В.А. ОЛЕЩЕНКО<sup>1</sup>,  
В.Ф. ПЕВЦОВ<sup>1</sup>, Ю.М. ПОПОВ, Е.А. ЧЕШЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

## **ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ**

Рассмотрено влияние типа базового теплоотводящего элемента и параметров сабмаунта на распределения 3-мерных температурных полей в конструкции мощного лазерного диода. На основе экспериментальной зависимости полного к.п.д. от уровня накачки рассчитаны распределения температуры активного слоя при тепловых нагрузках соответствующих выходной мощности 10, 15 и 20 Вт в непрерывном режиме генерации. Получены зависимости средней температуры активной области лазерного чипа, а также температур выходного и глухого зеркал резонатора от параметров базовых теплоотводящих элементов, в частности типа С-маунт и F-маунт, а также от ширины, толщины и теплопроводности сабмаунтов.

В.В. БЕЗОТОСНЫЙ<sup>1,2</sup>, М.В. ГОРБУНКОВ<sup>2</sup>, А.Л. КОРОМЫСЛОВ<sup>1,2</sup>,  
О.Н. КРОХИН<sup>1,2</sup>, В.Г. ТУНКИН<sup>3</sup>, Е.А. ЧЕШЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

## **ГЕНЕРАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА СПЕКТРА**

Обсуждается способ получения когерентного излучения в терагерцовом диапазоне спектра путем генерации разностной частоты излучения двухволнового лазера в нелинейном кристалле. Предложен новый метод генерации двухволнового (1047 и 1053 нм) излучения в лазере на кристалле Nd:YLF за счет выравнивания усилений вблизи частотного вырождения поперечных мод резонатора в режиме модуляции добротности резонатора акустооптическим затвором. Генерация разностной частоты осуществлялась в нелинейном кристалле GaSe. Были измерены угловой синхронизм (ширина  $0.6^\circ$ ), степень поляризации (1:100), эффективность преобразования ( $10^{-7}$ ), импульсная мощность (0.8 мВт), частота и ширина линии излучения ( $53,8 \text{ см}^{-1}$ ,  $0,6 \text{ см}^{-1}$ ), длительность импульса и частота повторений (10 нс, 7 кГц).

В.И. КОЗЛОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, Ю.А. МОРОЗОВ<sup>3</sup>, М.Ю. МОРОЗОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Саратовский филиал

## **ОПГ С ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЙ НАКАЧКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДИСКОВЫМ ЛАЗЕРОМ НА ОСНОВЕ GaSb (ПРОЕКТ)**

Предложена новая схема малогабаритного оптического параметрического генератора (ОПГ) с длиной волны излучения 16.5 мкм на основе периодически ориентированного GaAs, размещенного внутри резонатора полупроводникового дискового лазера (ПДЛ), излучающего на длине волны 1.98 мкм. Активная гетероструктура ПДЛ содержит двухполосный брэгговский отражатель и 10 квантовых ям. Используется единый резонатор длиной 14 мм как для волны накачки, так и для сигнальной волны. Выполненные расчеты показывают, что при длине нелинейного кристалла GaAs 6 мм, потерях при обходе резонатора 2.5 % и накачке ПДЛ излучением лазерных диодов с мощностью 15 Вт на длине волны 980 нм можно рассчитывать на достижение выходной мощности холостой волны 60 мВт.

А.С. СИМАКОВ, А.В. НУРИЕВ, А.А. МОРОЗОВ, В.И. ИВАНОВ

*ООО «Технологии органической и печатной электроники», Москва*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛОМИНИСЦЕНТНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРАХ ОТОБРАЖЕНИЯ**

В настоящей работе представлены результаты по разработке базовой технологии изготовления ОСИД (OLED) белого цвета свечения на современной многокамерной установке. ОСИД структура изготавливается методом вакуумного напыления низкомолекулярных органических соединений. Процесс формирования происходит в пределах одной установки без контакта с атмосферой до конечного этапа герметизации. Приведено описание экспериментальной кластерной установки. Описаны принципы и приведены формулы выбора оптимальной структуры с высокой эффективностью. Представлено описание усовершенствования герметизации методом атомно-слоевого осаждения.

Ю.Г. АРАПОВ, С.В. ГУДИНА, А.П. САВЕЛЬЕВ, В.Н. НЕВЕРОВ,  
Н.Г. ШЕЛУШИНИНА, М.В. ЯКУНИН, И.С. ВАСИЛЬЕВСКИЙ<sup>1</sup>,  
А.Н. ВИНИЧЕНКО<sup>1</sup>

*Институт физики металлов Уральского отделения РАН, Екатеринбург*  
<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ТОКОВЫЙ СКЕЙЛИНГ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ КРИТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ В КВАНТОВОМ ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА В НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $n$ -InGaAs/InAlAs**

Проведены измерения компонент тензора магнитосопротивления в режиме целочисленного квантового эффекта Холла в метаморфных наногетероструктурах  $n$ -InGaAs/InAlAs с высоким содержанием InAs в активном слое при изменении температуры в линейном режиме по току и при изменении тока через образец ( $I \leq 100 \mu\text{A}$ ) при  $T=4.2\text{K}$  в нелинейном режиме в диапазоне магнитных полей  $B=(0 \div 12)\text{Tл}$  и температур  $T=(0.5-10.0)\text{K}$ . Результаты проанализированы в рамках теории двухпараметрического скейлинга. Показано, что ширина перехода между плато с большими факторами заполнения  $\nu=4 \rightarrow \nu=3$  зависит от температуры и от тока, как  $\sim T^{-\kappa}$  ( $\kappa=0.58$ ) и  $\sim I^{-b}$  ( $b=0.27$ ), в соответствии с предсказаниями теории.

Ю.Д. СИБИРМОВСКИЙ, И.С. ВАСИЛЬЕВСКИЙ, А.Н. ВИНИЧЕНКО,  
И.С. ЕРЕМИН, О.С. КОЛЕНЦОВА, Д.М. ЖИГУНОВ<sup>1</sup>, П.А. МАРТЮК,  
Н.И. КАРГИН, М.Н. СТРИХАНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*  
<sup>1</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

## **УРОВНИ ЭНЕРГИИ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В КВАНТОВЫХ КОЛЬЦАХ GaAs/AlGaAs**

Одним из путей развития оптоэлектроники является переход к квантовым точкам и кольцам. Управление морфологией квантовых колец  $A^{III}B^V$  дает возможность контроля их оптических свойств. Благодаря особенностям формы, поведение носителей заряда в КК может принципиально отличаться от КТ. В данной работе созданы гетероструктуры с ансамблями квантовых колец GaAs/AlGaAs и измерены спектры фотолюминесценции этих образцов при  $T=20-300\text{K}$ . Исследованы температурные зависимости положения и полуширины пиков, вызванных излучательными переходами в КК, произведено теоретическое моделирование уровней энергии в КК.

В.И. КОЗЛОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, С.В. ИВАНОВ<sup>3</sup>, В.Н. ЖМЕРИК<sup>3</sup>, Д.В. НЕЧАЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>3</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

## **ИСТОЧНИК СРЕДНЕГО УФ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ AlGaN С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

Использование электронного пучка для накачки источника среднего УФ диапазона на основе гетероструктуры AlGaIn позволяет избежать проблемы создания р-типа проводимости, необходимой для инжекционной накачки. В отличие от уже опубликованных работ мы использовали структуры, содержащие 40 квантовых ям, распределенных по толщине 1.6 мкм, согласованной с глубиной области возбуждения. В импульсном режиме накачки электронным пучком получена выходная мощность свыше 40 мВт. В непрерывном режиме накачки мощность превышала 3.2 мВт на длине волны 270 нм. Проведены оценки внутреннего и внешнего квантовых выходов излучения. Обсуждаются пути повышения эффективности источника УФ излучения с накачкой электронным пучком.

И.С. ВАСИЛЬЕВСКИЙ, И.С. ЕРЕМИН, О.С. КОЛЕНЦОВА,  
Н.И. КАРГИН, А.Н. ВИНИЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ SAR-СЛОЯ, РЕЦЕССА И ГЕОМЕТРИИ ЗАТВОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ pHEMT-ТРАНЗИСТОРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ SENTAURUS**

ВАХ и частотные свойства транзистора комплексно зависят от параметров гетероструктуры, ширины рецесса и геометрии затвора. Их моделирование в программной среде Setaurus позволяет решить многопараметрическую задачу определения выходных характеристик транзистора. Определена зависимость крутизны ВАХ от соотношения высоты ножки и шляпки, расстояния от шляпки до области рецесса. При уменьшении высоты ножки затвора крутизна транзистора уменьшается вследствие падения емкости между затвором и каналом. Ток стока растет с увеличением степени легирования сар-слоя вследствие более резкого падения напряженности поля в подзатворной области.

С.В. МИННЕБАЕВ, А.Д. БАКУН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СОЗДАНИЯ ЗАТВОРА  
С ТОПОЛОГИЧЕСКИМИ НОРМАМИ 0,3 мкм  
ФОРМИРОВАНИЕМ «ПРИСТЕНКА»**

При формировании топологии прибора методом фотолитографии, решающая способность которого составляет 0,6 мкм, для получения характеристических размеров топологического рисунка с меньшими размерами в практике часто пользуются методом формирования окон в диэлектрической пленке и последующим его сужением. В данной работе был рассмотрен метод создания затворов транзисторов с топологическими нормами до 0,3 мкм методом наращивания «пристенка» в окне, сформированном в диэлектрической пленке. Проведены эксперименты с двух и трехстадийными процессами «осаждение – травление», отработан режим травления пленки нитрида кремния. Получены пробные структуры с затворами 0,4 и 0,3 мкм. Исследованы дефекты получаемых структур методами сканирующей и растровой электронной микроскопии.

К.Д. ВАНЮХИН, Р.В. ЗАХАРЧЕНКО, Р.В. РЫЖУК,  
С.А. ШОСТАЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ  
ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ AlGaIn/GaN**

Был исследован процесс формирования омических контактов к гетероструктуре на основе AlGaIn/GaN. Для омического контакта использовалась многослойная металлизация Ti/Al/Ni/Au, полученная методом термического резистивного испарения. Затем был проведен отжиг при различных температурах, то есть полученные образцы соответствуют последовательным этапам формирования контакта. Были измерены их вольт-фарадные характеристики по которым была определена высота барьера. Было измерено удельное контактное сопротивление при различных температурах. Также были рассчитаны теоретические значения зависимости удельного сопротивления от температуры. Соотнося теоретическое и экспериментальное значение была определена концентрация носителей заряда в приконтактной области. Полученное удельное сопротивление контактов удовлетворяет поставленным целям и составляет 0.2 Ом·мм.



В.Ф. ЕЛЕСИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **К ТЕОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКА ЧЕРЕЗ ИДЕАЛЬНЫЙ ИЗОЛЯТОР**

Найдено аналитическое решение задачи о прохождении тока через идеальный изолятор для монополярной инжекции дырок. Впервые получены зависимости тока от напряжения (ВАХ) для широкой области изменения параметров структуры (длины, концентраций дырок на границах, температуры и др.) и величины напряжения. Показано, что квадратичная ВАХ Могта-Гарни реализуется только в определенном интервале токов от  $J_1$  до  $J_2$ . При  $J < J_1$  ток линейно зависит от напряжения  $V$  с точностью до  $V^3$ . Новый режим обнаружен при токах больших  $J_2$ , когда ВАХ становится линейной из-за полного заполнения изолятора инжектированными дырками.

Найдены постоянные интегрирования во всем интервале изменения тока и параметров структуры, а также аналитические выражения для пространственного распределения электрического поля и концентрации дырок.

К.С. ГРИШАКОВ, В.Ф. ЕЛЕСИН, Н.И. КАРГИН, Р.В. РЫЖУК,  
С.В. МИННЕБАЕВ.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **УМЕНЬШЕНИЕ САМОРАЗОГРЕВА GaN НЕМТ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ ТЕПЛА НА ОСНОВЕ АЛМАЗНОЙ И ГРАФЕНОВОЙ ПЛЕНОК**

За последние тридцать лет плотность выделяемой энергии в GaN НЕМТ растет экспоненциально. Часть этой энергии переходит в тепло, приводя к саморазогреву и деградации свойств. Поэтому существует важнейшая проблема отвода тепла, особенно от горячих точек (максимумов температуры решетки вблизи канала транзистора). В докладе представлены результаты компьютерного моделирования влияния распределителей тепла на температуру горячих точек, ВАХ и другие характеристики GaN НЕМТ. В качестве тепловых распределителей использовались пленки графена и алмаза. Показано, что температура горячих точек может быть уменьшена на 10-25%, ток стока при больших напряжениях увеличен на 8-15%, срок службы повышен на порядок и т.д.



**Конференция**  
**«ПЛАЗМЕННЫЕ, ЛАЗЕРНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»**

*Секция*

**ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И УПРАВЛЯЕМЫЙ  
ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ**



Руководитель – *Курнаев В.А.*, заведующий кафедрой № 21  
Секретари – *Гаспарян Ю.М.*, доцент кафедры № 21;  
*Степаненко А.А.*, аспирант кафедры № 21

Тел. (495)323-93-21, (495)324-70-24, (495)323-93-25  
Факс (495)324-21-11  
E-mail: [session@plasma.mephi.ru](mailto:session@plasma.mephi.ru)

В.В. ГУЗЕЕВ, М.Е. КАЛАЕВ, С.С. СЕМЕНОВ, П.Т. ЦИРКУНОВ  
*Северский технологический институт НИЯУ МИФИ, Томская обл.*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ БЕСКИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ КОНВЕРСИИ АЛКАНОВ В УСЛОВИЯХ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА**

Наиболее распространенным способом получения жидкого топлива является синтез Фишера-Тропша. Механизм этого процесса хорошо изучен, однако он требует высоких эксплуатационных затрат. В качестве альтернативы синтеза Фишера-Тропша рассматривается плазмохимическая конверсия. Этот метод осуществляется за меньшее число стадий и протекает при низких температурах и давлении. Для использования процесса конверсии попутного нефтяного газа в углеводороды в промышленных масштабах необходимо его оптимизировать (повысить селективность) в сторону образования жидкой продукции. Исследование состава продуктов позволит получить информацию о процессах, протекающих в плазме и оценить возможность её использования для повышения селективности образования жидких углеводородов. В докладе рассмотрено влияние различных факторов на конверсию алканов в плазме барьерного разряда.

А.Ю. КУЗНЕЦОВ

*Институт геофизических и радиационных технологий МАН ВШ, Москва*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ПЛАЗМЕННОМ ДИОДЕ С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ДЕЙТРОНАМИ**

В докладе приводятся результаты теоретического исследования процессов в малогабаритных плазменных диодах с осциллирующими дейтронами. В электростатической ловушке высокоэнергичные дейтроны плазмы удерживаются внешним электрическим полем, приложенным между внутренним полым частично прозрачным катодом и внешним охватывающим его симметричным анодом, на поверхности которого размещены источники дейтронов. В такой диодной системе реализуется эффект «полого катода». Внутри катодной полости формируется потенциальная яма. В ней, как показывают расчеты, фокусируются и удерживаются, а и эмиссия электронов из нее приводит к дополнительной ионизации в развивающемся между электродами положительном столбе плазменного разряда. Показана возможность эффективной генерации нейтронов в таком диоде. Приводятся соответствующие расчетные кривые.

Г.В. КРАШЕВСКАЯ, М.М. ЦВЕНТУХ<sup>1</sup>, А.С. ПРИШВИЦЫН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

## **ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАЗМЫ В КОНФИГУРАЦИИ СО ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Целью исследования является проверка возможности стабилизации конвективных возмущений плазмы путем формирования пикированных профилей плазменного давления. В работе представлены результаты исследования профилей плазменного давления, полученные зондовым методом, в магнитной конфигурации знакопеременной кривизны, создаваемой тремя соосными токовыми катушками (на основе стенда «Магнетор») и представляющей собой комбинацию каспового поля и поля открытой лопушки (пробкотрон). Проведено сравнение экспериментальных профилей плазменного давления с расчетными, показавшее общее согласие результатов.

Е.Е. БАРМИНОВА, А.С. ЧИХАЧЕВ<sup>1</sup>  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>ГНЦ Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ), Москва*

## **РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПИРСА–БУНЕМАНА В СИСТЕМЕ ЭКСТРАКЦИИ ИСТОЧНИКА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ**

Ионные источники характеризуются наличием в области ионно-оптической системы остаточного газа, подтекающего из газоразрядной камеры. Показано, что смешанная неустойчивость Пирса–Бунемана приводит к срыву устойчивого распространения тока пучка в системе экстракции объемно-плазменного источника отрицательных ионов. Аналитически определены условия возникновения неустойчивости, которая развивается на электронах внешней цепи с учетом подвижности положительных фоновых ионов. С помощью численного моделирования в пакете «COMSOL Multiphysics» исследован процесс развития колебаний в плоском диоде с аспектным соотношением порядка единицы, который является хорошим приближением геометрии межэлектродного промежутка в ионно-оптической системе источника.

Е.А. МЕЩЕРЯКОВА, М.С. ЗИБРОВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО, А.В. КАЗИЕВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА МЕТОДАМИ ЗОНДОВ ЛЕНГМЮРА И ОПТИЧЕСКОЙ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Были исследованы параметры аргоновой и азотной плазмы ВЧИ разряда, создаваемой плоской антенной (РПГ-250) при давлениях в диапазоне  $1 \times 10^{-4}$ - $1 \times 10^{-2}$  мбар и различных величинах напряженности постоянного продольного магнитного поля, создаваемого системой из двух катушек. Измерение пространственных распределений электронной температуры и плотности плазмы осуществлялось при помощи системы из четырех односторонних зондов Ленгмюра. Компонентный состав плазмы был исследован методом оптической эмиссионной спектроскопии. При оптимальном подборе параметров разряда удается достичь плотностей плазмы порядка  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> даже при низких давлениях рабочего газа ( $\sim 1 \times 10^{-4}$  мбар), т.е. добиваться высокой степени ионизации рабочего газа.

Ю.В. БОРИСЮК, А.А. ПИСАРЕВ, Г.В. ХОДАЧЕНКО, С.А. РЯБЦЕВ,  
Г.В. КРАШЕВСКАЯ, А.В. КАЗИЕВ, А.В. ТУМАРКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ВНУТРИ ТРУБОК С АСПЕКТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ 8-40**

С помощью разработанной на кафедре "Физика плазмы" установки АТР (аномальный тлеющий разряд) изучены режимы горения разряда в стальных трубках с длинами 100 и 150 мм и диаметром 4, 6, 8, 12 мм в среде аргона, азота и водорода. В результате проведенных экспериментов были получены зависимости напряжения зажигания разряда в трубке от давления газа, вольт-амперные характеристики разряда, определены плотность, электронная температура и ионный состав плазмы.

А.В. ТУМАРКИН, А.В. КАЗИЕВ, И.В. ИЛЬИЧЕВ,  
Д.В. КОЛОДКО, Г.В. ХОДАЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕДИ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНЕТРОНОМ С РАСПЛАВЛЕННЫМ КАТОДОМ**

С помощью разработанного на кафедре "Физика плазмы" импульсного магнетрона с расплавленным катодом (ИМПК) в режиме горения разряда в парах металла были нанесены медные покрытия на кремниевую подложку (1,0,0). Проведена серия экспериментов, в которых менялось напряжение смещения подложки при фиксированном расстоянии до поверхности катода. Полученные покрытия были исследованы на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 и скретч-тестере REVETEST. Выявлены закономерности влияния параметров ионного потока на структуру и адгезию покрытий.

М.М. ХАРЬКОВ, А.В. КАЗИЕВ, А.В. ТУМАРКИН, Г.В. ХОДАЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕДИ И ТИТАНА, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ СИЛЬНОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА**

Проведены эксперименты по осаждению покрытий из меди и титана на полированные кремниевые образцы в сильноточном импульсном магнетронном разряде (СИМР). Варьировались следующие параметры: напряжение смещения, приложенное к подложке, расстояние от поверхности катода до образца, мощность разряда. Осаждённые плёнки анализировались с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 и скретч-тестера REVETEST. Определён характер влияния параметров эксперимента на свойства полученных покрытий.

А.А. СТЕПАНЕНКО, В.М. ЖДАНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ И АТОМАРНОЙ ПЛАЗМЕ С УЧЕТОМ НЕУПРУГИХ СТОЛКНОВЕНИЙ**

На основе уравнений переноса для электронов, получаемых в результате решения кинетического уравнения методом моментов Грэда, рассчитаны вклады от неупругих столкновений электронов с нейтралами плазмы в электронные коэффициенты переноса. Вычислены значения коэффициента неупругих потерь электронов для некоторых молекулярных ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ) и атомарных (H) газов. Получены оценки вклада неупругих столкновений электронов, сопровождающихся вращательным и колебательным возбуждением молекул и электронным возбуждением атомов, в коэффициенты диффузии электронов и электропроводности плазмы. Показано, что наибольший вклад в коэффициенты переноса электронов (~ 3-5 %) дает возбуждение вращательных степеней свободы молекул в плазме.

В.Д. ПОПОВ, К.М. ГУТОРОВ, И.А. СОРОКИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА**

Проведены измерения структуры магнитного поля в автоколебательном режиме горения разряда в установке ПР-2. Измерения проводились посредством разработанной системы автоматического позиционирования магнитных зондов, размещаемой внутри основного объема установки ПР-2. Определялась зависимость амплитуды колебаний и сдвига фазы относительно опорного зонда. Все используемые магнитные зонды были предварительно откалиброваны в катушке Гельмгольца. Данные о топологии магнитного поля позволяют определять тип и моды возбуждающихся в плазме колебаний.



И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ, К.М. ГУТОРОВ, Ф.С. ПОДОЛЯКО  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ МИКРОТЕЧЕЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА**

Описывается один из перспективных методов диагностики течи воды системы охлаждения термоядерных установок, основанный на вторично-эмиссионной автоколебательной неустойчивости приэлектродных дебаевских слоев при взаимодействии сильнонеравновесной плазмы с отрицательно смещенной контактной поверхностью в присутствии тонких диэлектрических пленок.

Метод обладает хорошей чувствительностью ( $< 10^{16}$  молекул/с) и быстродействием ( $< 1$  мин) по сравнению с предложенными ранее спектроскопическими методами ( $\geq 10^{16}$  молекул/с и  $> 30$  мин., соответственно), а также позволяет обнаруживать незначительные примеси кислородосодержащих соединений. В перспективе данный подход позволит локализовать положение источника течи в камерах ТЯУ и определять величину течи с помощью характерных участков ВАХ.

И.А. СОРОКИН, И.В. ВИЗГАЛОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **IN-SITU АНАЛИЗ ИОННОГО СОСТАВА ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЫ**

Анализ ионного состава и параметров плазмы встроенными диагностическими системами является важной задачей для контроля режимов горения разряда и ионного масс-спектра в течение эксперимента. Особенно остро задача стоит в имитационных плазменных установках, где отношение концентраций ионов разных сортов является критическим параметром.

На установку PSI-2 (Юлих, Германия) установлен разработанный в МИФИ анализатор ионного состава плазмы, основанный на классической схеме масс-сепаратора Демпстера, использующий собственное магнитное поле установки. Анализатор представляет собой комбинированный прибор и имеет дополнительное оборудование для контроля параметров плазмы разряда (одиночный зонд Ленгмюра), величины магнитного поля в области масс-анализа и температуры корпуса анализатора.

А.В. ГАВРИКОВ<sup>1,2</sup>, Г.Д. ЛИЗЯКИН<sup>1</sup>, В.П. СМИРНОВ<sup>1</sup>,  
Р.А. УСМАНОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет),  
Долгопрудный, Московская обл.*

## **ПРОВИСАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА НА ОСИ ОТРАЖАТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА В ГЕЛИИ**

В плазменном методе переработки отработавшего ядерного топлива, основанном на разделении продуктов распада и минорных актинидов в скрещенных электрическом и магнитном полях, предполагается наличие неоднородного электрического поля в плазме. Для отработки механизмов его создания исследовался разряд, в котором подвижность заряженных частиц в радиальном направлении ограничивалась аксиальным магнитным полем. В данной работе изучался разряд в гелии при давлениях 1 и 35 мТорр, магнитном поле до 2.1 кЭ и напряжении до 1.2 кВ. При давлении 35 мТорр обнаружено два режима горения разряда. Измерялись вольт-амперные характеристики разряда и профиль распределения потенциала.

Н.Н. АНТОНОВ<sup>1</sup>, Н.А. ВОРОНА<sup>1</sup>, А.В. ГАВРИКОВ<sup>1</sup>, А.А. САМОХИН,  
В.П. СМИРНОВ

*Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН), Москва*

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт МФТИ НИИ (ГУ), Долгопрудный,  
Московская обл.*

## **РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПЛАЗМЫ МОДЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ОТРАБОТКИ МЕТОДА ПЛАЗМЕННОЙ СЕПАРАЦИИ**

Для отладки метода плазменной сепарации необходим источник плазмы модельного вещества с однозарядным составом ионов. В качестве вещества, моделирующего тяжелую компоненту ОЯТ, выбран свинец. В работе изучался разряд с горячим катодом в парах свинца различной плотности. Построена расчетно-теоретическая модель и проведена ее экспериментальная проверка. Получены ВАХ разряда в зависимости от плотности паров модельного вещества в пространстве между плоскими электродами. Получаемые ионные токи достигают значения 100 мкА.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-29-00231).

О.Б. АНАНЬИН, О.А. БАШУТИН, Г.С. БОГДАНОВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО,  
И.А. ГЕРАСИМОВ, Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, А.П. МЕЛЕХОВ,  
А.С. САВЁЛОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ, Е.Д. ФИЛИППОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ**

В исследованиях по ЛТС для сферически-симметричного сжатия мишени активно разрабатываются методы улучшения пространственно-временной структуры излучения греющих лазерных пучков. Для выравнивания неоднородностей интенсивности лазерный пучок пропускается через слабопоглощающую лазерную плазму. Для её исследования применена диагностика с интерферометром Маха-Цендера и осветителем на основе коммерческой модели ультрафиолетового ( $\lambda=333$  нм) азотного лазера Spectra-Physics 337-Si, которая позволяет исследовать плазму с электронной концентрацией  $N_e$  в диапазоне  $10^{17} - 10^{20}$  см $^{-3}$  при длительности экспозиции  $\sim 5$  нс. Представлены результаты исследований.

Н.Г. ИГНАТЬЕВ, П.С. КРАПИВА, М.И. ИВАНОВ, В.И. БОГОМОЛОВ,  
Е.В. СВЕТЛОВ, А.О. НЕСТЕРЕНКО, К.Е. КОРОТКОВ,  
И.Н. МОСКАЛЕНКО, П.А. ЖУКОВ, И.А. СУББОТИНА  
*Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ВНИИА), Москва*

### **АППАРАТУРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ МИШЕНИ МОЩНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ**

Представлены результаты разработки детекторов импульсного рентгеновского, гамма- и нейтронного излучения, спектрометра импульсного рентгеновского излучения на основе многослойных зеркал, кадрового регистратора рентгеновских изображений на основе МКП. Разработка аппаратуры проводилась с целью последующей комплектации методики диагностики плазмы установки УФЛ-2М – измерения временного хода электронной температуры бокса конвертера, измерения ионной температуры термоядерного топлива, получения изображений мишени. В докладе приведены описания разработанных приборов, их характеристик, результаты исследований, полученные на пикосекундном рентгеновском источнике на базе фемтосекундной лазерной установки.

А.В. БАЛОВНЕВ, И.Г. ГРИГОРЬЕВА, Э.И. ДОДУЛАД,  
А.С. САВЁЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ, ОБРАЗОВАННОЙ В СИЛЬНОТОЧНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДАХ**

Работа проводилась на установке «низкоиндуктивная вакуумная искра» и посвящена экспериментальным исследованиям параметров спектральных характеристик рентгеновского излучения (энергетический диапазон квантов 1-300 кэВ) плазмы, генерируемой при различных токовых режимах сильноточного разряда и различных материалах электродов, в зависимости от конструкции и конфигурации электродов разрядной системы. С помощью разработанного координатно-чувствительного спектрометра рентгеновского излучения получены результаты исследования пространственной структуры плазмы. Полученные результаты исследований позволяют дать физическую интерпретацию процессов, происходящих в плазме микропинчевого разряда.

А.В. БАЛОВНЕВ, Е.Д. ВОВЧЕНКО, И.Г. ГРИГОРЬЕВА,  
Э.И. ДОДУЛАД, А.С. САВЁЛОВ, Г.Х. САЛАХУТДИНОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИСТОЧНИКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИОННОЙ ЭМИССИИ В ПЛАЗМЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

Установка «низкоиндуктивная вакуумная искра» относится к классу сильноточных электроразрядных устройств ( $Z$ -пинчей), на которой может быть реализован режим микропинчевания. С помощью разработанных методики и приборов проведены исследования источников ионной эмиссии и рентгеновского излучения из плазмы вакуумного искрового разряда в радиальном направлении. В режиме микропинчевания с помощью камеры-обскуры одновременно получено два пространственно совмещенных изображения: область рентгеновского излучения с энергиями квантов  $h\nu \geq 2$  кэВ и область эмиссии ионов, что позволило установить связь между источниками рентгеновского излучения и эмиссии ионов. Получены спектры источников рентгеновского излучения и ионной эмиссии плазменного объекта.

М.В. ХИЛЬКО<sup>1,2</sup>, Г.С. ВОЛКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ФГУП «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк

## **ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ОБЛАСТИ СИЛЬНОТОЧНОГО Z-ПИНЧА В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ КВАНТОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

В работе проведено измерение средних поперечных и продольных размеров излучающей области сильноточного Z-пинча на финальной стадии его сжатия в диапазоне энергий квантов мягкого рентгеновского излучения (50 эВ – 2,5 кэВ). Регистрация излучения Z-пинча проводилась в ходе имплозии многопроволочных сборок на сильноточном электрическом генераторе «АНГАРА-5-1». В результате измерений средней поперечный и средний продольный размеры излучающей области Z-пинча составили величины  $1,16 \pm 0,06$  мм и  $12,03 \pm 0,12$  мм соответственно. Используя данные результаты, была проведена оценка плотности Z-пинча и его ионной концентрации. Методика, используемая в данной работе, позволяет проследивать динамику формы и размеров излучающей области Z-пинча в квантах мягкого рентгеновского излучения.

Д.В. КОЛОДКО, Н.В. МАМЕДОВ, Д.Н. СИНЕЛЬНИКОВ,  
Г.В. ХОДАЧЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СОЗДАНИЕ ИСТОЧНИКА ГАЗОВЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИОНОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

Представлены результаты разработки и испытаний источника газовых и металлических ионов на основе Пеннинговского разряда. В среде Comsol рассчитаны распределения электрического и магнитного поля, определены траектории заряженных частиц в различных конфигурациях электродов и значений индукции магнитного поля. По результатам компьютерного моделирования изготовлен источник и измерены массовые и энергетические спектры вытягиваемых ионов. Определены рабочие характеристики разряда, при которых доля металлических ионов максимальна.

Э.И. ДОДУЛАД, В.А. КОСТЮШИН, А.С. САВЁЛОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ, ЭМИТИРУЕМОЙ РАЗРЯДОМ ТИПА СИЛЬНОТОЧНАЯ НИЗКОИНДУКТИВАЯ ВАКУУМНАЯ ИСКРА, С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОЙ КОРПУСКУЛЯРНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Разряды типа сильноточная низкоиндуктивная вакуумная искра (СНВИ) являются интенсивными источниками заряженных частиц. Это открывает широкие перспективы их использования. При этом важно учитывать воздействие потоков плазмы на элементы конструкции экспериментальной установки и диагностическую аппаратуру.

В данной работе представлены результаты комплексного исследования корпускулярных потоков, эмитируемых разрядом типа СНВИ.

Для определения скорости потоков плазмы использовалась зондовая методика. Плотность потоков плазмы определялась с использованием значений газокинетического давления плазмы разряда, измеренных ранее с помощью бесконтактной лазерной методики.

С.А. САРАНЦЕВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОЦЕНКИ ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНОЙ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ КАТОДА**

В данной работе приводятся оценки давления плазмы сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры на поверхность катода (материал электродов – железо). Расчеты приведены для первого полупериода разряда, в котором поверхность катода подвергается наиболее сильному воздействию (формируется микропинч и, как следствие, высокоэнергетичные потоки плазмы). Оценки сделаны на основании экспериментальных данных, полученных на установке «Пион». Были использованы данные электротехнических измерений разрядного тока, значение средних скоростей потоков плазмы, полученные с помощью многосеточного зонда и данные исследования поверхностной макроструктуры катода. Результаты приводятся для различных значений разрядного тока.

С.А. САРАНЦЕВ, Я.М. ДВОЕГЛАЗОВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗРЯДНОГО ТОКА  
СИЛЬНОТОЧНОЙ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ  
ИСКРЫ НА РАЗМЕРЫ СУБМИКРОННОЙ СТРУКТУРЫ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ**

В работе приведены результаты исследования влияния величины разрядного тока на поверхностную структуру электродов сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры. В качестве материала электродов использовалось железо (Ст. 45). Установлено, что с ростом разрядного тока и переходом в режим микропинчевания размеры ячеек периодической структуры на поверхности катода уменьшаются от 600 нм (63 кА) до 150 нм (180 кА). Существенного влияния величины разрядного тока на размеры структурных образований на поверхности анода не обнаружено (для всего диапазона токов размеры структур  $\sim 400$  нм).

С.А. САРАНЦЕВ, И.Ф. РАЕВСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДОВ  
НА ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА  
НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ**

В работе представлены результаты исследования элементного состава потоков вещества, эмитируемого из межэлектродного промежутка сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры. Применялись пары электродов из различных материалов. В качестве материалов использовались: Fe, Cu, Mo, W, Ti, Pb. Отмечено, что наиболее стабильное по интенсивности и моменту эмиссии от разряда к разряду рентгеновское излучение регистрировалось для Fe и Mo.

С.А. САРАНЦЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ КАТОДА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПОТОКАМИ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНОЙ НИЗКОИНДУКТИВНОЙ ВАКУУМНОЙ ИСКРЫ**

В работе предложена модель, описывающая процесс формирования субмикронной структуры на поверхности электродов сильноточной низкоиндуктивной вакуумной искры, основанная на развитии неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, возникающая на границе тангенциального разрыва плазма-расплав. С помощью данной модели определены наиболее вероятные длины волн неустойчивости, величины которых хорошо согласуются с наблюдаемыми размерами структурных образований на поверхности электродов.

А.А. ДВОРНОВА, С.Н. ГЕРАСИМОВ<sup>1</sup>, Й. ХАВЛИЧЕК<sup>2,3</sup>,  
О. ХРОНОВА<sup>2</sup>, Р. ПАНЕК<sup>2</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>*Калэмский научный центр, Абингдон, Великобритания*

<sup>2</sup>*Институт физики плазмы, Прага, Чехия*

<sup>3</sup>*Карлов университет, Прага, Чехия*

## **ТРАЕКТОРИИ 3D АСИММЕТРИЙ ТОКА ВО ВРЕМЯ СРЫВОВ**

Устойчивость плазмы в токамаках обеспечивается системами обратных связей, но в случае сбоя работы систем может произойти срыв, в ходе которого могут наблюдаться 3D асимметрии тока. В ходе данной работы были изучены 80 разрядов токамака COMPASS. В качестве диагностики использовались: а) внутренний пояс Роговского, б) 16 внутренних дискретных катушек и в) 24 дискретные катушки Мирнова (итого 3 тороидальных сечения). Для 70 разрядов были найдены зависимости срывов от тока плазмы, электронной плотности, размера плазменного шнура и направления срыва. Три измеряемых тока были представлены в виде Фурье разложения, что позволяет найти три независимых параметра: амплитуду, фазу и сдвиг асимметрии тока. Используя эти выражения, были найдены зависимости амплитуды асимметрии от фазы для проверки гипотезы о зависимости траекторий асимметрий от тороидальных асимметрий магнитного поля вследствие инженерных неточностей.



*Секция*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА,  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
И НАНОСИСТЕМ**



Руководитель – *Менушенков А.П.*, профессор,  
и.о. заведующего кафедрой № 70  
Секретари – *Кузнецов А.В.*, доцент кафедры № 70  
*Санников И.И.*, аспирант кафедры № 70

Тел. (495)323-90-20, (495)323-93-86  
Факс (495)324-21-11  
E-mail: [armenushenkov@mephi.ru](mailto:armenushenkov@mephi.ru)  
[avkuznetsov@mephi.ru](mailto:avkuznetsov@mephi.ru)  
[isannikov@mephi.ru](mailto:isannikov@mephi.ru)

Ю.В. АГРАФОНОВ, Н.А. ЗЕЛЕНЦОВ, И.С. ПЕТРУШИН  
*Иркутский государственный университет*

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТЯХ

Вычисляются структурные и термодинамические характеристики молекулярной системы, находящейся в контакте с твердой поверхностью. Частичные функции распределения находятся на основе обобщенного уравнения Орнштейна-Цернике, посредством разложения в степенные ряды с точностью до второго порядка по плотности. Получены выражения для профиля локальной микроплотности, адсорбции, нормальной и тангенциальной компонент тензора натяжений.

П.А. АЛЕКСЕЕВ<sup>1,2</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>2</sup>, К.С. НЕМКОВСКИЙ<sup>3</sup>,  
А.А. ЯРОСЛАВЦЕВ<sup>2</sup>, Д.П. КОЗЛЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>Jülich Centre for Neutron Science, Forschungszentrum, Germany

<sup>4</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская обл.

## СОСУЩЕСТВОВАНИЕ ДАЛЬНЕГО МАГНИТНОГО ПОРЯДКА И СПИНОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ В ВАЛЕНТНО-НЕСТАБИЛЬНЫХ СИЛЬНОКОРРЕЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Представлены результаты исследования дальнего магнитного порядка (ДМП), возникающего в условиях валентной нестабильности редкоземельных интерметаллидов. Обнаружено, что в значимом диапазоне соотношения Si/Ge в  $\text{EuCu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$  спиновые флуктуации в режиме одноуровневой промежуточной валентности европия сосуществуют с ДМП. Эксперименты выполнены с использованием рентгеновской спектроскопии поглощения, изомерного сдвига в эффекте Мёссбауэра, магнитного неупругого рассеяния и дифракции нейтронов. Обсуждаются возможные механизмы обнаруженного явления. Работа частично поддержана РФФ (проект No 14-22-00098).

Е.А. АНДРЮЩЕНКО<sup>1</sup>, Т.В. ГОРДОВА<sup>3</sup>, А.Б. ДЮБУА<sup>1</sup>, С.И. КУЧЕРЯВЫЙ<sup>2</sup>,  
С.Н. МАШИНА<sup>3</sup>, А.С. САФОШКИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Рязанский государственный радиотехнический университет

<sup>2</sup>Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.

<sup>3</sup>Рязанский филиал Московского государственного университета экономики,  
статистики и информатики

## ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИЛЬНОЛЕГИРОВАННОМ ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ $Al_xGa_{1-x}/GaAs$

Работа направлена на выяснение вклада внутривоззвонной и межподзвонной электрон – электронной релаксации в затухание квантования Ландау осцилляций поперечного магнитосопротивления с использованием фурье анализа. Для сильнолегированного гетероперехода, аппроксимированного треугольным потенциальным профилем, когда заполнены основная и возбужденная подзоны размерного квантования, получены выражения параметрических зависимостей от температуры, которые объясняют экспериментальные зависимости.

К.Е. БАРКАЛОВ<sup>1,2</sup>, П.Н. ДЕГТЯРЕНКО<sup>1</sup>, С.В. ШАВКИН<sup>1</sup>,  
В.С. КРУГЛОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДЕЛАМИНАЦИИ ВТСП-2 ЛЕНТ

В настоящее время большое внимание уделяется высокотемпературным сверхпроводникам второго поколения (ВТСП-2) благодаря их уникальным токнесущим свойствам. Вследствие того, что архитектура ВТСП-2 лент представляет собой сложную многослойную структуру, при проектировании электротехнического оборудования для различных применений приходится решать возникающие технические задачи, связанные со склонностью ВТСП - лент к расслаиванию (деламинации). Проводилось изучение данного процесса при воздействии поперечного механического напряжения. Исследуется место локализации разрыва в ленте, определяется критическое значение приложенной силы. Эксперименты проводятся в широком диапазоне температур. Так же изучается вопрос о деградации критического тока при деламинации.

А.О. БАСКАКОВ, Н.А. МИНЕЕВ, И.А. РУДНЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **АНИЗОТРОПИЯ КРИТИЧЕСКИХ ТОКОВ ВТСП ЛЕНТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Проведен анализ магнитопольевой анизотропии критических токов  $I_c$  ВТСП лент второго поколения. Измерения критического тока проводились на низкотемпературной вставке, позволяющей выполнять вращение образца с шагом  $1.8^\circ$  по углу в диапазоне углов  $\theta$  от  $-90^\circ$  до  $+120^\circ$  в магнитном поле до 8 Тл. Образцами служили ВТСП ленты второго поколения компаний Superpower и Sunam. На основе анализа полученных экспериментальных данных сформулированы предположения о возможной конфигурации центров пиннинга образца. Проведено сопоставление экспериментальных данных с теоретической зависимостью  $I_c(\theta)$ .

П.И. БЕЗОТОСНЫЙ, С.Ю. ГАВРИЛКИН, А.Н. ЛЫКОВ, А.Ю. ЦВЕТКОВ

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

## **РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИН ТОЛЩИНОЙ ПОРЯДКА ДЛИНЫ КОГЕРЕНТНОСТИ $\xi$ В РАМКАХ ТЕОРИИ ГИНЗБУРГА–ЛАНДАУ**

Состояние сверхпроводящей пластины с транспортным током в параллельном ее поверхности магнитном поле изучалось с помощью численного решения уравнений Гинзбурга–Ландау (ГЛ). Для параметра порядка использовались граничные условия общего вида, позволяющие учитывать влияние границы на сверхпроводящее состояние внутри пластины. По результатам расчетов, в ряде случаев, обнаружены особенности поведения зависимостей критического тока и параллельного поверхности пластины критического магнитного поля от толщины пластины, не описываемые стандартными формулами для тонких пластин. На основании расчетов предложен подход к оценке длины когерентности  $\xi$ . Результаты численных расчетов согласуются с экспериментальными данными и аналитическими расчетами в рамках теории ГЛ.

И.С. БЕСЕДИН<sup>1,2</sup>, Д.А. ДЖИГАЕВ<sup>1,2</sup>, А.Г. ШАБАЛИН<sup>2</sup>,  
О.Ю. ГОРОБЦОВ<sup>2,3</sup>, Р.П. КУРТА<sup>4</sup>, Я.-М. МЕЙЕР<sup>5</sup>, А. ПЕТУХОВ<sup>5</sup>,  
А.В. ЗОЗУЛЯ<sup>2</sup>, М. ШПРУНГ<sup>2</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>,  
И.А. ВАРТАНЬЯНЦ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Deutsches Electron-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany

<sup>3</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>4</sup>European XFEL GmbH, Hamburg, Germany

<sup>5</sup>Debye Institute for Nanomaterials Science, Utrecht University, The Netherlands

## **РЕНТГЕНОВСКАЯ ПТАЙКОГРАФИЯ КОЛЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

С помощью метода рентгеновской птайкографии исследована реальная структура коллоидного кристалла, полученного из сферических частиц диоксида кремния. Исследована возможность решения фазовой проблемы для периодического образца в условиях различных зондирующих пучков. Получена микроскопическая дефектная структура коллоидного кристалла.

А.И. БЛУДОВА<sup>1,2</sup>, В.В. СТОЯКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская обл.

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ВТСП ЛЕНТАХ 2-го ПОКОЛЕНИЯ**

Пространственное распределение величины плотности тока в ВТСП лентах 2-го поколения может быть неоднородным. В данной работе представлен метод определения локальной плотности тока на основе измерения магнитного поля ВТСП ленты. Магнитное поле измеряется датчиком Холла в плоскости над поверхностью ленты. Полученные данные интерполируются. Вычисляется локальная намагниченность ВТСП ленты путём решения обратной задачи в фурье-пространстве. Используется регуляризация Тихонова. По намагниченности вычисляется локальная плотность тока. Метод верифицирован путём прямого вычисления магнитного поля заданного распределения плотности тока. Определены границы применимости метода. Произведена оценка устойчивости к шуму. Метод успешно применён в эксперименте.

А.Д. БОЖКО

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

## **ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА В МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ**

Электронный транспорт в металл-углеродных наноконкомпозитах на основе W, Nb, Cr и Mo исследован в температурном интервале 2 – 300 К. Обнаружено, что при концентрациях металлов 0.1 – 0.4 поправки к проводимости демонстрируют черты универсальности. Это выражается в существовании двух характерных температурных интервалов степенного поведения проводимости, с одной стороны, и концентрационных зависимостей параметров проводимости внутри каждого интервала, с другой. Показано, что степенной характер проводимости внутри каждого из температурных интервалов определяется процессами неупругого межгранульного туннелирования электронов, вероятность которого понижается с температурой.

С.И. БОЖКО, А.М. ИОНОВ, С.Г. ПРОТАСОВА, А.А. СМЕРНОВ,  
С.В. ЧЕКМАЗОВ

*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская обл.*

## **АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУРЬМЫ ПРИ ИОННОМ ТРАВЛЕНИИ**

Полуметалл Sb вызвал большой интерес своими топологическими свойствами, и стал прототипом систем топологических изоляторов. Дефекты кристаллической структуры могут менять электронный спектр поверхности Sb (111), что приводит к нарушению симметрии обращения времени и изменению топологических свойств. Именно поэтому интересно влияние дефектов на поверхностные состояния Sb. В работе изучена атомная и электронная структура травленной поверхности Sb (111). При травлении поверхности Sb(111) ионами Ar<sup>+</sup> при низкой температуре образца образуется большое количество монослойных плоских участков, а также дефектов в виде оборванных ковалентных связей между атомами Sb, что приводит к локальному нарушению условий пайерлсовского перехода и, следовательно, металлизации поверхности.

С.И. БОЖКО<sup>1</sup>, А.С. КСЕНЗ<sup>1,2</sup>, А.М. ИОНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская обл.*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА НАНООСТРОВКА СВИНЦА В ПРИБЛИЖЕНИИ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ**

В модели электронного роста металлический островок рассматривается как квантовая яма, частично заполненная электронами проводимости. При некоторых толщинах островка реализуются условия образования стоячих волн для электронов на уровне ферми. В результате образования стоячих волн происходит понижение общей энергии системы. Компьютерное моделирование формирования слоистой кристаллической структуры в наноструктурах свинца показало, что расслоение, обусловленное образованием двойниковой границы между слоями, состоящими из 7 монослоёв, можно объяснить в рамках модели электронного роста.

К.Н. БОЛДЫРЕВ<sup>1</sup>, М.Н. ПОПОВА<sup>1</sup>, Т.Н. СТАНИСЛАВЧУК<sup>2</sup>,  
Б.З. МАЛКИН<sup>3</sup>, И.А. ГУДИМ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup>*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, USA*

<sup>3</sup>*Казанский федеральный университет*

<sup>4</sup>*Институт физики им. Л.В. Киренского РАН, Красноярск*

## **ДЛИННОВОЛНОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МУЛЬТИФЕРРОИКА $\text{EuFe}_3(\text{VO}_3)_4$**

Проведено исследование низкотемпературных спектров пропускания в широком спектральном диапазоне (30-23000  $\text{cm}^{-1}$ ). Определены энергии уровней кристаллического поля (КП) иона  $\text{Eu}^{3+}$ . Температурное поведение спектральных линий указало на наличие структурного ( $T_S = 58 \text{ K}$ ) и магнитного ( $T_N = 34 \text{ K}$ ) фазовых переходов. На базе оптических данных был проведен расчет по теории КП. Найдены параметры КП и волновые функции энергетических уровней КП иона  $\text{Eu}^{3+}$ . Исследование позволило найти структурные особенности в этом соединении. Работа поддержана Российским научным фондом (Грант №14-12-01033).

И.А. ВАРТАНЬЯНЦ

*Deutsches Electron-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany*  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **КОГЕРЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И РЕНТГЕНОВСКИХ ЛАЗЕРОВ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ**

Приведён обзор когерентных свойств рентгеновских лазеров на свободных электронах (XFEL) и источников синхротронного излучения 3-его поколения. Теоретические результаты, полученные методами статистической оптики, подтверждаются экспериментальными данными, полученными на рентгеновских лазерах FLASH и LCLS и на синхротронном источнике PETRA III.

Б.Р. ГАЙНАНОВ<sup>1</sup>, А.Ю. ГЕОНДЖИАН<sup>1</sup>, П.А. АЛЕКСЕЕВ<sup>1,2</sup>,  
А.А. ЯРОСЛАВЦЕВ<sup>3</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>, F. BAUDELET<sup>4</sup>, L. NATAF<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*,

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

<sup>4</sup>*European XFEL GmbH, Hamburg, Germany*

<sup>4</sup>*Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin, France*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВАЛЕНТНОГО СОСТОЯНИЯ ЕВРОПИЯ В СОЕДИНЕНИИ $\text{EuCu}_2\text{Ge}_2$ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

С помощью анализа XANES спектров исследовано поведение валентности Eu под высоким давлением (1-30 GPa). Спектры получены выше  $L_2$ -края поглощения Eu на энергодисперсионной станции ODE синхротрона SOLEIL (Франция). Давление создавалось сжатием порошкового образца в алмазной наковальне (DAC) при комнатной температуре. Установлено, что пройденный в эксперименте диапазон давлений полностью перекрывает всю диаграмму валентности в зависимости от температуры или концентрации кремния в сериях  $\text{EuCu}_2(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_2$ .



А.Ю. ГЕОНДЖИАН<sup>1</sup>, А.А. ЯРОСЛАВЦЕВ<sup>2</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>,  
F. BAUDELET<sup>3</sup>, L. NATAF<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>European XFEL GmbH, Hamburg, Germany

<sup>3</sup>Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin, France

## **XANES СПЕКТРОСКОПИЯ МАГНИТНЫХ АРСЕНИДОВ КОБАЛЬТА (RCO<sub>2</sub>As<sub>2</sub>)**

Недавно синтезированные зонные магнетики RCo<sub>2</sub>As<sub>2</sub> интересны с точки зрения корреляции их магнитных свойств с электронной и локальной кристаллической структурами. В работе исследованы зависимости валентности CeCo<sub>2</sub>As<sub>2</sub> от температуры/давления методом XANES спектроскопии. Спектры получены на станциях muSpot синхротронного центра BESSY (HZB, Берлин, Германия) и ODE синхротрона SOLEIL (Франция). Был исследован диапазон давлений 1-14 GPa и температур 10 - 300 K. Установлено увеличение валентности Ce при понижении температуры или увеличении давления, что может объясняться гибридизацией 4f-3d орбиталей.

В.В. ГЛУШКОВ<sup>1</sup>, М.А. АНИСИМОВ<sup>1</sup>, А.В. БОГАЧ<sup>1</sup>, А.В. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>,  
И.И. САННИКОВ<sup>2</sup>, Р.Ф. БАЙБАКОВ<sup>2</sup>, А.В. ДУХНЕНКО<sup>3</sup>,  
А.В. ЛЕВЧЕНКО<sup>3</sup>, В.Б. ФИЛИПОВ<sup>3</sup>, С.В. ДЕМИШЕВ<sup>1</sup>, Н.Е. СЛУЧАНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>Институт проблем материаловедения им. И.Францевича НАНУ, Киев, Украина

## **КОЛОССАЛЬНОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ В Eu<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>B<sub>6</sub>**

В результате исследований транспортных и магнитных свойств твердых растворов замещения Eu<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>B<sub>6</sub> (x<0.4) обнаружено универсальное поведение амплитуды отрицательного магнитосопротивления как функции квадрата намагниченности. Показано, что коэффициент в линейной зависимости  $-\Delta\rho/\rho=C(M/M_0)^2$  при  $M/M_0\ll 1$  зависит от концентрации носителей заряда как  $C\sim n^{-2/3}$ . Корреляция  $C$  и  $n$ , ранее наблюдавшаяся для различных соединений с колоссальным магнитосопротивлением (*Nature*, **395** (1998) 479), указывает на общий механизм магниторезистивного эффекта, связанный с разрушением магнитным полем спин-поляронных состояний в режиме малых концентраций носителей заряда.

Н.Н. ДЕГТЯРЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАСТЕРОВ НЕМОЛЕКУЛЯРНОГО АЗОТА В ОБОЛОЧКЕ**

Ранее, экспериментально при высоких давлениях был получен азот, обладающий Гош структурой (HEDM). Эта фаза оказалась нестабильна при декомпрессии ниже 25 ГПа. В настоящей работе методом DFT рассматривается возможность стабилизации при нормальном давлении ограниченных образцов полимерного немоллекулярного азота со структурой Гош фазы (кластеров). В рамках моделирования показано, что при нормальном давлении ограниченные образцы Гош фазы (кластеры), окруженные оболочкой атомов другого сорта могут быть стабильны. Рассматриваются разные виды оболочек, которые, в принципе, могут быть локализованы относительно ядра из немоллекулярного азота в процессе его образования. Рассчитаны колебательный частотный спектр и температурный интервал устойчивости подобных образований, энергия связи и энергия, выделяющаяся при их распаде

Е.А. ДОБРЕЦОВА, К.Н. БОЛДЫРЕВ

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

## **ЭФФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КРИСТАЛЛАХ $NdM_3(BO_3)_4$ ( $M = Al, Ga, Cr$ )**

Уникальные физические свойства кристаллов двойных ортоборатов со структурным типом минерала хантита непосредственно связаны с расположением низколежащих уровней редкоземельных ионов в этих соединениях и их взаимодействием с фонами кристаллической решетки.

В настоящей работе методом спектроскопии высокого разрешения нами была исследована штарковская структура уровней редкоземельного иона  $Nd^{3+}$  в кристаллах  $NdAl_3(BO_3)_4$ ,  $NdGa_3(BO_3)_4$  и  $NdCr_3(BO_3)_4$ . Анализ полученных данных указывает на схожесть параметров кристаллического поля для всех трех соединений и подтверждает предположение о их изоструктурности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 14-12-01033).

И.А. ЗАЛУЖНЫЙ<sup>1,2</sup>, Р.П. КУРТА<sup>3</sup>, Е.А. СУЛЬЯНОВА<sup>4</sup>,  
О.Ю. ГОРОБЦОВ<sup>2,5</sup>, А.Г. ШАБАЛИН<sup>2</sup>, А.В. ЗОЗУЛЯ<sup>2</sup>,  
А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>, М. ШПРУНГ<sup>2</sup>, Б.И. ОСТРОВСКИЙ<sup>4</sup>,  
И.А. ВАРТАНЬЯНЦ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Deutsches Electron-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany

<sup>3</sup>European XFEL GmbH, Hamburg, Germany

<sup>4</sup>Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва

<sup>5</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С ДАЛЬНИМ ОРИЕНТАЦИОННЫМ ПОРЯДКОМ**

С помощью рентгеновского излучения исследовалась структура плёнок жидкокристаллического вещества 3(10)OBC в смектической и гексатической фазах. Были исследованы процессы формирования доменов с однородной ориентацией молекул, температурная зависимость корреляционной длины и параметров порядка. Полученные экспериментальные данные с высокой точностью описываются теорией.

В.В. ЗУЕВ<sup>1</sup>, М.В. ДЕМИН<sup>1</sup>, Р.И. РОМАНОВ<sup>1</sup>, Н.П. МАЦНЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Финансово-технологическая академия, Королёв, Московская обл.

## **ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛЕНОЧНОГО СЕНСОРА Pt/WO<sub>x</sub>/6H-SiC ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОДОРОДА**

На технологически оптимизированных тонкопленочных структурах Pt/WO<sub>x</sub>/SiC определено действие водорода на увеличение способности оксида вольфрама накапливать заряды от внешнего источника. Рассчитаны значения резистивных и емкостных характеристик структурных элементов системы Pt/WO<sub>x</sub>/SiC. Установлена связь между изменением электрофизических характеристик структуры в водородной среде и изменением типа кристаллической решетки оксида вольфрама, приводящей к возрастанию его диэлектрической проницаемости. Показано, что изготовленная структура имеет высокую чувствительность к низким концентрациям водорода (около 0,2%).

В.Г. ИВАНОВ, О.В. ЧЕРНЫШЕВА, А.П. МЕНУШЕНКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **EXAFS-ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ ЖЕЛЕЗА**

Представлены результаты EXAFS-исследования локальной неоднородности кристаллической структуры сверхпроводящих халькогенидов железа. Исследовались порошки  $\text{FeSe}_x\text{S}_{1-x}$ ,  $\text{FeTe}_x\text{S}_{1-x}$  и  $\text{FeSe}_x\text{Te}_{1-x}$ . EXAFS-спектры были сняты в синхротронном центре MAX-lab (г. Лунд, Швеция) выше  $K$ -краев поглощения Fe, S, Se и Te в режиме «на пропускание» в диапазоне температур от 77 К до 300 К. Обработка спектров осуществлялась с использованием программного комплекса VIPER. Определены температурные зависимости длин и факторов Дебая-Валлера меж-атомных связей Fe и халькогенов (S, Se, Te) с их ближайшим окружением. Произведено сравнение результатов с имеющимися литературными данными.

Авторы благодарны Д.А. Чарееву за предоставление образцов. Работа поддержана грантом РФФИ №14-22-00098.

К.Б. ИЛЬИНА<sup>1,2</sup>, А.С. БОЙКОВА<sup>1,2</sup>, М.А. МАРЧЕНКОВА<sup>1,2,3</sup>,  
В.Р.САМЫГИНА<sup>2</sup>, Е.Ю. ТЕРЕЩЕНКО<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ПОДЛОЖЕК НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИЗОЦИМА**

При решении прикладных биофизических и медицинских задач одним из важных этапов становится исследование структуры биоорганических молекул и комплексов в виде кристаллов. При получении белкового кристалла высокого качества актуальной задачей становится выявление закономерностей и контролирование процесса начала кристаллизации (зародышеобразования). В данной работе исследовали влияние поверхности твердых подложек на процесс зародышеобразования модельного белка лизоцима, выращенного методом сидячей капли. Полученные результаты используются для дальнейшей разработки методики контролируемой нуклеации.

В.А. КАБАНОВА<sup>1</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>, В.В. ПОПОВ<sup>1</sup>,  
Я.В. ЗУБАВИЧУС<sup>2</sup>, Э.С. КУЛИК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

## **ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СОЕДИНЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В СИСТЕМЕ Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–HfO<sub>2</sub>**

С помощью методов рентгеновской дифракции и рентгеновской спектроскопии поглощения проведено исследование процессов образования и эволюции локальной и кристаллической структуры в порошках Tb<sub>2</sub>Hf<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Показано, что изотермический отжиг рентгеноаморфного смешанного гидроксида приводит к образованию нанокристаллических порошков с ярко выраженной неэквивалентностью локального окружения катионов Tb<sup>3+</sup> и Hf<sup>4+</sup>. Повышение температуры термообработки ≥ 1400°C приводит к образованию и росту нанодоменов с суперструктурным катионным упорядочением пирохлорного типа внутри более крупных кристаллитов дефектного флюорита.

В.А. КАШУРНИКОВ, А.В. КРАСАВИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЗОННАЯ СТРУКТУРА СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ FeAs**

Рассчитан спектр возбуждений в двумерных кластерах FeAs, моделирующих сверхпроводники на основе железа, с использованием квантового алгоритма Монте-Карло в рамках полной двухорбитальной узельной модели. Представлены первые данные Монте-Карло для кластеров с размерами до 10×10 ячеек FeAs. Проанализировано влияние температуры и величины взаимодействия на дисперсионные зависимости.

В.А. КАШУРНИКОВ<sup>1</sup>, А.Н. МАКСИМОВА<sup>1</sup>, И.А. РУДНЕВ<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>International Laboratory of High Magnetic Fields and Low Temperatures, Wrocław,  
Poland

### НАМАГНИЧЕННОСТЬ СЛОИСТЫХ ВТСП С ПРОТЯЖЕННЫМИ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

В двумерную модель слоистого ВТСП введено описание взаимодействия вихря с однородно намагниченной ферромагнитной областью произвольной формы. Величина намагниченности ферромагнетика считалась фиксированной в процессе перемагничивания ВТСП. Рассмотрены случаи периодической и непериодической решетки таких протяженных ферромагнитных дефектов. Изучено влияние формы и концентрации ферромагнитных областей на намагниченность. Получены конфигурации вихрей, возникающие в процессе перемагничивания. В случае периодической конфигурации дефектов продемонстрированы пики на кривой намагниченности, возникающие в результате подстройки вихревой решетки под решетку примесей.

О.В. КАШУРНИКОВА<sup>1</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>, В.В. ПОПОВ<sup>1</sup>,  
В.Ф. ПЕТРУНИН<sup>1</sup>, А.А. ЯРОСЛАВЦЕВ<sup>1</sup>, Я.В. ЗУБАВИЧУС<sup>2</sup>,  
А.А. ВЕЛИГЖАНИН<sup>2</sup>, Р.В. ЧЕРНИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>3</sup>Deutsches Electron-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany

### МОДЕЛИ КАТИОННОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ НАНОПОРОШКОВ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MeO}_2$ ( $\text{Ln}=\text{Dy, Gd}$ ; $\text{Me}=\text{Hf, Zr}$ ) ПО ДАННЫМ СИНХРОТРОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью синхротронного излучения была исследована атомная структура нанопорошков систем  $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MeO}_2$  с размерами частиц 1-50 нм, отожженных соответственно при температуре 600-1200°C. Данные исследований методами XAFS, обычной и аномальной дифракции показали наличие сложных процессов упорядочения катионной подрешетки. Методом Байеса было проведено статистическое исследование надежности полученных результатов. Предложены несколько моделей структуры и ее изменений в процессе отжига.

С.А. КОКАРЕВ<sup>1,2</sup>, К.Н. БОЛДЫРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва

### **ШТАРКОВСКАЯ СТРУКТУРА И СПЕКТРЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ $\text{EuM}_3(\text{VO}_3)_4$ ( $M = \text{Al}, \text{Ga}, \text{Cr}$ )**

Уникальные магнито-электрические свойства кристаллов двойных ортоборатов со структурой хантита тесно связаны с расположением низколежащих уровней редкоземельных ионов в этих соединениях и их взаимодействием с фононами кристаллической решетки. В настоящей работе нами была исследована штарковская структура уровней редкоземельного иона  $\text{Eu}^{3+}$ . Были сняты спектры люминесценции, которые показали наличие только одного центра иона  $\text{Eu}^{3+}$  в кристаллической структуре. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант № 14-12-01033).

В.С. КОРОТКОВ

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

### **ИМПУЛЬСНО-НАМАГНИЧИВАЕМЫЙ ГИБРИДНЫЙ МАГНИТ НА ОСНОВЕ МАССИВНЫХ ВТСП: ПОСЛЕДНИЕ ДОСТИЖЕНИЯ**

Рассмотрены принципиальные вопросы создания работающего в жидком азоте компактного импульсно-намагничиваемого Гибридного Магнита. Магнит состоит из массивных, выращенных охлаждением из расплава YBCO-колец диаметра 52 мм и ферромагнитных полюсов диаметра 28 мм. Приведены основные характеристики — величина магнитного поля (более 2 Тл), однородность поля (не хуже 100 ppm/cm). Периодическая девиация позволяет стабилизировать магнитное поле на требуемом значении. Указаны возможные пути улучшения ключевых характеристик, а также их принципиальные ограничения. Подобные магниты найдут свое применение в миниатюрных бюджетных ЭПР спектрометрах диапазона 100-150 ГГц.

В.С. КРИВОБОК<sup>1</sup>, С.И. ЧЕНЦОВ<sup>2</sup>, М.А. ЧЕРНОПИЦКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК Zn(S)Se/GaAs**

Методами оптической спектроскопии исследован дефектный состав тонких (70-220 нм) пленок Zn(S)Se/GaAs, выращенных с помощью парофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. С помощью анализа спектров фотолюминесценции и отражения пленок при температурах 5-30К определены частоты, отвечающие различным оптическим переходам, сделаны выводы о природе электронных состояний ответственных за данные полосы и оценен дефектный состав образцов. На основе совместного анализа спектров отражения и люминесценции предложен метод контроля пластической релаксации в пленках. Показано, что парофазная эпитаксия из металлоорганических соединений позволяет получать напряженные пленки с шириной экситонных резонансов 1-2 мэВ. Данная величина достаточна для создания микрорезонаторов, в которых реализована сильная связь экситонов с фотонами. Гибридные микрорезонаторы на основе выращенных пленок Zn(S)Se находятся на стадии разработки. Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 14-22-00273).

Ю.Б. КУДАСОВ, И.В. МАКАРОВ, Д.А. МАСЛОВ, В.В. ПЛАТОНОВ,  
Е.Я. ПОПОВ<sup>1</sup>, О.М. СУРДИН, А.В. ФИЛИППОВ

<sup>1</sup>Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Нижегородская обл.  
ФГУП «РФЯЦ ВНИИ экспериментальной физики», Саров, Нижегородская обл.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ДО 50 Тл**

Создана установка для получения сильных магнитных полей до 50 Тл и измерения магнитооптических эффектов в широкой области спектра при криогенных температурах. Представлены результаты измерения циклотронного резонанса в полупроводниковых гетероструктурах HgTe/CdHgTe с квантовыми ямами на длине волны 10.6 мкм. Обсуждаются результаты измерений и возможности изучения свойств веществ в сильных и сверхсильных магнитных полях.



А.В. ЛЫМАРЬ<sup>1,2</sup>, Д.Б. ШУВАЛОВ<sup>1</sup>, В.В. СЫЧУГОВ<sup>1</sup>,  
П.Н. ДЕГТЯРЕНКО<sup>1</sup>, С.В. ШАВКИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ В ВТСП ЛЕНТАХ 2-го ПОКОЛЕНИЯ**

При эксплуатации оборудования содержащего ленты высокотемпературных сверхпроводников 2-го поколения, на них могут воздействовать наклонные магнитные поля. В связи с этим, основной целью данного исследования является разработка и создание экспериментальной методики измерения и расчета потерь как в единичных ВТСП-2 лентах, так и в токонесущих элементах на их основе, пригодной для случаев с воздействием наклонного магнитного поля. В работе рассматривается применение бесконтактного магнитного метода для измерения потерь в ВТСП-2 лентах. Получены первые результаты по измерению потерь в наклонных магнитных полях.

Д.А. МАСЛОВ, Ю.Б. КУДАСОВ

*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Нижегородская обл.  
ФГУП «РФЯЦ ВНИИ экспериментальной физики», Саров, Нижегородская обл.*

## **ЗАРЯДОВОГО УПОРЯДОЧЕНИЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{LuFe}_2\text{O}_4$**

Обсуждается зарядовое упорядочение нестехиометричного соединения  $\text{LuFe}_2\text{O}_{4+\delta}$ . Свойства треугольного бислоя исследуются в рамках теории среднего поля с кулоновским взаимодействием между узлами. Показано, что низкотемпературное состояние бислоя является поляризованным при любом значении параметра допирования. Дается оценка корреляции между узлами соседних слоёв, димерная частично-разупорядоченная антиферроэлектрическая фаза расширена на случай нестехиометричного соединения. Обсуждается конкуренция между эффектом корреляции и межбислойным взаимодействием, а также, электрическим полем. Построены фазовые диаграммы бислоя для допированных образцов. Обсуждаются особенности объёмного и поверхностного состояний.

А.В. МИРМЕЛЬШТЕЙН

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

## **СТРУКТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ СО СКАЧКОМ ОБЪЕМА В СИЛЬНО КОРРЕЛИРОВАННЫХ f-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

Переход между локализованным и коллективизированным поведением представляет собой актуальную проблему физики сильно коррелированных систем. В системе  $5f$  электронов (актиниды) такой переход, сопровождающийся структурными превращениями со скачком объема, является центральным событием. В лантанидах переход локализация/делокализация происходит в начале, в середине и в конце редкоземельного ряда. Механизмы этих переходов требуют дальнейшего изучения. В докладе обсуждаются последние достижения в области изучения изоструктурного  $\gamma \rightarrow \alpha$  перехода в Се, влияние давления на структуру Am, особенности  $\delta \rightarrow \alpha$  превращения в Pu, а также структура индуцированной давлением фазы соединения CeNi, долгое время остававшаяся неизвестной.

Б.П. МИХАЙЛОВ<sup>1</sup>, А.Б. МИХАЙЛОВА<sup>1</sup>, Н.А. МИНЕЕВ<sup>2</sup>,  
В.Ф. ШАМРАЙ<sup>1</sup>, С.Я. АЛИБЕКОВ<sup>3</sup>, Н.А. КРУТСКИХ<sup>3</sup>,  
Е.О. НАСАКИНА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДОЗИРОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ УДАРОВ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ВТСП ЛЕНТ**

В докладе представлены результаты воздействия строго дозированных механических ударных импульсов (с энергией удара от 0,5 до 3,45 Дж) на структуру и сверхпроводящие свойства различных ВТСП-лент, в том числе, произведенных фирмами EAS-E HTS (VAC) (Германия) и SUMITOMO (Япония). Изучено влияние условий нанесения ударов (количества, расстояния и массы груза, шага перемещения последующего удара по поверхности ленты) на плотность ВТСП прослойки, фазовый и химический состав и сверхпроводящие свойства лент.

Р.Н. МОЖЧИЛЬ<sup>1</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ<sup>1</sup>, А.М. ИОНОВ<sup>2</sup>, С.И. БОЖКО<sup>2</sup>,  
В.Д. РУМЯНЦЕВА<sup>3</sup>, А.Л. ТОЙГУБА<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская обл.*

<sup>3</sup>*Московский государственный университет тонких химических технологий*

<sup>4</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## ИССЛЕДОВАНИЯ РЗМ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ МЕТОДОМ XAFS

РЗМ порфирины представляют перспективный класс материалов, благодаря своим физико-оптическим свойствам. Подробное исследование локальной структуры серии РЗМ порфиринов RETPP (RE = Lu, Yb, Er) было проведено методом спектроскопии рентгеновского поглощения (XAFS) с применением СИ. Эксперименты по XAFS показали трехвалентное состояние РЗМ. Обсуждается связь между областью протяжённой тонкой структуры и особенностью строения порфиринового макроцикла с центральным редкоземельным элементом (Lu, Yb, Er).

А.Д. МОЛЧАНОВА<sup>1</sup>, К.Н. БОЛДЫРЕВ<sup>1</sup>, Р.В. ПИСАРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*

## МАГНИТНЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Ni_3V_2O_6$ и $Co_3V_2O_6$

Соединения с геометрическими магнитными фрустрациями интересны своими необычными магнитными свойствами и состояниями. К таким соединениям, в частности, относятся оксибораты-котоиты  $Me_3V_2O_6$  (Me = Co, Ni, или Mn). Все эти монокристаллы изоструктурны и являются антиферромагнетиками. В настоящей работе исследовались оксибораты  $Ni_3V_2O_6$  и  $Co_3V_2O_6$ . Обнаружены структурные изменения при температуре ниже антиферромагнитного упорядочения. Кроме того, в терагерцовой области спектра пропускания  $Ni_3V_2O_6$  при температуре ниже  $T_N=46K$  были обнаружены возбуждения, отнесённые к магнонам. Моделирование спектров отражения, зарегистрированных при комнатной температуре, позволило определить параметры ИК-активных фононных мод. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ и гранта РФФИ.

Ж.Х. МУРЛИЕВА, Д.К. ПАЛЧАЕВ, М.Х. РАБАДАНОВ,  
М.П. ФАРАДЖЕВА, Н.М-Р. АЛИХАНОВ, Р.М. ЭМИРОВ  
*Дагестанский государственный университет, Махачкала*

## **СВОЙСТВА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ФЕРРИТА ВИСМУТА**

Нанопорошок феррита висмута, полученный методом сжигания глицин-нитратных прекурсоров, представляет собой агломераты нанокристаллов  $\text{BiFeO}_3$ , преимущественно, с размером меньше 62 нм. Проведены исследования структуры, морфологии, тепловых и электрических свойств прессованного порошка: исходного и после термообработки. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры наноструктурированного порошка, в отличие от микрокристаллического, характеризуется максимумом, который с ростом частоты смещается в высокотемпературную область. Существенное различие тепловых и электрических свойств наноструктурированного и микрокристаллического образцов феррита висмута связано с тем, что в нанокристаллическом  $\text{BiFeO}_3$ , наряду с антиферромагнитной фазой, содержится ферромагнитная.

И.К. НОВИКОВ<sup>1</sup>, С.М. ШЕБАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Научный центр нелинейной волновой механики РАН, Москва*

## **ЭФФЕКТ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И БАЛЛИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

В работе представлены результаты исследований нового эффекта увеличения прочностных характеристик и улучшения баллистических свойств высокопрочных арамидных волокон. Исследования проводились на образцах промышленного изготовления. Прочностные свойства определялись на филаментах арамидного волокна Русар-НТ на различных зажимных длинах. В зависимости от времени электромагнитного воздействия получено увеличение прочностных свойств на различных зажимных длинах до 20% для предела прочности и до 12% для модуля упругости. Оптимизацией условий электромагнитной обработки удалось уменьшить поверхностную плотность мягкого тканого бронепакета 15-20%. Эффект также получен для арамидных волокон Тварон, СВМ.

Д.К. ПАЛЧАЕВ, Ж.Х. МУРЛИЕВА, С.Х. ГАДЖИМАГОМЕДОВ,  
М.Х. РАБАДАНОВ, М.П. ФАРАДЖЕВА,  
Н.С. ШАБАНОВ, Р.М. ЭМИРОВ

*Дагестанский государственный университет, Махачкала*

## **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$**

Разработаны эффективные технологии и получены наноматериалы на основе купратных ВТСП со свойствами, отличающимися от свойств материалов, получаемых по обычным технологиям. Показано, что в керамике на основе  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , полученной с добавлением нанопорошка того же состава, повышается содержание кислорода.

Установлено, что изменяя количественные соотношения долей нанопорошка и микропорошка в исходной шихте для спекания ВТСП-керамики, можно варьировать абсолютным значением и типом проводимости керамики выше температуры сверхпроводящего перехода.

А.А. ПРУЧКИНА<sup>1</sup>, С.И. ЧЕНЦОВ<sup>2</sup>, М.А. ЧЕРНОПИЦКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ТОЧЕЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ В ВЫСОКОЧИСТОМ $Cd(Zn)Te$**

Методом спектроскопии люминесценции исследован дефектный состав нелегированных монокристаллов  $Cd(Zn)Te$ . Спектры люминесценции измерялись в диапазоне температур 5-20К при стационарном возбуждении твердотельным лазером ( $\lambda=650$ нм). Анализ тонкой структуры излучения вблизи края собственного поглощения монокристаллов позволил предложить новый метод определения ширины запрещенной зоны и концентрации цинка, основанный на измерении спектрального положения линий излучения экситонов, связанных на нейтральных донорных примесях. Полученные значения ширины запрещенной зоны серии твердых растворов позволили детально исследовать природу примесно-дефектного излучения в диапазоне 1.40-1.57 эВ. Показано, что для всех образцов излучение в этой области определяется тремя типами донорных центров и восемью типами акцепторных центров, в том числе, с пониженной симметрией. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-22-00273).

Р.И. РОМАНОВ, М.В. ДЕМИН, В.Д. САВИНОВ, В.Ю. ФОМИНСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК $\text{MoSe}_x$**

Установлено, что внедрение достаточно большой концентрации наночастиц молибдена вызывает важные структурные изменения тонких пленок  $\text{MoSe}_x$ , обеспечивая формирование высокой плотности краевых состояний, образующихся при «обрыве» слоистой упаковки атомов Se-Mo-Se и обладающих повышенной каталитической активностью для инициирования электрохимической реакции выделения водорода в растворе 0,5М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Показано, что при нанесении в оптимальных режимах тонкопленочных покрытий  $\text{MoSe}_x$  на углеродный катод достигается существенное уменьшение перенапряжения водорода и увеличение катодного тока, что позволяет рассматривать наноструктурированные электроды для электрокатализа  $\text{H}_2$  на основе слоистых дихалькогенидов переходных металлов, как альтернативу дорогостоящим электродам на основе металлов платиновой группы.

И.А. РУДНЕВ, Д.А. АБИН, М.П. АЛЕКСЕЕВ<sup>1</sup>, А.П. МЕНУШЕНКОВ,  
Н.А. МИНЕЕВ, М.А. ОСИПОВ, С.В. ПОКРОВСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*  
<sup>1</sup>*ООО «Криотрейд», Москва*

### **СОВРЕМЕННЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ТОКОНЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА МАГНИЯ**

На основе анализа литературных источников рассмотрены актуальные тенденции создания сверхпроводящих токонесущих элементов (проводов) на основе  $\text{MgB}_2$ . Приведён обзор методов создания коммерчески доступных проводов на основе диборида магния. Представлены характеристики современных материалов. Показаны возможности использования проводов для магнитных применений. На основе имеющихся данных предложена концептуальная схема безжидкостной криомагнитной системы с использованием сверхпроводника  $\text{MgB}_2$ .

И.А. РУДНЕВ, А.П. МЕНУШЕНКОВ, А.В. БЛЕДНОВ<sup>1</sup>,  
С.В. САМОЙЛЕНКОВ<sup>2</sup>, В.Н. ЧЕПИКОВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>*ООО «СуперОкс-Инновации», Москва*

<sup>2</sup>*ЗАО «СуперОкс», Москва*

## **МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТОВ $Y(Ca)Ba_2Cu_3O_{7-x}$**

Представлены результаты исследования намагниченности ВТСП  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , допированных кальцием. Образцы представляли собой ВТСП пленки, нанесенные на металлическую подложку с использованием буферных слоев. Измерения проводились в интервале температур от 4 до 77 К в магнитных полях до 14 Тл. Установлен эффект изменения критической температуры и намагниченности при замещении иттрия кальцием. На основе модели критического состояния проведен анализ влияния концентрации кальция на критический ток исследованных образцов при различных температурах и магнитных полях.

А.Н. ФЕДОРОВ<sup>1</sup>, В.Б. ОШУРКО<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Московский государственный технологический университет «Станкин»*

## **ДВА ТИПА ГИСТЕРЕЗИСА ВАХ В НАНОПОРИСТЫХ ИОННО-ОБМЕННЫХ МЕМБРАНАХ**

В нанопористых мембранах в водных растворах возникает гистерезис ВАХ и участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Показано, что помимо теплового возможен и чисто электрогидродинамический механизм гистерезиса. Обнаружено существование гидродинамической и термо-диссоциационной нелинейностей. Чисто гидродинамическое решение получается без учета тепловых процессов при рассмотрении потоков жидкости, возникающих в электрическом поле. Гидродинамический механизм гистерезиса обусловлен положительной обратной связью между скоростью потока жидкости и электрическим полем. Показано, что в тепловом случае возникает гистерезис S-типа, а в случае гидродинамической нелинейности - гистерезис N-типа. Различие типов гистерезиса позволяет различить их в разных экспериментальных условиях, что дает новые возможности управления химическими реакциями с помощью нанопористых мембран.

А.Н. САМАРИН<sup>1,2</sup>, А.В. СЕМЕНО<sup>1</sup>, И.И. ЛОБАНОВА<sup>1,2</sup>,  
В.В. ГЛУШКОВ<sup>1,2</sup>, Н.А. САМАРИН<sup>1</sup>, Н.Е. СЛУЧАНКО<sup>1</sup>,  
С.В. ГРИГОРЬЕВ<sup>3</sup>, С.В. ДЕМИШЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Московская обл.*

<sup>3</sup>*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, Гатчина, Ленинградская обл.*

## **ЭЛЕКТРОННЫЙ СПИНОВЫЙ РЕЗОНАНС В $Mn_{1-x}Fe_xSi$**

В работе представлены результаты исследований высокочастотного (60 ГГц) электронного спинового резонанса в  $Mn_{1-x}Fe_xSi$  ( $x < 0.3$ ), исследованного в диапазоне температур 1.8–60 К. Применение оригинальной методики позволило определить спектроскопические параметры резонансной линии: осциллирующую намагниченность, g-фактор и ширину линии. Показано, что легирование железом приводит к нарушению корринговского механизма спиновой релаксации. В квантовых критических точках ( $x^* \sim 0.11$  и  $x_c \sim 0.24$ ) обнаружена аномальная температурная зависимость ширины линии, обусловленная нефермижидкостным режимом.

И.И. САННИКОВ, А.А. ИВАНОВ, А.В. КУЗНЕЦОВ,  
А.П. МЕНУШЕНКОВ, О.А. ЧУРКИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ВИХРЕЙ В ПЛЕНКАХ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$**

На основе прецизионных измерений релаксации магнитного момента пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  найден показатель степени  $\mu$  токовой зависимости энергии активации  $U(J)$ . Полученная температурная зависимость  $\mu$  согласуется с теорией коллективного крипа. Проведено сопоставление методов анализа релаксационных кривых представленных в литературе. Работа выполнена в рамках госзаказа № 3.1540.2014/К МОН РФ.



О.И. СВИСТУНОВА, П.В. ВОЛКОВ, О.В. МОРОЗОВ, С.В. ШАВКИН  
*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И ПОЛЕВОЙ ЗАВИСИМОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ВТСП**

Одним из серьезных недостатков ВТСП-лент (2G) является высокая анизотропия токонесущей способности в магнитном поле. Разрабатываемая методика выполнения испытаний и автоматизация стенда для исследования токонесущей способности образцов ВТСП-лент в магнитном поле до 13Т в температурном диапазоне от 4.2К до 80К (этот диапазон перекрывает все возможные режимы работы будущих сверхпроводниковых устройств) с диапазоном токов до 1000 А станет необходимым этапом контроля продукции производственных линий сверхпроводящих лент.

А.Н. ФЕДОРОВ<sup>1</sup>, С.М. ПЕРШИН<sup>1</sup>, А.Ф. БУНКИН<sup>1</sup>, В.Б. ОШУРКО<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Московский государственный технологический университет «Станкин»*

## **О МЕХАНИЗМЕ ГИСТЕРЕЗИСА В НАНОПОРИСТЫХ ИОННО-ОБМЕННЫХ МЕМБРАНАХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ РЕАКЦИЯМИ**

Новые возможности управления химическими реакциями растворов связаны с контролируемым электрическим полем пространственным разделением ионов и управлением рН среды с помощью микрочипов, интегрированных с нанопористыми мембранами. В растворе соли на отрицательной ветви ВАХ мембраны возникает гистерезис и участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, связанный с диссоциацией дипольных молекул в поле напряженностью  $\sim 10$  MV/cm. При меньшей напряженности поля сходные явления возникают и в водном мостике. Из уравнений электрогидродинамики получены решения, описывающие гистерезис ВАХ и отрицательное дифференциальное сопротивление. Показано, что основным источником эффектов является положительная обратная связь тока и концентрации ионов проводимости. Обсуждаются новые управляющие параметры ионно-обменных нанопористых мембран.

В.В. СЫЧУГОВ, Д.Б. ШУВАЛОВ, А.В. ЛЫМАРЬ, П.Н. ДЕГТЯРЕНКО  
*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## **ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ НА ТОКОНЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ВТСП-2 ЛЕНТ**

Из-за особенностей структуры высокотемпературных сверхпроводников второго поколения (ВТСП-2) наблюдается сильно выраженная анизотропия их характеристических параметров, таких как: глубина проникновения, длина когерентности, критическая плотность тока, первое и второе критические поля относительно ориентации сверхпроводящих плоскостей  $ab$ . В настоящей работе разработана методика исследования токонесущей способности ВТСП лент в магнитных полях различной ориентации и при различных температурах. Проведены измерения критического тока лент в диапазоне внешних магнитных полей от 0.1 до 1.1 Тл в продольной и поперечной ориентациях внешнего магнитного поля по отношению к  $ab$  плоскости. Измерения проводились при температурах 65 и 77К.

С.В. ЧЕКМАЗОВ, С.И. БОЖКО, А.А. СМИРНОВ, А.М. ИОНОВ  
*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская обл.*

## **СТМ/СТС ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ Sb (111)**

Сильное спин-орбитальное взаимодействие приводит к образованию поверхностных состояний на Sb (111) с линейной зависимостью  $\epsilon(k)$ . Важным фактом является то, что данные состояния защищены симметрией инверсии времени. Т.е. поверхностные состояния Sb на грани (111) такие же, как у топологических изоляторов. Известно, что в кристаллах Sb пайерлсовская неустойчивость приводит к сдвигу плоскостей (111) через одну вдоль оси третьего. Из-за этого кристаллическую структуру можно представлять в виде периодически повторяющихся атомных плоскостей (111) с чередующимися между ними короткой и длинной связями. В данной работе продемонстрирована возможность образования на сколотой поверхности сурьмы дефектов в виде ступени, высота которой равна величине одного монослоя. Возникновение данного дефекта на поверхности приводит к локальному нарушению условия пайерлсовского перехода, и, как следствие, к изменению в спектре поверхностных состояний Sb (111).

Д.Б. ШУВАЛОВ, В.В. СЫЧУГОВ, А.В. ЛЫМАРЬ,  
П.Н. ДЕГТЯРЕНКО, С.В. ШАВКИН

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

## **ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА И ПЕРЕМЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ВТСП-2**

В данной работе представлены результаты исследования влияния циклического переменного температурного воздействия (ПТВ) на параметры высокотемпературных сверхпроводников 2-го поколения (ВТСП-2), изогнутых на различные радиусы.

При проведении эксперимента использовались коммерческие ВТСП-2 ленты на подложках из сплава Hastelloy. Образцы лент изгибались при помощи специально сконструированных оправок. Получены зависимости критических параметров ВТСП-2 лент от числа циклов ПТВ для различных радиусов изгиба. Разработана автоматизированная установка для испытания ВТСП-2 лент на стойкость к ПТВ.

Полученные результаты будут использованы при создании токонесущих элементов для различных сверхпроводниковых устройств.



*Секция*

## **ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА**



Руководители – *Евстихьев Н.Н.*, заведующий кафедрой лазерной физики;

*Проценко Е.Д.*, профессор кафедры лазерной физики

Секретарь – *Губский К.Л.*, ассистент кафедры лазерной физики

Тел. (495)323-93-88

Факс (495)324-97-55

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

П. А. ЧИЖОВ, В. В. БУКИН, С. В. ГАРНОВ

*Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва*

## **ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ**

В работе представлены экспериментальные результаты исследования динамики образования и распада плазменного канала фемтосекундного филамента методом зондирующей интерферометрии. Измерения проводились в различных газах (воздух, азот, аргон) при давлении от 1 до 7 атм на временах до 1 нс после момента образования канала. На начальной стадии образования плазменного канала была зарегистрирована анизотропия показателя преломления, присутствующая в момент прохождения мощного лазерного излучения, которая связывается с оптическим эффектом Керра. Также представлены результаты измерения пространственного распределения напряженности электрического поля импульса терагерцового излучения, генерируемого при оптическом пробое двухчастотными фемтосекундными лазерными импульсами. При этом регистрировался пространственный профиль изменения фазы зондирующего излучения при прохождении через электрооптический кристалл в присутствии терагерцового импульса.

А. В. МИХАЙЛЮК, А. П. КУЗНЕЦОВ, К. Л. ГУБСКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КВАДРАТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО НЕРАВНОПЛЕЧНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА**

В работе представлен расчет оптической схемы семиканального квадратурно-дифференциального неравноплечного интерферометра типа VISAR с волоконным вводом и выводом излучения. Моделирование оптической системы и расчет параметров производился в программе ZEMAX. Приведены описание параметров и предназначения прибора. Представлена оптическая схема, функциональное назначение оптических элементов и расчет абберрационных характеристик системы. Оценивается качество изображения и его влияние на погрешность измерений интерферометра.

М.А. БУХАРИН<sup>1,2</sup>, Д.В. ХУДЯКОВ<sup>2,3</sup>, С.К. ВАРТАПЕТОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>ООО «Оптосистемы», Москва

<sup>3</sup>Центр физического приборостроения ИОФ РАН, Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, ИНДУЦИРОВАННОГО ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В ФОСФАТНОМ СТЕКЛЕ С НЕОДИМОМ, ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ СВЕТОВЕДУЩИХ СТРУКТУР**

Предложен комбинированный метод определения профиля показателя преломления, индуцированного в стекле посредством прямой фемтосекундной записи. Относительный профиль определяется на основе метода дефокусировки, а его нормировка проводится по абсолютному значению, полученному методом Z-сканирования. Метод апробирован на световедущих структурах в фосфатном стекле с неодимом. Приведены описание экспериментальной установки, формулы, лежащие в основе метода и анализ результатов. Предложен метод создания оптических световодов в объемных твердотельных элементах.

Е.А. ЦЫГАНКОВ<sup>1</sup>, С.А. ЗИБРОВ<sup>2</sup>, В.П. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>,  
В.Л. ВЕЛИЧАНСКИЙ<sup>1,2</sup>, А.Н. КОЗЛОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва, Троицк

## **УЕДИНЁННАЯ ЛИНИЯ ДВОЙНОГО РАДИООПТИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В АТОМАХ <sup>87</sup>Rb**

Теоретически и экспериментально исследована возможность получения уединённой линии второй гармоники магнитного резонанса на переходе  $F_g=1 \rightarrow F_e=1$  D<sub>1</sub>-линии <sup>87</sup>Rb при накачке линейно поляризованным излучением в M<sub>x</sub> схеме. В данных условиях линия магнитного резонанса имеет симметричную форму и не подвержена ориентационному сдвигу. Показано, что в резонансе, получаемым методом сканирования частоты радиочастотного поля вблизи зеемановского расщепления основного состояния, возникают побочные максимумы при увеличении радиочастотного и/или постоянного магнитных полей.

П.А. ДАНИЛОВ<sup>1</sup>, Д.А. ЗАЯРНЫЙ<sup>2</sup>, А.А. ИОНИН<sup>2</sup>,  
С.И. КУДРЯШОВ<sup>1,2</sup>, С.В. МАКАРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

## **ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И ФРАГМЕНТАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Фемтосекундная лазерная абляция поверхности твердых материалов в жидкости является универсальным методом получения коллоидных растворов наночастиц. Полученные таким образом частицы имеют широкий разброс по размерам. Эффективный метод их гомогенизации – вторичное многоимпульсное лазерное облучение для фрагментации раствора.

Данная работа посвящена исследованию механизмов генерации и фрагментации наночастиц различных металлов при разных длинах волн излучения. Производится сравнение распределений по размерам частиц, изучается влияние распределения по размерам на спектры поглощения раствора.

А.А. БОРОДКИН<sup>1</sup>, Д.В. ХУДЯКОВ<sup>1</sup>, А.С. ЛОБАЧ<sup>2</sup>, С.К. ВАРТАПЕТОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центр физического приборостроения ИОФ РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Московская обл.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С ОУН И ГРАФЕНОМ ДЛЯ РЕЖИМА ИМПУЛЬСНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ**

Для пленочных композитов с ОУН и графеном были определены значения средней и пиковой мощностей разрушения и интенсивности оптического насыщения образца. Был определен диапазон параметров волоконного осциллятора, при которых не будет происходить прогорание образца и будут выполнены условия для пассивной синхронизации мод лазера. Интенсивности насыщения и пороги пробоя образцов в импульсном режиме были определены с помощью методов Z- и Р-сканирования. Зондирование происходило импульсами субпикосекундной длительности на длине волны 1.06 мкм. Средняя мощность прогорания образца определялась с помощью непрерывного лазера на длине волны 1.07 мкм.



А.Э. АКМАЛОВ, О.И. ДУБКОВА, Г.Е. КОТКОВСКИЙ, А.А. ЧИСТЯКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСОРБЦИИ СЛЕДОВЫХ КОЛИЧЕСТВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

В работе исследуется возможность создания эффективного пробоотборного устройства на основе десорбции следовых количеств взрывчатых веществ. Используется импульсное излучение с  $\lambda = 1064, 532, 266$  нм нано- и пикосекундной длительности, а также непрерывное излучение 440 нм. Регистрируется качественный и количественный состав продуктов испарения и десорбции тринитротолуола, гексогена, октогена и пентаэритриттетранитрата в условиях вакуума при помощи квадрупольного масс-спектрометра и разработанного лазерно-вакуумного модуля прямого ввода пробы с различных подложек. Получены зависимости количественного выхода продуктов от плотности мощности излучения. Анализируются возможные фотопроцессы в условиях воздействия. Показана возможность десорбции  $\sim 10^{-8}$  г взрывчатого вещества за один лазерный импульс при использовании наносекундного излучения 266 нм,  $q=10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

В.А. ПИРОГ, Д.С. КОШКИН, К.Л. ГУБСКИЙ, А.П. КУЗНЕЦОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ УДАРНО-ВОЛНОВОГО НАГРУЖЕНИЯ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИЙ**

Разработанный многоканальный комплекс для измерения массовой скорости свободной поверхности вещества представляет собой неравноплечный интерферометр с электронной системой регистрации данных. Отличительными преимуществами данной разработки является измерение скорости в шести различных точках объекта исследования, использование видимого диапазона излучения ( $\lambda=532$  нм) и возможность работы с волоконными линиями транспортировки излучения. Принцип работы основан на измерении доплеровского сдвига частоты лазерного излучения, отраженного от поверхности исследуемого образца. Частотный сдвиг обеспечивает введение в одно из плеч интерферометра линии задержки, которая создает разность во времени прохождения света оптических путей.

А.О. АНДРЕЕВ, О.И. БУЖИНСКИЙ<sup>1</sup>, К.Л. ГУБСКИЙ, Т.В. КАЗИЕВА,  
А.П. КУЗНЕЦОВ, А.В. САВЧЕНКОВ, С.Н. ТУГАРИНОВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований*

## **СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ИТЭР**

Разработана и создана лазерная сканирующая система на основе импульсно-периодического иттербиевого волоконного лазера для очистки поверхности металлических зеркал от пленок сложного состава с преобладанием вольфрама и бериллия, ожидаемых на ИТЭР. Проведены эксперименты с использованием данной системы по удалению пленок с содержанием вольфрама и алюминия, как симулятора бериллия. На основе анализа механических свойств пленок, их элементного состава были подобраны оптимальные режимы очистки нескольких образцов.

Показана возможность полного удаления пленок данного состава с толщиной в диапазоне от 80 до 1000 нм с сохранением отражательных способности зеркал и отсутствием негативных изменений рельефа их поверхности.

Д.А. ЗАЯРНЫЙ<sup>2</sup>, А.А. ИОНИН<sup>2</sup>, С.И. КУДРЯШОВ<sup>1,2</sup>, С.В. МАКАРОВ<sup>2</sup>  
В.И. ЮРОВСКИХ<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

## **МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СУБ- И МИКРОМАСШТАБНЫХ ОТВЕРСТИЙ В ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОДИНОЧНЫХ НАНО- И ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

С помощью электронной и оптической микроскопии исследованы механизмы формирования суб- и микромасштабных отверстий в тонких пленках серебра и хрома различной толщины в широком ( $10\text{-}10^4$  Дж/см<sup>2</sup>) диапазоне плотности энергии под действием жесткофокусированных одиночных ИК наносекундных лазерных импульсов. Проводится сравнительный анализ с механизмами формирования суб- и микромасштабных отверстий на поверхности тех же пленок, возникающих при воздействии одиночных фемтосекундных лазерных импульсов.

О.В. БУДИЛОВА<sup>1,2</sup>, А.А. ИОНИН<sup>1</sup>, И.О. КИНЯЕВСКИЙ<sup>1</sup>,  
Ю.М. КЛИМАЧЕВ<sup>1</sup>, А.Ю. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, А.А. КОТКОВ<sup>1</sup>, Д.А. САФОНОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

## **ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ И РАЗНОСТНОЙ ЧАСТОТЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ ZnGeP<sub>2</sub> и GaSe**

Для оптической накачки кристаллов применялся импульсный электро-ионизационный СО-лазер, действующий в режиме генерации короткого (длительностью ~ 1 мкс) цуга наносекундных импульсов излучения на двух спектральных линиях (5,2 мкм и 5,8 мкм) из далеко отстоящих друг от друга колебательных полос (8→9 и 16→15). Внутренняя эффективность генерации второй гармоники короткого цуга наносекундных импульсов излучения СО-лазера в кристалле ZnGeP<sub>2</sub> составила 37%, в кристалле GaSe – 5%. Внутренняя эффективность двухкаскадного преобразования в излучение с длиной волны 4,8 мкм в ZnGeP<sub>2</sub> составила 1,4% по отношению к излучению накачки на длине волны 5,2 мкм.

О.В. БУДИЛОВА<sup>1,2</sup>, А.А. ИОНИН<sup>1</sup>, И.О. КИНЯЕВСКИЙ<sup>1</sup>,  
Ю.М. КЛИМАЧЕВ<sup>1</sup>, А.Ю. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, А.А. КОТКОВ<sup>1</sup>, Д.А. САФОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЛАЗЕРОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ В ДИАПАЗОН от ~ 3 до ~ 17 мкм**

Исследуется возможность создания лазерного источника, действующего в окнах прозрачности атмосферы с длинами волн 3-5 мкм, 8-14 мкм и 16-22 мкм, путём генерации суммарных и разностных частот (ГСЧ и ГРЧ) излучения СО- и СО<sub>2</sub>-лазеров в нелинейных кристаллах. Оба лазера действовали в режиме синхронной модуляции добротности резонатора. В полученном спектре ГСЧ излучения СО- и СО<sub>2</sub>-лазеров в кристалле GaSe наблюдалось 33 линии в интервале длин волн от 3,25 до 3,8 мкм. В спектре ГРЧ зарегистрировано 22 линии в интервале длин волн от 11,6 до 13,1 мкм. Наиболее широкий спектр ГРЧ был получен в кристалле AgGaSe<sub>2</sub>: в интервале длин волн от 12 до 16,6 мкм насчитывалось 32 линии.

Г.Е. КОТКОВСКИЙ, И.П. ОДУЛО, А.А. ЧИСТЯКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА В СОСТАВЕ ДРЕЙФ-СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Портативные газоанализаторы на основе лазерной ионизации и дрейф-спектрометрии обладают рекордным порогом обнаружения  $\sim 3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  по тринитротолуолу. В этих детекторах используется наносекундный GSGG:Cr<sup>3+</sup>:Nd<sup>3+</sup>-лазер. В настоящей работе исследовано применение портативного пикосекундного лазера с активной средой YAG:Nd<sup>3+</sup> в качестве источника ионизации. Определены зависимости ионного тока от частоты, интенсивности лазерного излучения, средней мощности, энергии в импульсе и длины ионного источника. Показано, что оптимальной частотой является 100 Гц, а интенсивность излучения должна быть равна  $2 + 3 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ . Оптимизированы режим работы лазера в составе спектрометра и длина ионного источника. Полученный порог обнаружения равен  $\sim 10^{-12} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Обсуждаются перспективы миниатюризации детектора.

А.В. РЫЖКОВА, Е.А. ПРОТАСОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **МАГНИТОРЕЗОНАНСНАЯ ПРОТОННАЯ ПУЛЬСОМЕТРИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ IN VIVO**

Разработан метод регистрации магниторезонансного протонного сигнала от пальца руки человека и исследованы сигналы, связанные непосредственно с движением крови, выбрасываемой сердцем в сосуды. Обнаружено изменение характера поведения пульса в зависимости от состояния сердечной системы человека. Предложенный в работе способ магниторезонансной регистрации пульса человека может представить самостоятельный интерес для медицинской практики, поскольку кроме параметров пульса, этот метод позволяет неинвазивным образом определять содержание в крови молекул, имеющих ядра водорода.

С.С. ЛОСЕВ<sup>1,2</sup>, Д.И. СЕВОСТЬЯНОВ<sup>1,2</sup>,  
В.В. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>, В.Л. ВЕЛИЧАНСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ЯЧЕЕК С АТОМАМИ РУБИДИЯ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ АТОМНЫХ ЧАСОВ**

Предложен и реализован метод изготовления миниатюрных (характерный размер – 5 мм) стеклянных ячеек с атомами рубидия для использования в малогабаритных атомных часах на основе эффекта когерентного пленения населенностей. Описан технологический процесс, начиная с получения металлического рубидия и наполнения им и буферными газами ячеек до их герметизации с помощью излучения CO<sub>2</sub> лазера. Представлена система контроля оптического качества ячеек. Отображены основные проблемы, возникшие при разработке данной технологии и пути их решения. Приведено сравнение оригинального метода с описанной в литературе технологией изготовления миниатюрных ячеек.

С.П. ДЕРЕВЯШКИН<sup>2</sup>, А.А. ИОНИН<sup>1</sup>, И.О. КИНЯЕВСКИЙ<sup>1</sup>,  
Ю.М. КЛИМАЧЕВ<sup>1</sup>, А.Ю. КОЗЛОВ<sup>1</sup>, А.А. КОТКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ДИНАМИКА ПОГЛОЩЕНИЯ В СОДЕРЖАЩИХ ОКСИД АЗОТА ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫМ РАЗРЯДОМ**

Исследуются процессы релаксации колебательного возбуждения в смеси NO:N<sub>2</sub>=1:20 при импульсной накачке нижних колебательных уровней электроионизационным разрядом. Для зондирования динамики колебательной населенности на большом числе более высоких уровней был использован непрерывный селективный СО-лазер. Поглощение, связанное с колебательно-колебательным обменом между молекулами NO, имело ярко выраженный максимум и наблюдалось на временах до 270 мкс. Следующее затем практически постоянное поглощение, наблюдавшееся до 2500-й мкс, вызвано межмолекулярным колебательно-колебательным обменом молекул NO с молекулами N<sub>2</sub>.

С.С. ЛОСЕВ<sup>1,2</sup>, Д.И. СЕВОСТЬЯНОВ<sup>1,2</sup>  
В.В. ВАСИЛЬЕВ<sup>2</sup>, В.Л. ВЕЛИЧАНСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

## **ДИОДНЫЙ ЛАЗЕР С ВНЕШНИМ РЕЗОНАТОРОМ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ И ЕГО СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Исследован диодный лазер с внешним резонатором, включающим интерференционный фильтр и отражатель типа «кошачий глаз». Преимущество данного резонатора перед резонатором с дифракционной решеткой заключается в меньшей чувствительности к вибрациям и разъюстировке. Использовались интерференционные фильтры с пропусканием до 80% и полной шириной на полувысоте 0.3 нм вблизи 852 нм (D<sub>2</sub> линия Cs). Исследована достижимость режима автостабилизации одномодовой генерации и возможность генерации полихроматического спектра с частотным интервалом между компонентами в гигагерцовом диапазоне. Разрабатываемый лазер может найти применение в бортовых системах.

Е.А. ПРОТАСОВ, Д.Е. ПРОТАСОВ, А.В. РЫЖКОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЛАЗЕРНЫЙ ПОЛЯРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Проведены исследования прохождения линейно-поляризованного лазерного излучения ИК-диапазона через биоткани человека (in vivo). Определена оптимальная длина волны излучения лазера. Поскольку глюкоза является оптически активным веществом, т.е. веществом, способным вращать плоскость поляризации прошедшего через нее поляризованного излучения, то проведенные измерения поворота вектора поляризации проходящего излучения через ладонь и пальцы руки человека, позволили сделать вывод о возможности неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови. Для этой цели, было создано устройство, работающее в режиме регистрации кровенаполнения сосудов (т.е. пульса человека), в котором в качестве источника излучения служил ИК-лазер с длиной волны  $\lambda=0,808$  мкм. В качестве поляризаторов использовались поляризационные призмы Глана – Тейлора.

С.В. КИРЕЕВ, С.Л. ШНЫРЁВ, С.В. СУГАНЕЕВ, А.Е. ЕФИМОВА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ОН-ЛАЙН  
СПОСОБА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗОТОПОЛОГОВ  
МОЛЕКУЛЯРНОГО ЙОДА В ГАЗАХ НА БАЗЕ ЛАЗЕРА  
НА ПАРАХ МЕДИ**

Сообщается об исследованиях флуоресценции  $^{127}\text{I}_2$ ,  $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$  и  $^{129}\text{I}_2$ , возбуждаемой излучением лазера на парах меди на длине волны 510.6 нм. Проведена идентификация линий поглощения молекул йода, резонансных длине волны излучения лазера, проведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными при возбуждении флуоресценции лазерами, излучающими на длинах волн 578.2 и 532 нм. Также сообщается о разработке способа одновременного детектирования изотопологов молекулярного йода  $^{127}\text{I}_2$ ,  $^{127}\text{I}^{129}\text{I}$  и  $^{129}\text{I}_2$  в газовых средах. Способ основан на возбуждении излучением лазера на парах меди (578.2 нм) флуоресценции данных изотопологов и регистрации интенсивностей их отдельных спектральных линий флуоресценции.

Н.Н. ЕВТИХИЕВ, Р.С. СТАРИКОВ, Д.В. ШАУЛЬСКИЙ,  
Е.Ю. ЗЛОКАЗОВ, Е.К. ПЕТРОВА, М.В. КОНСТАНТИНОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПОЗНАВАНИЯ  
РАСТРОВЫХ ФОТОГРАФИЙ С ПОМОЩЬЮ ФИЛЬТРОВ,  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНЫХ 3D МОДЕЛЕЙ  
«ОБЪЕКТОВ ИНТЕРЕСА» В ЗАДАЧЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО  
РАСПОЗНАВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВАРИАНТНЫХ  
ФИЛЬТРОВ С МИНИМУМОМ ШУМА И ЭНЕРГИИ КОРРЕЛЯЦИИ**

Основой метода корреляционного распознавания изображений является вычисление двумерной корреляционной функции входного и эталонного объектов. Для достижения инвариантности распознавания применяются инвариантные корреляционные фильтры, для синтеза которых необходимы заранее заготовленные обширные базы растровых изображений. С целью снижения затрат на подготовку к работе фильтра, а также дальнейшей ее автоматизации предложен метод формирования набора эталонных изображений на основе векторных 3D-моделей.

С.В. КИРЕЕВ, С.Л. ШНЫРЁВ, И.В. СОБОЛЕВСКИЙ,  
А.А. КОНДРАШОВ, Г.Ш. МАМЕДОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА ON-LINE МЕТОДА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗОТОПОЛОГОВ CO<sub>2</sub> В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА ВБЛИЗИ ЧАСТОТЫ 4873 см<sup>-1</sup>**

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований, целью которых является разработка оптического абсорбционного способа, предназначенного для селективного детектирования изотопологов диоксида углерода <sup>12,14</sup>CO<sub>2</sub> в газовой фазе в реальном масштабе времени, основанного на использовании частотно-перестраиваемого вблизи частоты 4873 см<sup>-1</sup> диодного лазера. Определен оптимальный, с точки зрения чувствительности и селективности детектирования изотопологов <sup>12,14</sup>CO<sub>2</sub> спектральный диапазон, исследовано поглощение возможных примесей в этом диапазоне. Разработана экспериментальная установка на базе полупроводникового диодного лазера, позволяющая проводить регистрацию и анализ спектров поглощения газовых смесей вблизи частоты 4873 см<sup>-1</sup>.

И.В. ОБРОНОВ<sup>1,2</sup>, В.Е. СЫПИН<sup>1,3</sup>, С.В. ЛАРИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО НТО «ИРЭ – Полюс», Фрязино, Московская обл.

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТУЛИЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРАХ ПРИ МОДУЛЯЦИИ УСИЛЕНИЯ**

Наша работа посвящена исследованию процесса формирования релаксационных импульсов с длиной волны 1,9 мкм в тулиевом волоконном лазере при модуляции накачки эрбиевым волоконным лазером ( $\lambda=1.55$  мкм). Нами была построена теоретическая модель и с ее помощью получены зависимости длительности и пиковой мощности импульсов от различных параметров резонатора. Определены оптимальные параметры резонатора для достижения минимальной длительности. Результаты подтверждены в ходе экспериментальной разработки лазера, генерирующего импульсы длительностью менее 10 нс, пиковой мощностью 1,8 кВт и частотой повторения 50 кГц.



М.А. МУРЗАКОВ<sup>1</sup>, В.Н. ПЕТРОВСКИЙ<sup>1</sup>, В.П. БИРЮКОВ<sup>2</sup>,  
П.С. ДЖУМАЕВ<sup>1</sup>, В.И. ПОЛЬСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ООО НТО «ИРЭ-Полус», Фрязино, Московская обл.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛАЗЕРНЫХ НАПЛАВОК ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Изготовлены и исследованы образцы наплавки на плоские поверхности образцов, полученные с использованием технологии лазерной наплавки. Для лазерной наплавки использованы порошки на никелевой основе с добавками нанопорошка карбида тантала и карбида вольфрама. Порошки были наплавлены с применением местной защиты инертным газом аргон. В процессе экспериментов были определены минимальная глубина проплавления основы, распределение микротвердости по сечению подложки и наплавленных слоев, насыщение металла наплавки компонентами основы в зависимости от плотности мощности и скорости наплавки.

Д.П. БЫКОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, В.Н. ПЕТРОВСКИЙ<sup>1</sup>, П.С. ДЖУМАЕВ<sup>1</sup>,  
В.И. ПОЛЬСКИЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ООО НТО «ИРЭ-Полус», Фрязино, Московская обл.

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ЛАЗЕРНЫХ НАПЛАВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ**

Изготовлены и исследованы образцы многослойных наплавки на плоские поверхности образцов, полученные с использованием технологии лазерной наплавки. Для лазерной наплавки использованы порошки на никелевой основе и на основе кобальта. Данные порошки были наплавлены с применением местной защиты инертным газом аргон. В процессе экспериментов были определены оптимальная стратегия направления соседних дорожек и каждого последующего слоя наплавки. Определена минимальная глубина проплавления основы, распределение микротвердости по сечению подложки и наплавленных слоев, насыщение металла наплавки компонентами основы в зависимости от плотности мощности и скорости наплавки.

О.А. БЯЛКОВСКИЙ<sup>1,2</sup>, В.А. ТЫРТЫШНЫЙ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО НТО «ИРЭ – Полус», Фрязино, Московская обл.

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

### **ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНОГО КРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ШИРОКИМ СПЕКТРОМ ПУТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ НАКАЧКИ В НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ LBO**

В работе показано, что кристалл трибората лития (LBO) имеет не критичные по углу синхронизмы первого типа, для сложенных:  $1,55 \mu + 1,06 \mu \rightarrow 0,63 \mu$  и  $1,24 \mu + 1,24 \mu \rightarrow 0,62 \mu$ . Рассмотренные синхронизмы обладают большой спектральной шириной – более 70 нм·см, что позволяет использовать накачку с широким спектром для ее эффективного преобразования в широкополосное красное излучение. Реализована схема сложения частот импульсных волоконных эрбиевого (1,55 мкм) и иттербиевого (1,064 мкм) лазеров. Получено 15 Вт средней мощности красного излучения (0,63 мкм) с шириной спектра ~ 1,1 нм. Реализована схема генерации второй гармоники от излучения рамановского лазера (1240 нм). Оценена зависимость спектральной ширины синхронизма от длины волны накачки в диапазоне 1235 – 1300 нм.

Ю.В. МАРКУШОВ<sup>1,2</sup>, Н.Н. ЕВТИХИЕВ<sup>1</sup>, Н.В. ГРЕЗЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>ООО НТО «ИРЭ-Полус», Фрязино, Московская обл.

### **МНОГОПРОХОДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА В УЗКОЩЕЛЕВУЮ РАЗДЕЛКУ БОЛЬШИХ ТОЛЩИН С ПОДАЧЕЙ ПРИСАДОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ**

Изготовлены и заварены стальные пластины толщиной 25 мм в узкощелевую разделку. Исследованы поперечные и продольные сечения металла сварного шва. Изготовлены макро- и микрошлифы сварного соединения, проведен металлографический анализ и проведены измерения микротвердости. Полученные результаты сравнивались с обычной лазерной сваркой больших толщин за один проход и с традиционными методами сварки стыков аналогичной толщины.

**Конференция**  
**«ФИЗИКА ПУЧКОВ  
И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»**

*Секция*

**ФИЗИКА ПУЧКОВ  
И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**



Руководители – *Богданович Б.Ю.*, профессор, руководитель РУЦ  
*Щедрин И.С.*, доцент, руководитель МУЛ  
Секретари – *Степанов С.С.*, начальник установки РУЦ

Тел. IP 8-495-788-56-99 доб. 94-89, 8-916-176-93-37,  
8-925-020-38-77, факс 8-499- 324-18-06  
E-mail: [ssst@bk.ru](mailto:ssst@bk.ru)

Я.В. ШАШКОВ, А.А. МИТРОФАНОВ, Н.П. СОБЕНИН,  
В.И. КАМИНСКИЙ, В.Л. ЗВЯГИНЦЕВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>TRIUMF, Canada's National Laboratory for Particle and Nuclear Physics, Vancouver*

### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ВВТ В ДЕВЯТИЯЧЕЕЧНОМ РЕЗОНАТОРЕ С ИЗМЕНЕННЫМИ ТРУБКАМИ ДРЕЙФА**

Для сверхпроводящего девятиячеечного резонатора, работающего на частоте 1300 МГц, рассчитаны электродинамические характеристики волн высших типов (ВВТ) и рабочей волны. Рассмотрены способы демпфирования ВВТ с помощью устройств вывода, а так же вывод ВВТ через рифленую и нецилиндрическую трубку дрейфа. Приведено сравнение эффективности этих способов демпфирования. Проведен расчет влияния силы Лоренца на изменение частоты структуры.

Б.Ю. БОГДАНОВИЧ, А.В. ИЛЬИНСКИЙ<sup>1</sup>, А.В. НЕСТЕРОВИЧ,  
А.Е. ШИКАНОВ, Е.А. ШИКАНОВ<sup>2</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Институт геофизических и радиационных технологий МАН ВШ, Москва  
<sup>2</sup>ЗАО «СПЕКТР – Комплексные системы контроля», Москва*

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ГЕНЕРАТОРА РЕНТГЕНОВСКИХ КВАНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

В докладе приводятся результаты разработки малогабаритного импульсного генератора рентгеновских квантов нового поколения и исследования его физических характеристик. В источнике напряжения используется трансформатор «Тесла» с разрядником-обострителем. Проведено моделирование процессов формирования и ускорения потоков электронов взрывной эмиссии с учетом перемещения плазменного облака после срабатывания разрядника- обострителя. Описаны блок-схема интерфейса и компоновка основных узлов излучателя. Измеренная доза на расстоянии 1 м превысила значение 1 мР/имп.

Е.А. САВИН, С.В. МАЦИЕВСКИЙ, А.А. ЗАВАДЦЕВ<sup>1</sup>,  
Д.А. ЗАВАДЦЕВ<sup>1</sup>, Н.П. СОБЕНИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>ООО «Нано Инвест», Москва*

## **ВАРИАНТЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНО-УСКОРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ**

Смоделирована конструкция генератора-резонатора, в которой происходит сеточная модуляция пучка на катоде, что позволяет одновременно модулировать пучок и забирать его энергию в одной ячейке. Что повышает компактность и КПД. Рассмотрены и настроены различные варианты геометрий смещённых схем многопучкового одноячеечного резонатора совместно с компактными электронными ускорителями. Приведены плюсы и минусы таких структур как резонатор с коаксиальным стержнем внутри на основной и на гибридной волне, резонатор на различных гибридных волнах. Приведены результаты совмещения модуля с ускоряющими секциями в S диапазоне на основе БУС и на основе КДВ-М.

А.А. КОЛОМИЕЦ, А.С. ПЛАСТУН, Т.Е. ТРЕТЬЯКОВА

*ГНЦ РФ «Институт теоретической и экспериментальной физики», Москва*

## **ПРОГРАММА TRANSIT ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПУЧКОВ**

Представлена многочастичная компьютерная программа TRANSIT для численного моделирования интенсивных пучков ионов в линейных ускорителях и системах транспортировки. Программа базируется на опыте разработки ускорителей ионов в Институте теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ). TRANSIT объединяет наиболее актуальные и современные методы и алгоритмы интегрирования уравнения движения с учетом сил пространственного заряда. Она используется в ИТЭФ для разработки и моделирования различных типов каналов: ускорителей с трубками дрейфа, традиционных ускорителей с ПОКФ, ускорителей с пространственно-периодической квадрупольной фокусировкой, систем транспортировки пучка, ВЧ дефлекторов и т.д.

В.В. ПЕТРЕНКО<sup>1</sup>, П.А. АЛЕКСЕЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗМОЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ НА БАЗЕ НОВОГО НОСИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ – УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ**

Предложен подход к модернизации технологии производства алюминия на основе использования принципиально нового для этой отрасли производства носителя энергии – интенсивного пучка ускоренных электронов. Рассматривается воздействие ускоренных электронов на инициирование химических реакций в жидких и твердых материалах, используемых в алюминиевой промышленности. Проведен анализ энергетического баланса для классического термического способа производства алюминия, и, на основе теоретических и экспериментальных данных, сформулирован вывод о технологической, экономической и экологической целесообразности развития подхода к модернизации технологии производства алюминия.

Я.В. ШАШКОВ, Н.П. СОБЕНИН, М.М. ЗОБОВ<sup>1</sup>

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>1</sup>Национальная лаборатория Фраскати, Рим, Италия

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ВОЛН ВЫСШИХ ТИПОВ В ОДНОЯЧЕЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРАХ И ЦЕПОЧКАХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ ПРОЕКТА ПОВЫШЕНИЯ СВЕТИМОСТИ БАК**

В рамках проекта повышения светимости Большого адронного коллайдера (БАК) рассматривается возможность применения гармонических резонаторов для изменения длины пучка. Для сверхпроводящего гармонического резонатора, работающего на частоте 800 МГц, рассчитаны электродинамические характеристики волн высших типов (ВВТ). Рассмотрены способы вывода ВВТ с помощью изменённых геометрий трубок дрейфа. Проведен анализ эффективности демпфирования ВВТ с помощью волноводных устройств вывода в цепочках резонаторов. Так же приведено сравнение эффективности этих способов демпфирования.

С.В. ПЛОТНИКОВ, В.И. ТУРЧИН

*ГНЦ РФ «Институт теоретической и экспериментальной физики», Москва*

## **ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ УСКОРЯЮЩИЕ ФОКУСИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

В настоящее время в ИТЭФ ведутся работы по исследованию процессов, происходящих при воздействии интенсивного пучка ускоренных тяжелых ионов на вещество в различных состояниях, в том числе экстремальных термодинамических. Одно из возможных направлений исследований связано с эффективным преобразованием энергии ускоренных сверхтяжелых (кластерных) ионов водорода в энергию теплового движения ядер в результате турбулентной релаксации сгустков плазмы при взаимных столкновениях ионов. Процесс эффективного ускорения кластерных ионов до высокой энергии осложнен потерей заряженных частиц в ускоряющем канале в результате их столкновений с остаточным газом, а также между собой. Рассмотрены пути создания ВЧ ускоряющих фокусирующих систем для ионов с отношением массы к заряду вплоть до  $10^6$ .

Ю.Н. БУРМИСТЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЭКСПРЕССНОГО АНАЛИЗА РУД НА ЗОЛОТО**

Начиная с 1977 года и по настоящее время на Навойском Горно-металлургическом Комбинате работает гамма-активационный комплекс экспрессного анализа руд на золото, оснащенный сильноточными линейными ускорителями электронов ЛУЭ-8. Внедрение новых технологий добычи и переработки золотосодержащих руд выдвинуло новые, более высокие требования к чувствительности и точности анализа руд на золото. На имеющемся оборудовании возможности повышения чувствительности анализа исчерпаны. Задачу удалось решить применив для регистрации наведенной активности полупроводниковые детекторы HPGe с рекордными объемами и разрешением, выпускаемыми латвийской фирмой Baltic Scientific Instruments, в сочетании с предложенной нами системой автокалибровки установки и оригинальным программным обеспечением. В настоящей работе приводится описание полученных результатов.

С.Л. АНДРИАНОВ<sup>1</sup>, А.В. ЗИЯТДИНОВА<sup>1,2</sup>, Р.П. КУЙБИДА<sup>1</sup>,  
Т.В. КУЛЕВОЙ<sup>1,2</sup>, А.Л. СИТНИКОВ<sup>1</sup>, Б.Б. ЧАЛЫХ<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>ГНЦ РФ «Институт теоретической и экспериментальной физики», Москва  
<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИОННЫХ ПУЧКОВ В ПРИБЛИЖЕНИИ «ИДЕАЛЬНЫХ» ПОЛЕЙ ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА**

В ИТЭФ ведется разработка нового стенда на базе ЭЦР источника, на котором будут проводиться облучение ионными пучками материалов и веществ в различных агрегатных состояниях для многозадачных исследований. Также, планируется, что ЭЦР источник будет использоваться в качестве инжектора для линейного ускорителя непрерывного действия. В работе описаны результаты моделирования динамики ионных пучков в приближении «идеальных» полей. Эти данные являются основой для определения геометрии и выбора основных функциональных блоков установки.

П.А. БЫСТРОВ

*Московский радиотехнический институт Российской Академии Наук*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ОБЪЕКТОВ В СТЕРИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ С МЕСТНОЙ БИОЗАЩИТОЙ**

Представлено несколько способов повышения эффективности использования пучка и улучшения однородности облучения объектов в стерилизационной установке, рассчитанных с помощью разработанной программы “BEAM SCANNING”. Подтверждена необходимость корректировки пилообразного тока отклоняющего магнита при больших углах отклонения пучка. Показана эффективность использования магнитной системы, создающей при сканировании не параллельный, а слабо сходящийся электронный поток. Продемонстрировано снижение дозы вблизи боковых граней облучаемого объекта и предложена конфигурация магнитов, увеличивающих дозу в этой области. Показана вероятная выгода от использования низкоэнергетичных электронов в спектре, выражающаяся в возможности дополнительного облучения ими боковых граней.



Н.В. ТАТАРИНОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭРОЗИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ**

Известно, что длительная эксплуатация высоковольтных электрофизических установок и приборов приводит к ухудшению характеристик вакуумной электроизоляции. Срок их службы определяется не только режимом их работы (вакуумными условиями, уровнем рабочих напряжений и т.д.), но и величиной предпробойных токов. Исследование их поверхностей после воздействия напряжения показало, что на электродах появляется напыление материала электродов, кратеры. Такая эрозия электродов наблюдается как после воздействия микропробоев вакуумного промежутка, так и при наличии предпробойных токов. Перечисленные процессы рассматриваются с точки зрения воздействия Таунсендовского разряда, который инициируется и поддерживается порозмиссией с поверхности электродов.

В.И. РАЩИКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ НЕЙТРОННОЙ ТРУБКИ**

С помощью PIC кода СУМА проводилось компьютерное моделирование динамики дейтронного пучка в ионно-оптической системе газонаполненной нейтронной трубки. Исходные данные для моделирования были получены экспериментально. Для уточнения параметров пучка на выходе источника ионов, решена обратная задача. В модели учитывалось влияние ионно-пучковой плазмы, образующейся при прохождении ускоренного дейтронного пучка через газ. Показано, что частичная нейтрализация сил пространственного заряда дейтронов ионизационными электронами может значительно увеличить ток на мишени, и, как следствие, нейтронный поток трубки. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

А.Б. БУЛЕЙКО, М.В. ЛАЛАЯН, А.Н. СТОЛБИКОВА, С.Е. ТОПОРКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА ВЧ-РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПУЧКОВ ПРОТОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 2,3 МэВ ДО 5,0 МэВ**

В современных протонных линейных ускорителях в малом и среднем энергетическом диапазоне зачастую используются ВЧ-резонаторы, работающие на Н-волне. Одним из представителей этого класса устройств являются многоззорные СН (Cross-bar H-mode) резонаторы, обладающие высокими значениями основных электродинамических характеристик (ЭДХ). Для обеспечения эффективного ускорения с малыми потерями пучка необходимо осуществить равномерное распределение ускоряющего поля на оси резонатора. Для этого конструкция СН-резонаторов содержит пилоны с торцевыми вырезами необходимой формы. В рамках проводимого исследования рассмотрена возможность оптимизации распределения ускоряющего поля в случае соединения пилон с торцевой стенкой резонатора. В работе представлены результаты моделирования основных ЭДХ резонаторов и динамики пучка в ускоряющей секции.

В.М. БЕЛУГИН, А.Е. ВАСИЛЬЕВ, Н.Е. РОЗАНОВ  
*Московский радиотехнический институт Российской академии наук*

## **ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МОЩНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЛАМП БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ В РОССИИ**

Дана классификация типов разрабатываемых в России мощных широкополосных ЛБВ, основанная на доле используемой части полосы пропускания замедляющих структур (типа ЦСР, Н-резонатора и т.п.). Первый тип, разрабатываемый в МРТИ, использует пологую часть дисперсионной характеристики и является самым широкополосным, но имеет меньшее значение усиления вследствие малых значений сопротивления связи. Второй тип, разрабатываемый в "ИСТОКе" (г. Фрязино), имеет большее усиление, но меньшую ширину рабочей полосы, т.к. использует "крутую" часть характеристики, что ведет еще и к большей неоднородности АЧХ. Третий тип, разрабатываемый в НПП "ТОРИЙ", работает на "π-виде" колебаний, имеет максимальное усиление, но является самым узкополосным из этих типов ЛБВ. Однако, созданная теория влияния сильноточных пучков на ширину полосы (Комаров Д.А.) позволяет ее расширить.

Н.Е. РОЗАНОВ

*Московский радиотехнический институт Российской академии наук*

## **РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ НАГРУЗКИ ТОКОМ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ НА СТОЯЧЕЙ ВОЛНЕ**

Общая методика описания эффекта «нагрузки током», т.е. возбуждения волн ускоряемыми сгустками в замедляющей структуре ускорителей с интенсивными электронными пучками, в условиях отдельного (изолированного) ускоряющего резонатора разработана Э.С. Масуновым и была реализована на основе программы DINA\_RoZ. В представленной работе данная теория обобщена на случай возбуждения структуры от внешнего СВЧ генератора и учета потерь СВЧ мощности либо за счет ее ухода во внешний тракт, либо за счет омических потерь в стенках или нагрузке. Теория реализована также на основе программы DINA\_RoZ. Теперь совместно с уравнениями, описывающими динамику пучка в ускорителе, решаются нестационарные уравнения для полей излучения. В результате находятя либо стационарные решения в случае длинных импульсов тока пучка, либо значения в конце коротких импульсов тока.

П.А. БЫСТРОВ

*Московский радиотехнический институт Российской академии наук*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ**

Моделировался процесс облучения объектов в стерилизационной установке различными пучками. Изучен механизм возникновения локального повышения (пика) дозы в веществе в направлении распространения пучка. Он состоит в том, что при падении на поверхность пучка конечного диаметра, в результате суперпозиции рассеивающихся частей фронта пучка, создающих грушеобразные формы изодоз, по мере прохождения в глубь объекта в формировании дозы вдоль центральной оси пучка участвует всё большая часть цилиндрических слоев пучка. Доза растет с погружением благодаря вкладу этих слоев, пока возможности этого вклада не будут ограничены диаметром самого пучка, размером объекта или глубиной проникновения пучка в вещество, определяемой энергией электронов пучка.

В.С. ДЮБКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ ВЧ ФОКУСИРОВКИ  
В ЛИНЕЙНЫХ ПРОТОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ  
НА ЭНЕРГИЮ ДО 20 МэВ**

На протяжении нескольких десятков лет аксиально-симметричные каналы с высокочастотной фокусировкой несинхронными гармониками поля предлагаются в качестве альтернативы зарекомендовавшим себя и надёжным системам с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой. В ряде работ эффективность каналов с аксиально-симметричной ВЧ-фокусировкой несинхронными гармониками поля продемонстрирована в диапазоне энергий протонов до 2 МэВ. В настоящей работе рассматривается эффективность таких каналов на энергию до 20 МэВ. Приводятся и обсуждаются результаты численного моделирования самосогласованной динамики протонов в канале с аксиально-симметричной ВЧ фокусировкой.

В.С. ДЮБКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ ПРОТОННОГО СГУСТКА  
В ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ С ВЧ-ФОКУСИРОВКОЙ  
НА ЭНЕРГИЮ 2 МэВ**

Разработка и создание начальной части линейного ускорителя, которая бы обеспечивала требуемое качество пучка, является актуальной проблемой. Линейные ускорители с ВЧ-фокусировкой несинхронными гармониками поля предлагаются в качестве альтернативы системам с ПОКФ. Результаты моделирования динамики низкоэнергетического протонного пучка в линейном ускорителе с ВЧ-фокусировкой, которое выполнено при оптимизированных основных параметрах канала, представляются и обсуждаются.

А.П. КЛАЧКОВ, А.Г. ПОНОМАРЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ-ФОТОИНЖЕКТОРА ЭЛЕКТРОНОВ С ПИТАНИЕМ СВЕРХКОРОТКИМИ ИМПУЛЬСАМИ**

Исследуются возможности использования СВЧ-компрессора на принципах двойной формирующей линии (или иного источника коротких импульсов СВЧ большой мощности) для создания интенсивных полей в резонаторе СВЧ-фотоинжектора электронов.

Представлена возможная конструкция резонатора и системы ввода мощности, позволяющая реализовать питание короткими (10–20 нс) импульсами.

Проведено численное моделирование переходного процесса заполнения резонатора СВЧ-энергией во времени, выполнена оценка КПД подобной системы.

В.К. БАЕВ, Б.Ю. БОГДАНОВИЧ, А.В. НЕСТЕРОВИЧ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПУЧКОВОГО ЗОНДА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

Анализ динамики пучков заряженных частиц в магнитосфере Земли обнаружил большие возможности пучковых зондов (ПЗ) в научных исследованиях околоземного космического пространства, которые обусловлены тем, что магнитное поле Земли (МПЗ) способно транспортировать пучки заряженных частиц практически на любые расстояния от полюса до полюса, сохраняя при этом их небольшие поперечные размеры. В частности, ПЗ можно использовать для контроля состояния МПЗ, которое связано с природными явлениями на Земле и поэтому может служить их индикатором. ПЗ позволяет не только обнаружить аномалию МПЗ, но и определить ее координаты, размеры и проследить за динамикой ее эволюции на любых расстояниях, не требуя больших мощностей питания (в пределах милливатт).

В.В. КУДИНОВ, В.В. СМИРНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВАНИИ ОБРАБОТКИ КРИВЫХ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В АЛЮМИНИЕВОМ ПОГЛОТИТЕЛЕ**

Информация о спектрах пучков электронных ускорителей существенна в задачах, связанных с наладкой ускорителей и планированием на них облучений. Одним из методов восстановления спектров являются метод реконструкции спектра на основании интегральных характеристик поля электронов, в частности, с помощью кривых прохождения электронов в поглотителе на центральной оси пучка. Основой итерационного процесса является ряд процедур алгоритма решения уравнения Фредгольма методом направленного расхождения. В качестве ядра интегрального уравнения использовались рассчитанные кривые прохождения электронов с энергией  $2 \div 50$  МэВ в алюминиевом поглотителе. Представлены спектры электронов, полученные обработкой кривых прохождения электронов в алюминиевом поглотителе.

Б.Ю. БОГДАНОВИЧ, В.И. КАМИНСКИЙ, В.А. СЕНЮКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СИСТЕМА СВЧ-ПИТАНИЯ ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ СО СТОЯЧЕЙ ВОЛНОЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ГЛУБОКУЮ ПЕРЕСТРОЙКУ ЭНЕРГИИ ПУЧКА**

Радиационные установки для контроля изделий со сложной структурой в большинстве случаев создаются на базе линейных ускорителей электронов со стоячей волной. Наиболее эффективной развязкой генератора и высокочастотной ускоряющей секции является ферритовый циркулятор. В рассматриваемой системе питания необходимая глубокая перестройка энергии пучка и одновременное обеспечение его высокого качества достигаются применением двух ускоряющих секций различной длины, попеременно питаемых от генератора. Переключение мощности между секциями осуществляется с помощью изменения полярности электромагнита в циркуляторе. В настоящей работе рассмотрены требования, предъявляемые к узлам системы, и обсуждены пути реализации этих требований.

С.С. ПРОСКИН, И.С. ЩЕДРИН, И.А. КУЗЬМИН, В.А. ДВОРНИКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЕ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ НА ПРИМЕРЕ КРУГЛОГО ДИАФРАГМИРОВАННОГО ВОЛНОВОДА**

Предложен расчет доли энергии, получаемой электронным пучком при ускорении в круглом диафрагмированном волноводе. В расчете рассматривается фундаментальное соотношение о потери энергии зарядом, движущимся в электрическом поле. Также определяется поле пучка электронов при движении в ускоряющей структуре. Наконец, определяется зависимость энергии, получаемой электронным пучком при движении в ускоряющей структуре с бегущей волной, от геометрических параметров структуры. Приводится сравнение с полученной зависимостью для ускорителя со стоячей волной на примере бипериодической ускоряющей структуры.

Ю.С. ПАВЛОВ, В.В. ДОБРОХОТОВ, В.А. ПАВЛОВ,  
О.Н. НЕПОМНЯЩИЙ, В.П. КЛИМАШИН, В.А. ДАНИЛИЧЕВ  
*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва*

## **УСКОРИТЕЛЬ УЭЛВ-10-10-Т-1 ДЛЯ РАДИАЦИОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ускоритель УЭЛВ-10-10-Т-1 для радиационно-физических исследований оснащен наносекундным инжектором и магнитным группирователем с целью генерации пучка длительностью 30 пс с током 300А и энергией 10 МэВ. При токе инжекции 30 А в импульсе длительностью 2,5 нс различие по энергиям между соседними сгустками составляет 300 кэВ. В магнитном группирователе пучок разворачивается в виде "веера", коллиматором вырезается одиночный сгусток, обеспечивается "компрессия" сгустка по времени и соответственно увеличивается заряд сгустка. На спектрофотометрической установке со спектральным разрешением 5 нм в диапазоне 300÷1200 нм и временным разрешением 6,5 пс исследуются характеристики облученных сцинтилляторов, кристаллов, детекторов и флуоресцирующих объектов.

Е.Е. БАРМИНОВА, М.С. САРАТОВСКИХ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИНТЕНСИВНЫХ СГУСТКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ**

Разработан программный модуль для расчета динамики интенсивных сгустков заряженных частиц во внешних магнитных полях. Программа базируется на точном решении уравнений движения для каждой частицы сгустка, что позволяет избежать проблем, типичных для метода крупных частиц и метода трубок тока. Программа написана на языке C++ и использует стандарт OpenMP, что дает преимущество в организации большого числа параллельных циклов для сгустка, содержащего  $10^9$  -  $10^{11}$  частиц. Для визуализации результатов вычислений используются средства Visual C++ и библиотеки Qt 4.8.3 среды qtcreator. Программа позволяет задавать произвольные фазовые распределения сгустков и геометрию магнитов. Действующий вариант программы апробирован на задачах расчета масс-анализатора Универсального испытательного стенда ИТЭФ и структуры с геометрией типа «рейстрек».

А.С. ЧИХАЧЕВ

*Всероссийский электротехнический институт, Москва*

## **ДЕКОМПЕНСИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ПОТОК С ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ В УСКОРЯЮЩЕМ ПРОМЕЖУТКЕ**

При изучении поведения электронной компоненты плазмы обычно используется уравнение, в котором скорость потока электронов равна нулю. В реальных условиях, однако, возможна ситуация, когда электроны попадают в ускоряющий промежуток со скоростью, превышающей тепловую скорость. В этом случае уравнение движения оказывается более сложным. В настоящей работе система гидродинамических уравнений для потока – уравнение движения, уравнение непрерывности и уравнение Пуассона сведена к одному уравнению первого порядка. Получены частные решения этого уравнения.



И.В. РЫБАКОВ, М.А. ГУСАРОВА, В.Л. ЗВЯГИНЦЕВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>TRIUMF, Canada's National Laboratory for Particle and Nuclear Physics, Vancouver*

## **ВЛИЯНИЕ МАССЫ ДЕМПФЕРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОМ СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ РЕЗОНАТОРЕ**

Одной из особенностей сверхпроводящих структур является большое значение нагруженной добротности, которое составляет около  $10^6$ . Получаемая узкая частотная полоса делает сверхпроводящие резонаторы более чувствительными к механическим вибрациям. Этот эффект усугубляется тем, что сверхпроводящие резонаторы делают из ячеек с тонкими стенками. Были проведены аналитический расчет и численное моделирование механических колебаний в четвертьволновых сверхпроводящих резонаторах ускорителя TRIUMF на 80 и 106 МГц. Была изучена возможность смещения частоты низших механических колебаний с помощью демпфера и проведено исследование влияния массы демпфера на смещение частоты.



*Секция*

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



Руководитель – *Диденко А.Н.*, заведующий кафедрой № 14,  
профессор чл.корр. РАН  
Секретарь – *Прокопенко А.В.*, доцент кафедры № 14

Тел. (499)324-29-95  
Факс (499)324-29-95  
E-mail: AVProkopenko@mephi.ru

К.Т.Ч. ВУ, Р.В. ЕГОРОВ, Д.А. МИХЕЕВ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
кафедра фотоники и физики микроволн*

## **МОДЕЛЬ РЕШЁТКИ СПИРАЛЕОБРАЗНЫХ РЕКТЕНН**

Рассмотрены различные модели спиралеобразных ректенн (резонансных устройств для приёма и преобразования электромагнитного излучения), настроенных на частоту, находящуюся в диапазоне от 2,5 до 3 ГГц. Проведена оптимизация параметров для получения наилучших характеристик приёма излучений. Модельными методами исследуются возможности применения такого рода устройств в составе решётки. Производится оптимизация взаимного расположения ректенн с целью получения круговой диаграммы направленности и приемлемого коэффициента передачи. Обсуждаются особенности и возможные области использования решёток спиралеобразных ректенн, обладающий круговой диаграммой направленности.

Д.А. МИХЕЕВ, В.Л. САВВИН, Ю.А. ПИРОГОВ, А.В. КОННОВ<sup>1</sup>

*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,  
кафедра фотоники и физики микроволн*

<sup>1</sup>*ФГУП «НПП «ТОРИЙ», Москва*

## **ДИНАМИКА ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В РЕВЕРСИВНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Проведено 3D-моделирование динамики ленточного электронного потока в реверсивных магнитных полях. Показано, что в сравнении с электронными пучками круглого сечения, использование ленточных пучков позволяет существенно увеличить входную мощность микроволнового излучения в электровакуумных устройствах, в частности, в циклотронных преобразователях энергии. Предварительные расчеты динамики ленточного электронного пучка в циклотронном преобразователе продемонстрировали возможность эффективного преобразования энергии микроволн в постоянный ток.

В.А. ИВАНОВ, Д.С. СИДОРЕНКО<sup>1</sup>, К.В. РОГОЖИН  
*Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ»  
ООО «Синергис», Санкт-Петербург*

## **ОПЫТ РАЗРАБОТКИ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТАНОВОК И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И МАТЕРИАЛОВ**

В докладе рассматриваются вопросы проектирования, изготовления, настройки автоматизированных установок для обработки продуктов и материалов. Используется суммирование мощности магнетронов (от 8-16 шт) с рабочей частоте 2450 МГц в многомодовых реакторах. Управление работой магнетронов и установки в целом осуществляется с помощью ПЛК и сенсорной панели. Представлена информация на примере установок «Родник» и «МаБаТерм» для пастеризации специй и лекарственных трав, а также установка «Вермик-16» для вспучивания вермикулита. При отладке технологии обработки установлена существенная селективность воздействия на отдельные виды бактерий. Показано, что грибы и плесени в лекарственном сырье наиболее чувствительны к воздействию микроволнового излучения. Разработанная технология обеззараживания лекарственных трав. Анализируется опыт создания и эксплуатации установки «Вермик-16» для вспучивания вермикулита. Представлена новая технология получения сорбента на основе вермикулита. Производительность установки 800 л в час вспученного материала при мощности 20 кВт.

Г.Н. ЩЕРБАКОВ, А.В. РЫЧКОВ  
*Военный учебно-научный центр Сухопутных войск  
«Общевойсковая академия ВС РФ», Москва*

## **ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОРУЖИЯ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Рассмотрены вопросы применения оружия нелетального действия в свете международного права и законодательства РФ. Приведены примеры ситуаций, когда возникает необходимость в альтернативных нелетальных средствах поражения при проведении антитеррористических и миротворческих операций вооруженными силами, при условии, что применение обычного вооружения ограничено или неприемлемо по политическим, этическим и другим причинам.

А.А. МИТРСОВ, Г.Н. ЩЕРБАКОВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Военный учебно-научный центр Сухопутных войск*

*«Общевойсковая академия ВС РФ», Москва*

## **ОЧИСТКА ПРИБРЕЖНЫХ ШЕЛЬФОВ ОТ РОБОТОВ-РАЗВЕДЧИКОВ И НЕКОНТАКТНЫХ МИН**

Рассмотрены перспективы развития противодесантных мин (ПДМ) и подводных роботов-разведчиков вероятного противника. Оцениваются существующие способы их нейтрализации. Приведен вариант возможной компоновки нового средства очистки прибрежных шельфов от ПДМ и подводных роботов-разведчиков, основанное на применении комплексно-го электромагнитного ударного воздействия.

А.О. МОРОЗОВ, О.А. МОРОЗОВ, А.В. ПРОКОПЕНКО<sup>1</sup>, В.П. ТРЕБУХ

*ЗАО «НПП «Магратеп», Фрязино, Московская обл.*

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ СВЧ-УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Разработана универсальная промышленная установка для высокоинтенсивной обработки зерновых культур с использованием СВЧ-энергии. Установка волноводного типа работает на частоте 915 МГц и мощности 25 кВт. Уточнены аналитические и численные расчеты теплового режима установки, производительности по различным зерновым продуктам и электродинамических характеристик рабочей камеры. Проведены запуск и испытания работы установки в условиях сельскохозяйственного производства. Результаты испытаний совпадают с приведенными расчетами. Время наработки на установке составляет более 200 часов. Определены направления модернизации установки с целью повышения её производительности. Выполнена работа по получению сертификационных документов. Установка приняла участие во всероссийской агропромышленной выставке.

О.А. МОРОЗОВ, А.В. ПРОКОПЕНКО<sup>1</sup>, А.Н. СИМОНЕНКО,  
В.П. ТРЕБУХ, А.С. БРИЕНКОВ<sup>2</sup>

*ЗАО «НПП «Магрател», Фрязино, Московская обл.*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*АО "НПП "Исток" им. Шокина" Фрязино, Московская обл.*

## **РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ СВЧ-УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЁ**

Представлен обзор работ, показывающий возможности эффективного использования СВЧ-энергии в процессах вскрытия и обогащения минерального сырья. Рассмотрены вопросы создания СВЧ-установок большой мощности для высокоэнергетического воздействия на минеральное сырьё. Проведена оценка производительности установки по СВЧ-обработке для различных технологических процессов. Разработана рабочая камера волноводного типа для обработки минерального сырья. Создан проект промышленной установки для СВЧ-обработки минерального сырья.

Д.З. КАЛИМУЛЛИН<sup>1</sup>, А.О. МОРОЗОВ,  
А.В. ПРОКОПЕНКО<sup>2</sup>, В.П. ТРЕБУХ

*ЗАО «НПП «Магрател», Фрязино, Московская обл.*

<sup>1</sup>*ООО «Балластные трубопроводы «СВАП», Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СВЧ-УСТАНОВКИ ПО НАГРЕВУ ТЯЖЁЛЫХ БЕТОНОВ**

Выполнен обзор существующих методов нагрева бетонных смесей и показано преимущество использования СВЧ-энергии для нагрева тяжелых бетонов. Выполнены тепловые оценки производительности установки по нагреву бетонов СВЧ-мощностью 50 кВт на частоте 915 МГц. Выполнен нагрев тяжелого бетона до температур 30-60 °С с использованием промышленной микроволновой печи мощностью 1,8 кВт на частоте 2450 МГц и заливка его в опалубку. По стандартной методике проведены исследования текучести нагретого бетона и прочности полученных образцов. Разработан эскизный проект промышленной установки по нагреву бетонов с производительностью до 3-х тонн в час.

М.А. ЗАВЬЯЛОВ, В.А. КУХТО, А.О. МОРОЗОВ<sup>1</sup>,  
А.В. ПРОКОПЕНКО<sup>2</sup>, В.П. ФИЛИППОВИЧ  
*ФГБНУ ВНИИ технологии консервирования, Видное, Московская обл.*  
<sup>1</sup>*ЗАО «НПП «Магрател», Фрязино, Московская обл.*  
<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ НА МИКРОВОЛНОВЫХ УСТАНОВКАХ**

Рассмотрены способы тепловой обработки зерна и зернопродуктов с использованием микроволнового нагрева, при котором наблюдается изменение технологических и потребительских свойств. Показана перспективность использования этого метода для крупяной, пищекопцентратной, комбикормовой промышленности. Выполнены экспериментальные исследования по микронизации зерна пшеницы в установках мощностью 0,9, 1,8, 16,5 кВт на частоте 2450 МГц и на промышленной установке «Декстрин» мощностью 25 кВт на частоте 915 МГц. Получены эффекты уменьшения насыпного веса обработанного зерна и уменьшение энергозатрат на его помол.

А.Н. ДИДЕНКО, А.В. ПРОКОПЕНКО, К.Д. СМИРНОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РАЗРАБОТКА МОЩНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА ПРОЖЕКТОРНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ СВЧ-РАЗРЯДА**

В работе рассмотрено создание эффективных источников света со световым потоком более 150000 Лм на основе объемных резонаторов имеющих форму параболоидов вращения. Выполнено сравнение видов колебаний в объемных цилиндрических резонаторах с объемными резонаторами в виде параболоидов вращения. Показана возможность аналогичной классификации параболических резонаторов на низших видах колебаний. Определены подходы к проведению численных расчетов таких резонаторов. Выполнен тепловой расчет кварцевой оболочки колбы при мощности СВЧ-питания 3 кВт на частоте 915 МГц и 5 кВт на частоте 2450 МГц. Разработан эскизный проект мощного источника света прожекторного типа на основе СВЧ-разряда. Показана перспективность применения таких источников света.



А.Н. ДИДЕНКО, А.В. ПРОКОПЕНКО, К.Д. СМИРНОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ-ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗРУШЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ**

Рассмотрены электрофизические методы разрушения кимберлитов с целью сохранного извлечения алмазов при разрушении породы. Работа посвящена исследованию процессов разрушения кимберлитов путем их сверхбыстрого нагрева СВЧ полем. Изучаются процессы, приводящие к разрушению кимберлитов, и определяются механизмы его разрушения. Показаны предпосылки к безопасному извлечению алмазов при таком методе разрушения. Приводятся результаты исследования диэлектрических характеристик кимберлитов. Представляются ранее полученные результаты исследований процессов разрушения, выполненные на установках резонаторного типа с мощностью СВЧ-питания 600 Вт и 5 кВт. Выполнены энергетические оценки процессов измельчения кимберлита СВЧ-энергией, указывающие на перспективность нового метода.

А.Н. ДИДЕНКО, М.С. ДМИТРИЕВ, М.В. ДЬЯКОНОВ,  
А.Д. КОЛЯСКИН, Р.А. КРАСНОКУТСКИЙ  
*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ*

## **СВЧ-УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время накоплено значительное количество РАО различного состава, которые необходимо кондиционировать, и, впоследствии, захоронить. Одним из методов переработки РАО является цементование, однако, смешивание цемента с РАО снижает его прочность. Было обнаружено, что СВЧ-нагрев водоцементной смеси повышает прочностные свойства и скорость затвердевания цементного камня. Настоящая работа направлена на разработку и испытание СВЧ-установки для обработки водоцементных смесей, а также созданию технических решений, которые могут использоваться при создании конструкционных строительных технологий.

А.Н. ДИДЕНКО

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ*

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД РАЗРУШЕНИЯ КИМБЕРЛИТА**

Кимберлит – горная порода, известная тем, что содержит алмазы. Существуют большое количество методов разрушения кимберлитовой породы: механические, электроимпульсные, методы сверхбыстрого СВЧ нагрева. В настоящее время алмазы добывают с помощью механического дробления кимберлита, недостатком которого является низкая скорость обработки, и большое количество поврежденных алмазов, а также необходимость нескольких стадий измельчения. Одним из перспективных методов дробления кимберлита является обработка ультразвуком большой мощности, используемая в промышленности для точной резки бетона и других хрупких материалов. В ряде случаев этот метод позволяет добывать хорошего направленного измельчения породы при сравнительно небольших затратах мощности.

# Конференция

## «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

*Секция*

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ



Руководитель – *Нарожный Н.Б.*, заведующий кафедрой № 32  
Секретарь – *Городничев Е.Е.*, профессор кафедры № 32

Тел. (499)323-93-77  
Факс (499)324-31-84  
E-mail: [gorodn@theor.mephi.ru](mailto:gorodn@theor.mephi.ru)

Н.Н. АРСЕНЬЕВ, А.П. СЕВЕРЮХИН

*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ, Дубна,  
Московская обл.*

## **ВЛИЯНИЕ СЛОЖНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ НА СВОЙСТВА ГИГАНТСКОГО МОНОПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСА**

Проявившийся в последние годы интерес к экспериментальному и теоретическому исследованию свойств изоскалярного гигантского монопольного резонанса связан со специфическими особенностями этой «дыхательной» моды колебаний атомного ядра. В частности, систематика энергии этого резонанса в большом диапазоне ядер позволит извлечь константу сжимаемости ядерной материи с хорошей точностью. Это стимулирует развитие новых теоретических исследований. На базе эффективных сил Скирма проанализированы интегральные характеристики этой коллективной моды возбуждений в  $^{132}\text{Sn}$ . Расчеты выполнены с учетом связи между однофононными и двухфононными конфигурациями. Представлено предсказание свойств нижайших монопольных состояний в  $^{132}\text{Sn}$ .

А.Л. ФАЛЬКОВ<sup>1,2</sup>, А.А. ОВЕЧКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Челябинская обл.*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ТЁПЛЫМ ПЛОТНЫМ ВЕЩЕСТВОМ**

Предлагается способ расчёта статического структурного фактора  $S_H(k)$ , фотонного формфактора псевдоатома  $F_I(k)$  и структурного фактора упругого рассеяния фотонов  $S_{el}(k)=|F_I(k)| S_H(k)$  на тёплом плотном веществе на основании самосогласованной модели Старретта и Саумона для двухкомпонентной плазмы с учётом пространственных ион-ионных корреляций. Модель использована для интерпретации результатов эксперимента по томсоновскому рассеянию рентгеновского излучения на плазме трёхкратно сжатого алюминия при температуре 0,1 млн К. Расчётная зависимость согласуется с данными опыта в случае больших волновых чисел. Воспроизводится положение максимума фактора упругого рассеяния  $S_{el}(k)$ , но значение в максимуме на 40-45% ниже, чем наблюдавшееся на опыте. Сделан вывод о необходимости учёта обменного отталкивания между заполненными электронными оболочками ионов.

А.Л. ФАЛЬКОВ<sup>1,2</sup>, А.А. ОВЕЧКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>ФГУП РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Челябинская обл.

## **ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ИОННОЙ ПОДСИСТЕМЕ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЫ НА ВЕЛИЧИНУ СРЕДНЕГО ЗАРЯДА ИОНА**

С целью поиска среднего заряда иона применена модель бинарной плазмы Старретта и Саумона, в которой электронная компонента описывается квазиклассически (по Томасу-Ферми-Дираку), а ионы подчиняются уравнениям Орнштейна-Цернике для классической простой жидкости. Пространственные корреляции между ионами учтены самосогласованным образом.

В широком диапазоне температуры и плотности показано уменьшение среднего заряда иона на 2-5% по сравнению с результатами расчёта по электронной модели, в которой ионные корреляции не принимаются во внимание. В плазме вольфрама выявлен рост среднего заряда иона на 0,5% в области умеренной кулоновской неидеальности при температуре от 150 эВ до 700 эВ и при плотности меньшей или порядка нормальной.

Е.Г. ГЕЛЬФЕР, А.А. МИРОНОВ, В.Ф. БАШМАКОВ<sup>1</sup>,  
А.М. ФЕДОТОВ, И.Ю. КОСТЮКОВ<sup>1</sup>, Н.Б. НАРОЖНЫЙ  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

## **МНОГОПУЧКОВАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ КВАНОВОЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ КАСКАДОВ**

Электрон в лазерном поле инициирует квантово-электродинамический каскад, когда его собственное ускорение  $\chi$ , выраженное в комптоновских единицах, становится порядка единицы. Получено общее выражение, описывающее рост параметра  $\chi$  электрона на малых временах в произвольном электромагнитном поле в предположении, что он первоначально покоился. С помощью этого выражения, определена оптимальная поляризация лазерных пучков, обеспечивающая зарождение каскадов в многопучковой схеме уже при интенсивностях порядка  $10^{23}$  Вт/см<sup>2</sup>. Полученная интенсивность на порядок меньше предсказанных ранее пороговых значений и, как ожидается, будет реализована на строящихся в настоящее время мультитераваттных лазерных установках.

М.Л. ГОРЕЛИК<sup>1</sup>, Ш. ШЛОМО<sup>2</sup>, Б.А. ТУЛУПОВ<sup>1,3</sup>, М.Г. УРИН<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Техасский A&M Университет, Техас, США

<sup>3</sup>Институт ядерных исследований РАН, Москва

## **О СВОЙСТВАХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИЗОСКАЛЯРНЫХ МОНОПОЛЬНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ**

В настоящей работе на примере ядра <sup>208</sup>Pb впервые представлено приложение сформулированной недавно частично-дырочной дисперсионной оптической модели к расчету усредненной по энергии изоскалярной монополюльной двойной переходной плотности. Эта величина, определяющая соответствующие сечения неупругого адрон-ядерного рассеяния, вычислена в широком энергетическом интервале, включающем изоскалярный гигантский монополюльный резонанс и обертоны этого резонанса. Проанализированы также усредненные по энергии силовые функции указанных резонансов.

С.А. КЕЛЬВИЧ, С.П. ГОРЕСЛАВСКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СТРУКТУРЫ В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРОВ НАДПороГОВОЙ ИОНИЗАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Понимание динамики электронов формирующих низкоэнергетическую часть спектров фотоионизации представляет интерес как для создания полной физической картины экспериментально наблюдаемых особенностей, так и для развития идеи фотоэлектронной голографии. Используя стандартную полуклассическую модель (туннелирование и последующее движение в лазерном и кулоновском полях) с точными решениями уравнений движения в двух полях, в работе получена наглядная картина перестройки импульсного распределения фотоэлектронов под действием поля родительского иона. Сформулирована аналитическая версия модели, основанная на представлении о кратковременных последовательных взаимодействиях колеблющегося с большой амплитудой электрона с ионом. Аналитическое описание воспроизводит основные закономерности формирования спектров, выявленные в численном расчете и эксперименте, что существенно упрощает анализ его структуры. Указано положение классической границы в импульсном пространстве, около которой расчеты нужно вести квантовомеханически.

Ф. КОРНЕЕВ, В. ТИХОНЧУК<sup>1</sup>, Э. ДЮМБЕР<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>CELLA, University Bordeaux, CEA, CNRS, France*

## **ГЕНЕРАЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСКРИВЛЁННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МИШЕНИ**

Предложена эффективная схема генерации квазистационарного магнитного поля интенсивностью до нескольких сотен миллионов Гаусс при взаимодействии интенсивного лазерного излучения со специальной мишенью. Мишень представляет собой цилиндрическую полость с отверстием для впуска лазерного импульса. Благодаря кривизне внутренней поверхности полости, лазерный импульс многократно отражается внутри мишени, обеспечивая высокий коэффициент поглощения энергии и последовательный разогрев и испарение электронов. Генерация интенсивных электронных токов обеспечивает генерацию магнитных полей. Предложенная схема может быть интересна в различных приложениях, от лабораторной астрофизики до инерциального термоядерного синтеза.

Т.А. ЛОМОНОСОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОВЫХ ТЯЖЕЛЫХ ФЕРМИОНОВ ПО УГЛОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ ПРОДУКТОВ РАСПАДА ПРИ ПАРНОМ РОЖДЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ЧАСТИЦ НА $e^+e^-$ -КОЛЛАЙДЕРАХ**

Из существующих экспериментальных ограничений на массы новых фундаментальных частиц ( $m > 20$  ГэВ) следует, что моды их распада преимущественно многочастичны, и при их образовании на  $e^+e^-$ -коллайдерах существенную роль играет аннигиляция через промежуточный векторный бозон. Исследованы процессы образования пар тяжелых частиц в реакции  $e^+e^-$ -аннигиляции в рамках электрослабой модели. В пренебрежении векторной константой слабого нейтрального лептонного тока для угловых распределений вторичных частиц, возникающих от распада тяжелых частиц, получаются универсальные формулы, не зависящие от типа и свойств распадов. Показано, что анализ угловых распределений легких вторичных продуктов распада тяжелых частиц (например, тяжелого последовательного лептона) может привести к важной информации о механизмах образования новых частиц в рамках стандартной модели и за ее пределами.

А.А. МИРОНОВ, Н.Б. НАРОЖНЫЙ, А.М. ФЕДОТОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **КОЛЛАПС И ВОЗРОЖДЕНИЕ КЭД КАСКАДОВ В ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСАХ**

Рассмотрено взаимодействие пучка электронов высокой энергии с полем сверхсильного лазерного излучения. Последовательность процессов нелинейного рассеяния Комптона и рождения электрон-позитронных пар излученными фотонами образует электромагнитный каскад “ливневого” типа, который быстро прекращается, или коллапсирует, в силу энергетических потерь вторичных частиц. Однако лазерное поле ускоряет замедленные электроны и позитроны таким образом, что развивается электромагнитный каскад другого типа - “лавиного”, который был предсказан в работах [1,2]. В данной работе показано, что эффект коллапса и возрождения каскадов может наблюдаться при столкновении электронов с энергией порядка нескольких ГэВ с полем лазерных импульсов интенсивности порядка  $10^{24}$  Вт/см<sup>2</sup>. Это означает, что этот эффект будет возможно наблюдать на уже строящихся (ELI) или на проектируемых в настоящий момент (XCELS) установках. Кроме того, подложенная в работе экспериментальная схема представляется наиболее реалистичным и перспективным способом наблюдения каскадов “лавиного” типа.

1. A.R. Bell and J.G. Kirk, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 200403 (2008)

2. A.M. Fedotov, N.B. Narozhny, G. Mourou, and G. Korn, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 080402 (2010)

В.М. КУЛЕШОВ, В.Д. МУР, Н.Б. НАРОЖНЫЙ, А.М. ФЕДОТОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **КУЛОНОВСКАЯ ЗАДАЧА С ЗАРЯДОМ ЯДРА БОЛЬШЕ КРИТИЧЕСКОГО**

Получено замкнутое уравнение для критического заряда ядра, т.е. такого значения  $Z_{cr}$ , при котором дискретный уровень с дираковским квантовым числом  $k$  достигает границы нижнего континуума решений уравнения Дирака. В модели с прямоугольным обрезанием кулоновского потенциала на малых расстояниях определены критические заряды ядра для нескольких значений  $k$  при различных радиусах обрезания. Показано, что парциальная матрица рассеяния позитронов на ядре унитарна и при  $Z > Z_{cr}$ . Это означает, что и при  $Z > Z_{cr}$  справедливо одночастичное приближение для уравнения Дирака и спонтанное рождение электрон-позитронных пар из вакуума отсутствует.



А.П. СЕВЕРЮХИН

*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ, Дубна,  
Московская обл.*

## **РАДИАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОЙ МАССЫ НУКЛОНОВ И СВОЙСТВА $\beta$ -РАСПАДА СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР**

Моделирование  $\gamma$ -процесса нуклеосинтеза требует крупномасштабного набора ядерных данных, которые можно получить только теоретическими расчетами. Квазичастичное приближение случайных фаз с самосогласованным средним полем, полученным из взаимодействия Скирма, является одним из наиболее успешных методов изучения структуры ядра. Такие расчеты не требуют введения новых параметров, так как остаточное взаимодействие получено самосогласованным образом с тем же самым функционалом плотности энергии как и среднее поле. В данном докладе мы обсуждаем чувствительность  $\beta$  распадных характеристик к радиальной зависимости эффективных масс нуклонов и в качестве примера рассмотрены  $\beta$  нестабильные дважды-магические ядра  $^{78}\text{Ni}$ ,  $^{100,132}\text{Sn}$ .

Е.О. СУШЕНОК, А.П. СЕВЕРЮХИН

*Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ, Дубна,  
Московская обл.*

## **МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СВОЙСТВ $\beta$ -РАСПАДА $^{132}\text{Sn}$**

Измерения и теоретические предсказания  $\beta$ -распадных характеристик ядер вблизи  $\beta$ -нестабильного дважды-магического ядра  $^{132}\text{Sn}$  исключительно важны для решения проблемы  $\gamma$ -процесса. Квазичастичное приближение случайных фаз с самосогласованным средним полем, рассчитанным из взаимодействия Скирма, является одним из основных методов исследования гамма-теллеровских переходов при  $\beta$  распаде сферических ядер. Главная особенность данного метода заключается в том, что свойства основного и возбужденные состояния описываются одним функционалом плотности энергии. При этом расчеты выполнены с учетом связи с 4-квазичастичными конфигурациями. В докладе обсуждается влияние тензорной части нуклон-нуклонного взаимодействия на описание свойств  $\beta$ -распада  $^{132}\text{Sn}$ . Показано, что учет нейтрон-протонного тензорного взаимодействия играет важную роль в этом анализе.

Д.Н. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, Е.Э. КОЛОМЕЙЦЕВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Университет Матей Бела, Банска Быстрица, Словакия*

## **СПЕКТР СКАЛЯРНЫХ КВАНТОВ В ФЕРМИ ЖИДКОСТЯХ, НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕРАНЧУКА И БОЗЕ КОНДЕНСАЦИЯ**

Изучены особенности возбуждений в нормальных нейтральных Ферми жидкостях с короткодействующим скалярным взаимодействием. Предложена процедура бозонизации локального фермион-фермионного взаимодействия. Продемонстрировано как меняется спектр скалярных возбуждений в зависимости от величины и знака параметра Ландау  $f_0$  скалярного взаимодействия и при наличии импульсной зависимости этого параметра Ландау. При  $f_0 < -1$  нарушается условие устойчивости Померанчука. Продемонстрировано, что при  $f_0 < -1$  основное состояние Ферми жидкости может стать устойчивым благодаря Бозе конденсации квантов скалярного взаимодействия. Конденсация может происходить либо в состоянии с волновым числом равным нулю, либо не равным нулю в зависимости от импульсного поведения параметра Ландау. Обсуждается соотношение этого явления с явлением спиновальной неустойчивости при фазовом переходе первого рода в Ферми жидкости. Изучено, как меняется конденсат квантов скалярного взаимодействия в движущейся Ферми жидкости.

А.А. ЖУКОВ<sup>1,2</sup>, В.П. ЯКОВЛЕВ<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики  
им. Н.Л. Духова, Москва*

## **К ТЕОРИИ МАГНИТО-ОПТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В БИХРОМАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Построена теория резонанса светоиндуцированного поглощения (СИП) для бихроматического лазерного поля взаимодействующего с открытой V-конфигурацией  $F_g = J \leftrightarrow F_{e,e} = J+1, J$  атомных переходов в присутствии постоянного магнитного поля. В рамках аппарата матрицы плотности с учетом конечности времени пролета атома и константы распада открытой конфигурации атомных уровней методом Лапласа была получена эволюция структуры резонанса СИП во времени. Теория обобщает ранее полученные результаты по исследованию формы и поляризационных особенностей резонанса в широком диапазоне интенсивностей пробной и управляющей волн: например, прослежена двойная смена знака и изучено поведение контраста резонанса для различных углов между поляризациями полей. В частности изучался вопрос корреляции в поглощениях пробного и управляющего полей.

Е.Е. ГОРОДНИЧЕВ, А.И. КУЗОВЛЕВ, Д.Б. РОГОЗКИН  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА В СЛУЧАЙНЫХ СРЕДАХ С КРУПНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

В случае наклонного падения на неупорядоченную среду пространственного ограниченного пучка излучения вычислены интенсивность и основная мода линейной поляризации света. Предполагается, что многократное рассеяние носит резко анизотропный характер и при решении векторного уравнения переноса применимо "геометрическое" приближение. Исследован вызванный многократным рассеянием эффект "рытовского" поворота плоскости поляризации. Рассчитана глубинная зависимость угла, под которым наблюдается максимум степени поляризации. Показано, что угловые положения максимумов интенсивности и степени поляризации не совпадают.

К.А. МАСЛОВ, Д.Н. ВОСКРЕСЕНСКИЙ, Е.Э. КОЛОМЕЙЦЕВ<sup>1</sup>  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*  
<sup>1</sup>*Университет Матей Бела, Банска Быстрица, Словакия*

### **УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЯДЕРНОГО ВЕЩЕСТВА В РЕЛЯТИВИСТСКИХ МОДЕЛЯХ СРЕДНЕГО ПОЛЯ СО СКАЛИРОВАННЫМИ КОНСТАНТАМИ СВЯЗИ И АДРОННЫМИ МАССАМИ В СВЕТЕ НОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О МАССАХ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД**

Имеется набор экспериментальных данных по конечным ядрам, ядерно-ядерным столкновениям и нейтронным звездам, которые должно описывать правильное уравнение состояния ядерного вещества. В настоящее время не существует уравнения состояния, которое бы удовлетворяло всем имеющимся ограничениям. Недавно обнаружены две наиболее массивные нейтронные звезды, с массами близкими к двум солнечным. В результате современное уравнение состояния ядерного вещества должно описывать еще и нейтронные звезды с массами больше двух масс Солнца. Изучается поведение уравнения состояния ядерного вещества, построенного в рамках релятивистской модели среднего поля, в которой константы связи и адронные массы скалируются как функции скалярного поля. В модель включены гипероны. Падение адронных масс мотивировано частичным сохранением киральной симметрии. Предыдущие модели такого типа неплохо удовлетворяли большинству необходимых ограничений, но в качестве предельно допустимой массы нейтронной звезды давали значения меньше двух масс Солнца, а возможность рождения гиперонов искусственно подавлялась. Несмотря на то что учет возможности накопления гиперонов приводит к уменьшению максимальной массы звезды, в данной работе демонстрируется возможность удовлетворить как старым так и новым данным.

С.В. ПОПРУЖЕНКО, В.А. ТУЛЬСКИЙ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ТОКОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ БИХРОМАТИЧЕСКИМ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ**

Методом мнимого времени решена задача об ионизации атомного уровня полем интенсивного линейно поляризованного излучения, состоящего из когерентной суперпозиции основной частоты и второй гармоники инфракрасного или оптического лазера. Вычислен усредненный по оптическому периоду фотоэлектронный ток, который оказывается отличным от нуля за счет нарушения право-левой (относительно направления поляризации) симметрии, вносимого полем второй гармоники. Исследована зависимость амплитуды тока от отношения напряженностей полей и сдвига фаз между основной и второй гармониками. Для импульсов длительностью порядка 100фс вычислен спектр фототока, максимум которого приходится на терагерцевый диапазон частот.

А.А. МИРОНОВ<sup>1</sup>, И.П. ЦЫГВИНЦЕВ<sup>2</sup>, С.С. ШЕХАНОВ<sup>1</sup>,  
С.В. ПОПРУЖЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Институт прикладной математики РАН им. М.В. Келдыша, Москва*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СГЛАЖИВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОЙ ФАЗОВОЙ ПЛАСТИНЫ**

Сглаживание пространственного распределения интенсивности в фокусе лазерного пучка может происходить при пропускании излучения через облако нестационарной плазмы, расположенное перед фокальной плоскостью [1]. В случае, когда набег фазы лазерного луча, проходящего через плазму, оказывается значительным по величине и сильно зависящим от времени и точки, усредненное по времени пространственное распределение интенсивности в фокусе может оказаться существенно более гладким, чем первоначальное. Для оценки параметров плазмы, необходимых для достижения эффекта сглаживания предлагается использовать случайную фазовую пластину (СФП), представляющую собой плоскость, при прохождении через которую фаза луча в данной точке меняется случайным образом. Для моделирования влияния нестационарности плазмы фазовая маска СФП изменялась во времени случайным образом, после чего выполнялось усреднение интенсивности в фокусе по заданному временному интервалу. Результаты моделирования позволяют найти параметры нестационарного плазменного облака, требуемые для достижения заданной степени сглаживания.

*1. С.Г. Гаранин, В.Н. Деркач, В.А. Шнягин, Квантовая электроника 34, 1 (2004).*

К.Е. ГОРОДНИЧЕВ, С.Е. КУРАТОВ, А.А. СЕРЁЖКИН  
*ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва*

## **ЭВОЛЮЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ФРОНТА УДАРНЫХ ВОЛН И КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСПАДЕ РАЗРЫВА НА ГРАНИЦЕ ДВУХ СРЕД**

В работе анализируется двухмерная задача о прохождении ударно-волновых процессов в системе сталкивающихся пластин, одна из которых обладает начальным полем возмущений плотности. Исследуется случай достаточно больших скоростей соударения, таких что задачу можно рассматривать в гидродинамическом приближении. Показано, что в зависимости от начальных данных реализуются различные режимы переноса возмущений из пластины ударника в пластину-мишень. Найден новый вид неустойчивости контактного разрыва, обусловленный наличием начального распределения неоднородности плотности в ударнике. В работе используется подход, основанный на представлении решения в виде совокупности звуковых и энтропийно-вихревых волн (см., например, [1]). Аналитические результаты качественно и количественно совпадают с численными. Используемая в работе методика была применена для описания случая классической неустойчивости Рихтмайера-Мешкова, получено согласие с экспериментальными данными.

1. С.П. Дьяков, «Об устойчивости ударных волн», *ЖЭТФ*, т. 27, №3(9), 1954.

К.А. КОНДРАТЬЕВ<sup>1</sup>, В.В. МАРИНЮК<sup>1</sup>, Д.Б. РОГОЗКИН<sup>1</sup>,  
С.В. ШЕБЕРСТОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*  
<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

## **УСИЛЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПРОЗРАЧНОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ПОД СКОЛЬЗЯЩИМИ УГЛАМИ**

Исследованы флуктуации полных коэффициентов отражения и прохождения когерентного излучения для образцов неупорядоченной среды с крупными (больше длины волны) рассеивающими частицами. Показано, что при скользющем падении излучения на поверхность среды должен наблюдаться эффект усиления флуктуаций относительных значений полных коэффициентов отражения и прохождения. При углах падения, сопоставимых с характерным углом однократного рассеяния, в зависимости дисперсии флуктуаций прозрачности от толщины образца возникает локальный максимум. Вычисления проведены как численно, методом дискретных ординат, так и аналитически, в рамках обобщения двух-потокowego приближения на случай анизотропного по азимуту распределения излучения. В расчетах использовалась фазовая функция рассеяния Хензи-Гринстейна. Проанализирована чувствительность эффекта усиления флуктуаций к анизотропии однократного рассеяния и рассеивающим свойствам среды.

И.В. САФОНОВ, М.Г. УРИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **О РЕЛАКСАЦИИ ЗАРЯДОВО-ОБМЕННЫХ СПИН-МОНОПОЛЬНЫХ ГИГАНТСКИХ РЕЗОНАНСОВ В СРЕДНЕТЯЖЕЛЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ**

Работа мотивирована планами экспериментального изучения зарядово-обменного (изовекторного) спин-монопольного гигантского резонанса в  $\beta^{(+)}$ -канале в реакциях  $^{96}\text{Zr}(t, {}^3\text{He})$ ,  $^{96}\text{Zr}(t, {}^3\text{He} n)$ . Парциальные вероятности прямого нейтронного распада указанного резонанса можно оценить с помощью полумикроскопического подхода в рамках полюсной версии частично-дырочной дисперсионной оптической модели. В такой модели совместно учитываются основные моды релаксации гигантских резонансов в среднетяжелых «жестких» сферических ядрах. Ранее мы модифицировали предложенную версию модели главным образом за счет выбора среднего поля, с помощью которой предложили описание прямого нуклонного распада указанного резонанса в материнских ядрах  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ .

Г. В. КОЛОМИЙЦЕВ, С. Ю. ИГАШОВ<sup>1</sup>, М. Г. УРИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>1</sup>*ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва*

## **ОДНОКВАЗИЧАСТИЧНАЯ ДИСПЕРСИОННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ: ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ**

Адекватным «инструментом» перехода к одноквазичастичной дисперсионной оптической модели является метод квантовых функций Грина ферми-систем. Такой переход реализован в нашей недавней работе в терминах функции Грина одночастичного уравнения Шредингера для движения нуклона в комплексном потенциале, содержащем также дисперсионную (действительную) добавку. Из проведенного в этой работе анализа вытекает необходимость некоторой ревизии существующих версий модели. В представленной работе предпринята попытка сформулировать «ревизионную» программу, которая включает такие элементы как: (1) необходимость совместного описания релаксации частиц и дырок с, вообще говоря, различной интенсивностью, с целью корректной реализации дисперсионного соотношения; (2) восстановление унитарности модели, нарушенной ввиду использования энергозависящего потенциала, симулирующего хартри-фоковское среднее поле.

Н.С. ВОРОНОВА, Ю.Е. ЛОЗОВИК<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>ФГБУН Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк*

## **ВНУТРЕННИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ЛИНЕЙНО-НЕЛИНЕЙНОЙ БОЗЕ-СИСТЕМЫ С РАССТРОЙКОЙ**

Исследована временная эволюция двухкомпонентной системы бозонов (частиц двух типов – фотонов полости и квазидвумерных экситонов в квантовой яме) с взаимными превращениями. Обе компоненты бозе-газа находятся в единой области двумерного пространства без пространственных неоднородностей при температуре  $T = 0$ , при этом фотонная компонента является линейной (т.е. гамильтониан не содержит нелинейных членов, отвечающих взаимодействию), а экситонная – нелинейной (взаимодействующей). Теоретически описаны возможные режимы осцилляций плотностей и относительной фазы волновых функций компонент конденсата, а именно: гармонические и ангармонические осцилляции Раби, внутренний эффект Джозефсона, подавление осцилляций. Проводится аналогия с системой связанных пространственно-разделенных бозе-конденсатов в двойной квантовой яме (бозонный эффект Джозефсона).





## **IV Конференция**

# **«МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

*Секция*

## **МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**



Руководитель – *Кудряшов Н.А.*, профессор, заведующий кафедрой № 31  
Секретарь – *Кочанов М.Б.*, ассистент кафедры № 31

Тел. (495)788-56-99 доб. 9072  
E-mail: [MBKochanov@mephi.ru](mailto:MBKochanov@mephi.ru)

А.В. АКСЕНОВ, К.П. ДРУЖКОВ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

## **ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ И ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ НАД НЕРОВНЫМ ДНОМ**

Рассмотрена система уравнений, описывающая одномерное движение мелкой воды над неровным дном. Эта система уравнений обладает замечательным свойством: в случае постоянного и линейного профилей дна она линеаризуется точечной заменой переменных и ее решение сводится к решению линейной системы уравнений. Найдены все гидродинамические законы сохранения. Для специальных профилей дна получены случаи расширения полученной системы законов сохранения. С помощью законов сохранения вводятся потенциалы. Рассмотрены уравнения на потенциалы. Найдены симметрии этих уравнений. Построены точные решения.

А.Д. ПОЛЯНИН<sup>1,2</sup>, В.Г. СОРОКИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем механики им. А.Ю. Ииллинского РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>3</sup>*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

## **НЕКОТОРЫЕ ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕАКЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫХ УРАВНЕНИЙ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Описаны новые классы точных решений нелинейных реакционно-диффузионных уравнений с постоянным запаздыванием. Все рассмотренные уравнения содержат одну или две произвольные функции одного аргумента. Найдены решения с обобщенным и функциональным разделением переменных, включая периодические решения по времени и по пространственной переменной, решения, описывающие нелинейное взаимодействие стоячей волны с бегущей волной и др. Описаны также некоторые точные решения более сложных нелинейных уравнений, в которых запаздывание произвольным образом зависит от времени. Помимо уравнений параболического типа рассматриваются также нелинейные гиперболические уравнения с запаздыванием. Приведенные решения содержат свободные параметры (в ряде случаев число таких параметров может быть любым) и могут быть использованы для решения некоторых модельных задач и тестирования приближенных аналитических и численных методов решения аналогичных и более сложных нелинейных дифференциально-разностных уравнений в частных производных.

А.В. АКСЕНОВ, А.А. КОЗЫРЕВ

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

## **НЕСУЩЕСТВОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО АНАЛОГА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТЕПАНОВА–МАНГЛЕРА**

Рассмотрены уравнения, описывающее нестационарное движение вязкой несжимаемой жидкости в ламинарном плоском пограничном слое и в ламинарном пограничном слое на поверхности осесимметричного тела вращения. Известно, что для стационарного случая существует преобразование Степанова–Манглера, переводящее решения уравнения стационарного осесимметричного пограничного слоя в решения уравнения стационарного плоского пограничного слоя. В рассмотренные уравнения входят произвольные функции. Найдены наиболее широкие допускаемые группы преобразований. Их анализ показывает, что аналога преобразования Степанова–Манглера для уравнения нестационарного осесимметричного пограничного слоя не существует.

И.С. КАЩЕНКО

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

## **КВАЗИНОРМАЛИЗАЦИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ СИСТЕМ**

Рассматривается нелинейная двухкомпонентная система параболических уравнений с периодическими краевыми условиями. Матрица диффузии имеет вид  $D(\varepsilon) = D_0 + \varepsilon D_1$ , где  $D_0$  имеет вид двумерной Жордановой клетки с нулевыми собственными значениями, а  $\varepsilon > 0$  и достаточно мало. Предполагается, что  $D(\varepsilon)$  при всех достаточно малых  $\varepsilon$  имеет собственные значения с положительными вещественными частями. Исследуется вопрос о поведении при  $t \rightarrow \infty$  всех решений краевой задачи с начальными условиями из достаточно малой (но независимой от  $\varepsilon$ ) окрестности в  $C[0, 2\pi]$  нулевого состояния равновесия.

Выделены всевозможные критические случаи, в которых построены специальные эволюционные уравнения, динамика которых определяет поведение решений исходной задачи в окрестности стационара.

А.А. АБРАШКИН

*Научный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Нижний Новгород*

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВИЧНОГО ВАКУУМА**

Предложена модель гипотетического первичного вакуума как сплошного континуума, состоящего из частиц с планковскими масштабами длины, времени и массы (эфиронов). Они образуют бозе-конденсат, и их описание сводится к системе уравнений гидродинамики для потенциальных течений сжимаемой жидкости. Уравнение состояния такого планковского конденсата содержит постоянную Планка и является нелокальным. Показано, что в конденсате могут распространяться продольные колебания плотности эфиронов, которые интерпретируются как квантовые гравитационные волны. Найдено их дисперсионное уравнение. Дана интерпретация гравитона, как квазичастицы, соответствующей упругим колебаниям первичного вакуума. Обсуждаются достоинства и следствия предложенной модели.

А.В. ПОРУБОВ

*Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург*

## **НЕЛИНЕЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ВОЛН В ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ**

Моделирование динамических процессов в решетках может быть как дискретным, так и континуальным. В линейном случае, как дискретные, так и континуальные уравнения легко решаются. В нелинейном случае только немногие дискретные уравнения допускают точные решения. Поэтому важной проблемой является построение корректного континуального предела нелинейных дискретных уравнений.

Предложено слабо-нелинейное обобщение двумерной дискретной модели гексагональной решетки. Построены два типа континуальных пределов, приводящих к связанным нелинейным уравнениям, описывающих распространение двумерных волн, соответствующих как акустической, так и оптической ветви. Предложена асимптотическая процедура, позволяющая получить для сдвиговых волн уравнения МКдВ или НУШ.

Рассматривается распространение плоских волн, их поперечная устойчивость и возможность двумерной локализации волн.

А.А. КАЩЕНКО

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

## **УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОСТЕЙШИХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДВУХ МОДЕЛЕЙ С БОЛЬШИМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Доклад посвящен изучению существования и устойчивости простейших автоколебательных решений  $u=(r+o(1))\exp(i(d+o(1))t)$  для модели Стюарта–Ландау с большим запаздыванием и для модели, возникающей при описании динамики Fourier Domain Mode Locking лазера с большим временем обхода резонатора. Для обеих моделей найдены условия существования решений данного вида. Эти условия состоят в том, что на плоскости  $(d, r)$  существуют кривые, в окрестности каждой точки которых необходимо значения параметров автоколебательных решений. Получены необходимые и достаточные условия устойчивости данных решений при условии, что запаздывание достаточно велико. Показано, что для обеих моделей характерно явление гипермультистабильности. Изучена геометрия областей устойчивости на кривых  $d(r)$ .

С.А. БЕКЛЕМИШЕВ<sup>1</sup>, В.Л. КЛОЧИХИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет приборостроения и информатики*

<sup>2</sup>*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва*

## **МОДЕЛЬ 4π-КИНК СОЛИТОННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ СИНОС ГОРДОНА ДЛЯ СПИНОВ В МАГНЕТИКЕ**

Структура 4π-кинка в ангармонически связанной цепочке с дважды перевернутым спином составлена из участков «разрежения» по краям и «уплотнения» в центре кинка. 4π-кинк задается уравнениями движения спинов, как для одномерной, так и гексагональной решетки. Получена энергия пиннинга. Учтено рассеяние на солитоне нелокальных волн. Оценена вероятность найти дефект узла до его контакта с кинком, предугадать критичность модели по вероятности изменения пути кинка. Из-за дефекта нелокальные волны перенаправляют кинк. Большая вероятность топологически защищенного состояния его пути показывает отсутствие скрытых ошибок модели, как оценка квантовой нелокальности частицы, предупреждает об угрозе там, где прохождение частицы не измерено, по измерению вероятности ее направления где-то рядом.

В.В. ЦЕГЕЛЬНИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Беларусь*

**АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ  
УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С ХАОТИЧЕСКИМ  
ПОВЕДЕНИЕМ, АССОЦИИРОВАННЫЕ  
С УРАВНЕНИЕМ КУРАМОТО–СИВАШИНСКОГО**

Получена нелинейная автономная система трех дифференциальных уравнений первого порядка с квадратичными нелинейностями правых частей. Данная система дополняет список известных систем Спротта с хаотическим поведением, эквивалентных автомодельному уравнению Курамото–Сивашинского в переменных бегущей волны. Исходя из этого для рассмотренной системы получены значения параметров, при которых она обладает хаотическим поведением. Показано также, что рассмотренная система не проходит тест Пенлеве ни при каких значениях входящих в нее постоянных параметров.

Получены новые значения параметров, при которых автомодельное уравнение Курамото–Сивашинского в переменных бегущей волны обладает хаотическим поведением.

Н.П. ДОБЫЧИН, А.А. ШУТОВ

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Калужская обл.*

**ФОРМА НЕСЖИМАЕМОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ СТРУИ  
В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Исследуемая проблема касается технологии получения ультратонких струй и нано волокон на их основе. Рассмотрена задача осесимметричного течения слабо проводящей вязкой жидкости, подаваемой из капилляра с постоянным расходом в область электрического поля. На выходе из капилляра жидкость заряжается. Под действием внешнего поля струя ускоряется, и в результате ее поперечник сужается. В данной постановке наряду с параметрами течения определению подлежит граница течения и электрический заряд, индуцируемый на ней. В условиях доминирования электрических сил найдено точное решение задачи. Полученная зависимость радиуса струи неограниченно уменьшается с ростом продольной координаты. Расчетные асимптотические результаты количественно согласуются с экспериментальными данными по формированию струй вплоть до нано размерного диапазона поперечного размера струи.

А.П. ЧУГАЙНОВА<sup>1</sup>, В.А. ШАРГАТОВ<sup>2</sup>, А.В. КРИВОШЕЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Москва

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## **УСТОЙЧИВОСТЬ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕШЕНИЙ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА–ДЕ ВРИЗА–БЮРГЕРСА**

Исследуется устойчивость нестационарных решений задачи Коши для модельного уравнения, учитывающего сложную нелинейность, а также дисперсию и диссипацию. Это уравнение может описывать распространение нелинейных продольных волн в стержнях. Ранее обнаружена многозначность решений стандартных автомодельных задач, решения которых строятся из последовательности волн Римана и ударных волн, имеющих стационарную структуру. Многозначность решений обусловлена наличием особых разрывов, что является следствием существенного влияния дисперсии при наличии вязкости. Численно решены задачи об устойчивости особых разрывов при изменении параметров дисперсии и диссипации. Выполненные расчеты моделируют задачу об исследовании устойчивости особого разрыва, который проходит через слой среды с измененными параметрами дисперсии и диссипации.

М.Д. МАЛЫХ

*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ОБ ИНТЕГРИРОВАНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В КОНЕЧНОМ ВИДЕ**

Существующие теории разрешимости систем нелинейных дифференциальных уравнений в конечном виде в том или ином смысле являются обобщениями теории Галуа и по этой причине список допустимых операций оказывается в них предметом договора. В своих Стокгольмских лекциях (1897) Пенлеве указал свойство, общее всем уравнениям, разрешимым в элементарных, специальных и абелевых функциях: общее решения этих уравнений зависят от констант интегрирования алгебраически. В докладе будет рассмотрено поле всех алгебраических интегралов системы, коэффициенты которых являются трансцендентными функциями независимой переменной («времени»). Цель работы – показать, что эти трансцендентные функции могут быть абелевыми функциями или решениями систем линейных уравнений.

С.А. ВАСИЛЬЕВ

*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ПОСТРОЕНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ КАДЫШЕВСКОГО**

Предложен метод построения асимптотических решений краевой задачи для уравнения Кадышевского (сингулярно возмущенное дифференциальное уравнение бесконечного порядка). Для этого уравнения были сформулированы краевые задачи на собственные функции и собственные значения на отрезке и на полупрямой. С помощью предложенного метода были получены асимптотические решения в виде регулярной и пограничной частей, и исследован вопрос об асимптотическом поведении решений при устремлении малого параметра к нулю. Также для уравнения Кадышевского была осуществлена процедура усечения – произведен переход от уравнения бесконечного порядка к уравнению конечного порядка  $2m$ . Для этого уравнения также были сформулированы краевые задачи для нахождения собственных функций и собственных значений на отрезке и на полупрямой, построены асимптотические решения этих задач и исследовано их поведение при стремлении порядка  $2m$  к бесконечности усеченного уравнения Кадышевского.

Н.А. КУДРЯШОВ, Д.И. СИНЕЛЬЩИКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ РЭЛЕЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ДИНАМИКИ ПУЗЫРЬКА В ЖИДКОСТИ**

В докладе рассматривается уравнение Рэлея для описания динамики пустой и заполненной газом полости в жидкости. Предложен метод позволяющий находить общие аналитические решения данного уравнения. Показано, что в случае пустой полости общее решение уравнения Рэлея выражается через гипергеометрическую функцию. Для случая пузырька заполненного газом установлено, что общее решение может быть построено для ряда значений показателей политропы и выражается через эллиптическую функцию Вейерштрасса. Исследована зависимость периода данных решений от начальной амплитуды пузырька. Рассмотрено обобщение уравнения на случай пространства произвольной размерности.



М.В. ДЁМИНА, Н.А. КУДРЯШОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ МЕТОД, МНОГОЧАСТИЧНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПЕРАТОР ШРЕДИНГЕРА С РАЦИОНАЛЬНЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ**

В докладе рассматриваются полиномиальные многочастичные динамические системы на плоскости. Предлагается метод, названный полиномиальным, позволяющий свести интегрирование таких систем к построению полиномиальных решений некоторых дифференциальных уравнений в частных производных. Большое внимание уделяется частицам с разными характеристиками (зарядом, массой, интенсивностью и т.п.) Полиномиальный метод может быть использован для нахождения собственных функций и собственных значений одномерного оператора Шредингера для широкого класса рациональных потенциалов.

Показывается, что в общем случае интегрирование  $N$ -частичной квадратичной динамической системы с коэффициентами, мероморфно зависящими от времени, эквивалентно построению общего решения алгебраического обыкновенного дифференциального уравнения  $N$ -ого порядка. Полиномиальный метод позволяет проинтегрировать широкий класс многочастичных динамических систем на плоскости.

Д.А. КУЛИКОВ

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

## **ВОЛНОВЫЕ НАНОРЕЛЬЕФЫ И НЕЛОКАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ЭРОЗИИ**

Рассмотрена периодическая краевая задача для нелокального уравнения эрозии в случае, когда мал свободный пробег ионов внутри мишени. Для поставленной краевой задачи изучены локальные бифуркации в окрестности состояний равновесия при смене ими устойчивости. Показана возможность бифуркаций пространственно-неоднородных периодических или квазипериодических по временной переменной решений, имеющих волновую структуру. При этом для таких решений характерна малая длина волны, слабо зависящая от величины раstra. Локальные бифуркации изучены как в случае коразмерности 1, так и 2. Для решений, описывающих неоднородный рельеф, исследован вопрос об их устойчивости в метрике фазового пространства решений данной краевой задачи, а также получены асимптотические формулы.

А.Н. КУЛИКОВ

*Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

### **ЛОКАЛЬНЫЕ БИФУРКАЦИИ В ОБОБЩЕННОМ УРАВНЕНИИ КАВАХАРЫ–КУРАМОТО–СИВАШИНСКОГО**

Рассмотрена периодическая краевая задача для нелинейного уравнения с частными производными, при соответствующем выборе коэффициентов которого можно получить такие известные уравнения как Курамото–Сивашинского, Кавахары, Кана–Хиллиарда. Изучены бифуркационные задачи, возникающие при реализации случаев близких к критическим при анализе устойчивости однородных состояний равновесия. Приведены достаточные условия появления аттракторов, заполненных пространственно-неоднородными, периодическими по временной переменной неустойчивыми решениями. Для этих решений приведены асимптотические формулы. Решения на таких аттракторах способны демонстрировать хаотическое поведение в смысле определения Девани в естественной с физической точки зрения норме.

И.Ю. ГАЮР, Н.А. КУДРЯШОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ПЕНЛЕВЕ-АНАЛИЗ И НАХОЖДЕНИЕ ТОЧНЫХ РЕШЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ПОЛИНОМИАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ**

Рассматривается нелинейное уравнение теплопроводности с источником в виде полинома. Уравнение исследуется на свойство Пенлеве. Найдены индексы Фукса. Проверены условия совместности для существования произвольных постоянных в разложении общего решения в ряд Лорана. Получены дополнительные условия, когда уравнение проходит тест Пенлеве. Показано, что в случае одного дополнительного условия уравнения является интегрируемым. В случае другого, несмотря на то, что уравнение проходит тест Пенлеве, уравнение не относится к классу интегрируемых уравнений. Получены точные решения рассматриваемого уравнения, выраженные через логистическую функцию и эллиптическую функцию Вейерштрасса.

В.А. ШАРГАТОВ, С.А. ГУБИН, А.В. КРИВОШЕЕВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **О СУЩЕСТВОВАНИИ СТАЦИОНАРНОГО ФРОНТА ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПРОТЯЖЕННОЙ НИЗКОПРОНИЦАЕМОЙ ОБЛАСТИ**

Рассматривается течение с поверхностью фазового перехода в горизонтально-протяженной пористой среде, когда более тяжелая фаза (вода) находится над более легкой (смесью воздуха с паром). Показано, что, если стационарное течение с плоской поверхностью раздела фаз существует и устойчиво по отношению к бесконечно малым гармоническим возмущениям поверхности, то только локализованное конечное возмущение верхней или нижней границы низкопроводящего слоя, направленное вверх, приводит к исчезновению стационарного решения. Такая перестройка течения возможна исключительно в случае несмачиваемой пористой среды. Путем численного эксперимента показано, что существует пороговое значение абсолютной величины амплитуды, при превышении которого стационарное течение перестает существовать. Найдено аналитическое выражение для этой величины.

А.В. ТЕТЕРЕВ, П.А. МАНДРИК, Л.В. РУДАК, Н.И. МИСЮЧЕНКО  
*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В СОПЛЕ ЛАВАЛЯ**

Разработанный специализированный многофункциональный программный комплекс SIFIN предназначен для проведения вычислительных экспериментов по моделированию течения продуктов сгорания в сопле Лавалья в 1D-3D приближениях. Он позволяет конструировать различные профили сопел, моделировать многофазные течения многокомпонентных сред, изучать влияние закрутки потока продуктов сгорания на параметры сопла, исследовать характер истечения газовой струи при различной степени нерасчетности. Комплекс оснащен удобным интерфейсом ввода-вывода и широкими возможностями по визуализации результатов моделирования непосредственно в процессе расчета. Проведенные параметрические расчеты показали, что для сопел с различной формой конфузурной части, наилучший результат дает сопло Витошинского.

А.В. ТЕТЕРЕВ, Е.В. ШИБЕКО

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ**

Разработка алгоритмов распараллеливания многомерных прикладных задач газовой динамики, как наиболее затратных по вычислительным ресурсам, для многопроцессорных персональных компьютеров открывает новые возможности повышения производительности вычислительных систем. Распараллеливание метода расчета проводилось с помощью технологии Co-Array, являющейся с 2008 года частью языка FORTRAN. Для решения поставленной задачи разработан алгоритм разбиения расчетной области на  $n$  прямоугольных подобластей, равных числу выделенных процессоров, основанный на минимизации временных затрат с весовыми коэффициентами, отражающими соотношение между временем, потраченным на расчет, и временем, потраченным на обмен данными. Эффективность алгоритма распараллеливания исследовалась на задаче обтекания тел на платформах многоядерных процессоров с различным числом физических ядер.

В.Л. КЛОЧИХИН

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва*

## **МЕХАНИЗМ И КИНЕТИКА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ $C^{14}$ ИЗ ГРАФИТА**

В мире накоплены сотни тысяч тонн радиоактивного реакторного графита. При оценке выхода  $C^{14}$  из графита применяются упрощенные представления о кинетике переноса. В работе предлагается уточненное описание гетерофазной кинетики выноса  $C^{14}$  из ТРО во вмещающий материал, учитывающее как смывание поверхностного загрязнения, так и объемную диффузию из приповерхностных слоев твердого материала к омывающей почвенной влаге. Новизна состоит в переходе от общепринятой однокамерной модели источника к разбиению его на два резервуара – поверхностно-сорбированный слой и внутреннее содержимое графита. Проведены расчеты кинетики выхода  $C^{14}$  из реакторного графита в окружающую водную среду, результаты сравнены с экспериментальными данными по выщелачиванию из графитов разных марок. Наблюдаемая экспериментальная кинетика описывается последовательным протеканием процессов — поверхностного смывания (линейный закон) и диффузией из графита (корневой закон).

В.Е. ТРОЩИЕВ, Н.С. БОЧКАРЕВ

*Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Москва*

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ (НВУ) И ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ НА ИХ ОСНОВЕ**

В докладе рассматриваются вопросы построения конечно-разностных и конечно-элементных схем для двумерных уравнений газовой динамики, записанных в форме системы нелинейных волновых уравнений второго порядка в лагранжевых переменных. Алгоритм решения состоит из ряда этапов: задание двумерной опорной сетки, узлы которой есть лагранжевы частицы с полным набором искомой сеточной функции; консервативная аппроксимация НВУ на опорной сетке; задание ячеек баланса в методах конечных разностей; задание базисных функций и определение ячеек баланса в методах конечных элементов; смена соседства лагранжевых частиц на опорной сетке и сохранение консервативности схем.

Н.А. КУДРЯШОВ, М.В. СКАЧКОВ, И.В. ШИШКИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОЧЕК В СЛУЧАЕ ИЗОТРОПНОГО ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ПАДЕНИИ ИОНОВ**

Предложена статистическая модель, которая описывает временную эволюцию функции высоты поверхности при ионном распылении. Распределение поглощаемой энергии, выделяемой в ходе этого процесса, аппроксимирована распределением Гаусса согласно теории Зигмунда о распылении аморфных мишеней. В случае изотропного ионного распыления при нормальном падении ионов получен и исследован технологически важный режим формирования точек. С использованием двумерного структурного фактора и автокорреляционной функции изучено влияние формы распределения поглощаемой энергии и величины коэффициента поверхностной диффузии на самоорганизованное формирование точечной структуры на поверхности плоской подложки.

Н.А. КУДРЯШОВ, К.Е. ШИЛЬНИКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ОПЕРАЦИЙ КРИОХИРУРГИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ  
ТЕПЛОПЕРЕНОСА В БИОТКАНЯХ ПЕННЕ  
И РЕШЕНИЙ ПАРЕТО**

В работе рассматривается задача прогнозирования результатов криоабляции злокачественных образований в биоткани человека и нахождения оптимальных параметров воздействия для повышения безопасности и эффективности криохирургических операций. Для трехмерного численного моделирования тепловых процессов в биоткани используется явная схема, полученная на основе метода конечных объемов. Для повышения устойчивости явной схемы использован метод релаксации потоков с подбором оптимального параметра релаксации. Для повышения эффективности и безопасности криовоздействия ставится задача оптимизации расположения крионаконечников в терминах многокритериальной оптимизации по Парето. Предложен обобщенный метод эффективных обходов для отыскания сегментов фронта Парето как решений задач многокритериальной оптимизации с вычислимой вектор-функцией критериев.

Е. КОССОВИЧ<sup>1</sup>, А. ТАЛОНОВ<sup>2</sup>, В. САВАТОРОВА<sup>2</sup>, Р. САФОНОВ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>3</sup>*Саратовский Государственный Университет имени Н.Г. Чернышевского*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
БИОНАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МНОГОМАСШТАБНОГО  
МОЛЕКУЛЯРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Предложен метод математического моделирования механических характеристик биосовместимых нанокompозитных материалов на основе хитозана с добавлением углеродных низкоразмерных структур в качестве упрочняющих компонент. Модель с высокой степенью точности воспроизводит энергетические и структурные характеристики исследуемых объектов. Найдены значения модулей Юнга, а также прочность материалов из чистого хитозана, а также 120 вариантов структурных особенностей нанокompозитов. Результаты верифицированы путем сравнения с механическими характеристиками материалов, определенными экспериментальным путем.

Е. КОССОВИЧ<sup>1</sup>, А. ТАЛОНОВ<sup>2</sup>, В. САВАТОРОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ С СИСТЕМОЙ НАНО- И МИКРОПОР**

Предложен метод многомасштабного моделирования процессов переноса газовой фазы в геоматериалах органического происхождения (уголь, сланцы). При описании переноса газа учитываются процессы фильтрации и диффузии, а также сорбции и десорбции газа. С учетом специфики физических процессов на различных масштабах порового пространства неоднородного материала был применен метод многомасштабного усреднения и получены результаты, позволяющие судить об изменении распределения газовой фазы в пространстве с течением времени. Было показано, что транспорт газовой фазы будет определяться не только структурой порового пространства, но также составом газовой компоненты и характеристиками, определяющими сорбционные и диффузионные процессы на нано- и микро- масштабах.

Н.А. КУДРЯШОВ, М.А. ЧМЫХОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МАССИВА ЗАМОРОЖЕННОГО ГРУНТА С УЧЕТОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА**

В докладе представлена математическая модель прогрева массива многолетнемерзлого грунта. Предложен алгоритм расчета и реализован расчетный модуль на открытой архитектуре с использованием SALOME и OpenFOAM. Верификация расчетного модуля проведена по известным точным решениям упрощенных задач.

С использованием расчетного модуля проведен расчет нагрева массива многолетнемерзлого грунта для случая трех, четырех, восьми и девяти нагревателей. Исследовано влияние параметров модели на время образования замкнутой водопроницаемой области. Представлена зависимость объема растопленной области от времени для различных температур нагревателей.

М.Б. КОЧАНОВ, Н.А. КУДРЯШОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ТОЧНЫЕ И КВАЗИТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ  
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЧЕНИЯ  
НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ  
ПРИ ПОЛНОМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИИ**

Приведена система уравнений для описания ламинарного осесимметричного стационарного течения несжимаемой вязкой жидкости над плоским дном в приближении пограничного слоя. На дне рассматриваются условия непротекания и полного проскальзывания. Получена редукция системы к одному уравнению для функции тока. Показано что при определенных условиях полученное уравнение сводится к двум уравнениям Шези. Для одного значения параметра в уравнении найдено точное решение, выраженное через функции Эйри. На основе анализа полученного решения приведены 3 типа течения жидкости в зависимости от двух свободных констант в решении. Найдены квазиточные решения – приближенные аналитические решения специального вида.

А.С. ЗАХАРЧЕНКО, Н.А. КУДРЯШОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ  
СИСТЕМЫ РЕАКЦИОННО-ДИФфуЗИОННЫХ УРАВНЕНИЙ,  
ОПИСЫВАЮЩИХ МОДЕЛЬ «ХИЩНИК–ЖЕРТВА»**

В работе исследуется система уравнений, описывающая модель взаимодействия двух видов по типу «хищник–жертва». Математическая модель является модифицированной моделью Лотки–Вольтерры, так как содержит логистический закон роста численности жертвы, а также пространственную диффузию как хищника, так и жертвы.

Проведен пенлеве-анализ рассматриваемой системы уравнений. Показано, что данная система не является интегрируемой. Получены соотношения между параметрами системы, при которых возможно построение точных решений. С помощью метода логистической функции построены точные решения системы в виде бегущих волн. Найдены периодические точные решения, выраженные через эллиптическую функцию Вейерштасса.



Н.А. КУДРЯШОВ, П.Н. РЯБОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ СВИФТА–ХОЭНБЕРГА**

В работе рассматривается обобщенное уравнение Свифта–Хоэнберга, которое встречается при описании процессов формирования гидродинамических конвективных структур, а также во многих других физических задачах. Проведено исследование редуций данного уравнения на свойство Пенлеве, обсуждаются вопросы интегрируемости. При использовании преобразования Бэклунда, построены точные решения, рассматриваемого уравнения, в виде уединенных волн и кинков. Исследовано влияние параметров задачи на поведение точных решений. Предложен численный алгоритм для моделирования процессов, описываемых уравнением Свифта–Хоэнберга. Проведено его тестирование и показана его эффективность.

С.Г. АРТЫШЕВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОБОБЩЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЛАНДАУ О ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕ**

Рассказывается об одном классе точных решений уравнений гидродинамики, обобщающих решение Ландау о затопленной струе. Полученные решения не обращаются в нуль при исчезновении вязкости и описывают ненулевой выход или ненулевое поглощение массы жидкости из источников или соответственно стоков, расположенных на одной оси.

Предлагаемый нами подход близок к первоисточнику. Изучаемое ниже поле скоростей отличается от поля скоростей решения Ландау лишь на одно слагаемое. Сохранены обозначения Ландау и некоторые его формулы обобщаются. Найдена связь между неизолированными особыми точками векторного поля скоростей и наличием в них стоков или истоков массы жидкости. Чтобы упростить выкладки, соответствующее доказательство проделано только для идеальной жидкости.

Н.А. КУДРЯШОВ, А.А. КУТУКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **АВТОМОДЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВИЖЕНИЯ ГАЗА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПО ЗАКОНУ ФОРХГЕЙМЕРА**

Рассматривается одномерная политропическая фильтрация газа в пористой среде. Предложена математическая модель данного процесса при учете двучленного закона сопротивления. Поток газа в начале координат задается как степенная функция времени. С использованием автомодельной переменной исходная математическая модель сведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, численное решение которой строится при помощи метода Рунге–Кутты четвертого порядка точности и метода «пристрелки» для плоской, осесимметричной и сферически-симметричной задачи. Проведен анализ зависимости изменения плотности и скорости газа от автомодельной переменной для различных геометрий задачи и для различных значений показателя политропы.

Н.А. КУДРЯШОВ, Б.А. ПЕТРОВ, П.Н. РЯБОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР, ОПИСЫВАЕМЫХ УРАВНЕНИЕМ КУРАМОТО–СИВАШИНСКОГО**

Рассматриваются процессы самоорганизации диссипативных структур в физических системах, описываемых уравнением Курамото–Сивашинского. Получены точные решения рассматриваемого уравнения. Разработан вычислительный алгоритм, позволяющий проводить моделирование процессов самоорганизации. Проведено тестирование и продемонстрирована эффективность предложенной вычислительной процедуры. Исследован процесс формирования устойчивых пространственных структур в зависимости от параметров модели. С использованием процедуры циклической свертки, определены диапазоны изменения управляющих параметров модели, при которых имеют место процессы самоорганизации, а также исследованы качественные и количественные характеристики рассматриваемого процесса.

А.К. ВОЛКОВ, Н.А. КУДРЯШОВ, Д.И. СИНЕЛЬЩИКОВ  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВОЛН В ВЯЗКОМ ГАЗЕ**

Рассматривается процесс распространения нелинейных волн в вязком газе в одномерном случае. С помощью метода многих масштабов получено нелинейное уравнение для описания волн в вязком газе с учетом поправок второго порядка малости. Показано, что данное уравнение инвариантно относительно групп преобразований сдвига и растяжения. Получены соответствующие инвариантные редукции и найдены их решения, выраженные через тригонометрические функции и функции Эйри. Показано что при некотором ограничении на параметры исследуемое уравнение является интегрируемым. Исследована устойчивость некоторых аналитических решений по отношению к возмущениям параметра уравнений. Численно исследована эволюция нелинейных волн.

М.В. ДЁМИНА, Н.А. КУДРЯШОВ, О.О. УЛЬЯНОВА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **УСТОЙЧИВОСТЬ И ТОЧКИ ПОКОЯ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ И РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩИХСЯ СИСТЕМ ТОЧЕЧНЫХ ВИХРЕЙ НА ПЛОСКОСТИ**

В докладе рассматривается вопрос устойчивости систем точечных вихрей на плоскости. Получена система обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, позволяющая исследовать любую статическую и равномерно движущуюся конфигурацию на линейную устойчивость. Выведено уравнение, описывающее положение точек покоя конфигураций вихрей. Получены аналитические и численные результаты исследования на линейную устойчивость статических и равномерно движущихся конфигураций с  $N \leq 10$  точечными вихрями с интенсивностями  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2 = k\Gamma_1$ , где  $k$  – целое число. Найдены точки покоя этих конфигураций. Почти все полученные результаты являются новыми.

Н.А. ЧМЫХОВА

*Институт прикладной математики им М.В. Келдыша РАН, Москва*

### **ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КВАЗИРАВНОВЕСНОЙ КОНФИГУРАЦИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

В докладе рассматриваются плазмодинамические МГД-модели формирования конфигураций плазмы в магнитных ловушках-галатях, предложенных А.И. Морозовым. Строго равновесных конфигураций плазмы конечной проводимости, изолированных от проводников, существовать не может. Изоляцию можно обеспечить при возрастании тока в проводниках со временем на начальной стадии процесса формирования, а затем конфигурация существует в квазиравновесном режиме, медленно расплываясь, в частности, и в сторону проводника, в результате диффузии поля в плазме высокой проводимости. Представлена двумерная модель – в распрямленном аналоге тороидальной ловушки «Пояс». В расчетах исследованы формирование и свойства квазиравновесных конфигураций.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 12-01-00071.

А.А. ТАЮРСКИЙ

*Институт прикладной математики им М.В. Келдыша РАН, Москва*

### **ТЕЧЕНИЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ПЛАЗМЫ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ С УЧЁТОМ ИНЕРЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ**

В работе рассмотрена одножидкостная модель электромагнитной гидродинамики (ЭМГД) квазинейтральной вязкой и электропроводной плазмы, в полном объёме учитывающая инерцию как ионов, так и электронов. Проведено сравнение ЭМГД и МГД моделей на примере решения классической задачи об установившемся течении несжимаемой плазмы в плоском канале. В МГД-теории решение задаётся течением Гартмана. В ЭМГД эпюра продольной скорости, как показано в работе, может значительно отличаться от профиля Гартмана. В частности, возникают пристеночные течения и встречные потоки, а скорость потока может существенно отклоняться от направления антиградиента давления, принуждающего плазму к течению (гидродинамический “эффект Холла”). Проведённое исследование показало, что МГД и ЭМГД-теории плоского канала практически совпадают для плазмы жидких металлов и сильно различаются для газовой плазмы.

Д.С. КУЛЯБОВ, А.В. КОРОЛЬКОВА, Л.А. СЕВАСТЬЯНОВ  
*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ПРОБЛЕМА ПОСТРОЕНИЯ ГАМИЛЬТОНИА НА ПОЛЕВЫХ УРАВНЕНИЯХ МАКСВЕЛЛА**

Построение гамильтониана для электромагнитного поля является не-тривиальной задачей. При обычной записи лагранжиана через потенциал электромагнитного поля его гессиан равен нулю, то есть невозможно построить гамильтониан без наложения связей. Для получения га-мильтониана без связей необходимо выбрать другие обобщённые переменные. Обычно гамильтониан получают в декартовых координатах. В данной работе предложена методика получения гамильтониана в произвольной системе координат.

Рассматривается электромагнитное поле без источников. Лагранжиан и уравнения Максвелла записываются в произвольной системе координат в тензорном формализме. Производится выбор обобщённых координат и производится построение гамильтониана.

Е.А. ПОСЕНИЦКИЙ<sup>1</sup>, С.Н. ВЕСЕЛОВ<sup>2</sup>, В.И. ВОЛК<sup>2</sup>,  
В.А. КАЩЕЕВ<sup>2</sup>, Т.В. ПОДЫМОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*Высокотехнологический научно-исследовательский институт  
неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара, Москва*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОБЛУЧЕННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА (ОЯТ)**

Промышленную реализацию получила гидрометаллургическая технология переработки ОЯТ, предполагающая растворение топлива в азотной кислоте с последующим выделением урана и плутония из азотнокислых растворов. Одним из наиболее перспективных методов выделения урана и плутония является кристаллизационный аффинаж. На основе разработанной ранее математической модели линейного кристаллизатора проанализированы различные варианты реализации кристаллизационного процесса. Выбраны режимы, обеспечивающие максимальный выход целевого продукта в кристаллическую фазу. Обсуждаются технологические аспекты реализации предложенных режимов.

А.С. ГОЛЬДИЧ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ПЛАЗМОСТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОВУШКИ «ПОЯС С ПРОНИЦАЕМОЙ ДЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОБОЛОЧКОЙ»**

В работе рассматривается плазмостатическая модель с уравнением Грэда — Шафранова описывающая распрямленную в цилиндр тороидальную конфигурацию, предложенную А.И.Морозовым, в которой два проводника с электрическим током, создающие магнитное поле, погружены в плазменный объем. Представлены результаты исследования зависимости характеристик магнитных ловушек с проницаемой для магнитного поля границей и приведен сравнительный анализ с экспериментальными данными, полученными на установке «Токовый слой» ИОФ РАН. Для моделирования проницаемой для магнитного поля границы используется граничное условие второго рода, которое позволяет задавать значение полного тока и учитывать влияние внешних токов расположенных вне объема рассматриваемой ловушки.

Г. Д. ДАШИЦЫРЕНОВ<sup>1</sup>, Л. А. СЕВАСТЬЯНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ МОД ПЛАВНО-НЕРЕГУЛЯРНОГО МНОГОСЛОЙНОГО ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА**

В работе представлено рассмотрение адиабатических волноводных мод плавно-нерегулярного многослойного интегрально-оптического волновода в нормированных переменных нескольких типов. Процесс численно-аналитического решения системы алгебро-дифференциальных уравнений, описывающих адиабатические волноводные моды, распадается в последовательное решение автономных подзадач, каждую из которых удобно решать в соответствующим образом нормированных переменных. В работе реализуется аналитический вывод системы уравнений каждой подзадачи. Алгоритмы реализованы в среде Delphi. При переходе от одной подзадачи к другой изменение нормировки производится автоматически. На вход программного комплекса подаются параметры волноведущей системы и электромагнитного излучения в системе СГС, на выходе решение представляется снова в системе СГС.

А.В. ЛАТЫШЕВ, А. РИСКАНА

*Московский государственный областной университет*

**ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ВТОРОЙ ЗАДАЧИ СТОКСА  
О ГЕНЕРИРОВАНИИ ВОЛН В РАЗРЕЖЕННОМ ФЕРМИ-ГАЗЕ  
КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Получено точное решение второй задачи Стокса о поведении разреженного ферми-газа, заполняющего полупространство. Плоскость, ограничивающая полупространство, заполненное разреженным ферми-газом, совершает гармонические колебания. Используется модельное кинетическое БГК-уравнение. Рассматривается случай диффузного отражения молекул газа от стенки. Требуется найти функцию распределения газовых молекул, массовую скорость газа, силу трения, действующую со стороны газа на границу полупространства, и мощность диссипации энергии, приходящаяся на единицу площади колеблющейся поверхности. Находится аналитическое решение этой задачи в рамках рассматриваемой модели и все макропараметры газа.

А.Д. КУРИЛОВ, А.В. ЛАТЫШЕВ

*Московский государственный областной университет*

**ТЕОРИЯ ОРТОГОНАЛЬНОСТИ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ  
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ КАК МЕТОД  
РЕШЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ЗАДАЧ  
ДЛЯ МОДЕЛЬНЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ**

Рассматривается два класса линейных кинетических уравнений: с постоянной частотой столкновений и с постоянной длиной свободного пробега газовых молекул (т.е. с частотой столкновений молекул, пропорциональной модулю молекулярной скорости). На основе однородной краевой задачи Римана с коэффициентом, равным отношению граничных значений дисперсионной функции, развивается теория полупространственной ортогональности обобщенных сингулярных собственных функций соответствующих характеристических уравнений, к которым приводит разделение переменных.

На примере двух граничных задач кинетической теории (о диффузии легкой компоненты бинарного газа и задачи Крамерса об изотермическом скольжении) показано применение теории ортогональности собственных функций для аналитического решения указанных задач.

В.В. БОРОГ, И.О. ИВАНОВ, А.В. КРЯНЕВ, С.Ф. ТИМАШЕВ<sup>1</sup>

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>1</sup>Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Москва*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФЛИККЕР-ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СКРЫТЫХ СИГНАЛОВ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ**

Предложен метод дистанционной идентификации высокоэнергичных динамических процессов в гелиосфере, обусловленных мощной солнечной активностью, по вариациям потока космических лучей. Приобретенные кратковременные вариации (по амплитуде и времени), в турбулентном магнитном поле солнечного ветра, как правило, скрыты в статистических шумах и для их обнаружения используется фликкер-шумовая спектроскопия. Метод апробирован на различных модельных временных рядах. Приводятся результаты пробного анализа реальных событий, связанных с распространением корональных выбросов солнечной плазмы в направлении Земли.

А.В. КРЯНЕВ, Р.Б. БАЛАШОВ, Д.Е. СЛИВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

В настоящем докладе приведена математическая модель и решение на её основе задач оптимального распределения ресурсов, в рамках которых неопределенность в значениях эффективности освоения ресурсов описывается не случайными величинами, а нечеткими числами. Одна из рассмотренных постановок позволяет свести задачу формирования эффективных портфелей к задаче линейного программирования, что дает возможность использовать эффективный алгоритм нахождения численных решений Парето, соответствующих решению задач оптимального распределения ресурсов. Вторая схема сводит задачу формирования эффективных портфелей к задаче нелинейного программирования, которая решается методом итераций. Представлены численные результаты решения задач оптимального распределения ресурсов, постановки которых основаны на описании неопределенностей с помощью нечетких чисел.



Е.Г. ЕФЕРИНА, Д.С. КУЛЯБОВ, А.В. КОРОЛЬКОВА, Т.Р. ВЕЛИЕВА  
*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВО-ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОШАГОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

При построении стохастических моделей одношаговых процессов на основе основного кинетического уравнения проблематично выбрать метод его решения. Можно разложить в ряд Тейлора и получить решения из уравнения Фоккера–Планка.

Поскольку одношаговые процессы естественным образом записываются через операторы рождения и уничтожения, а через подобные операторы записываются соотношения квантовой теории поля. То есть, можно формально применить аппарат квантовой теории поля с его развитым формализмом для получения конкретных решений исследуемой стохастической модели. А именно, основное кинетическое уравнение можно формально представить в виде уравнения Шрёдингера. Конкретные решения получить методом диаграмм Фейнмана.

А.В. КРЯНЕВ, Т.Л. БЕЛЯКОВА  
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ В МАТРИЧНЫХ ИГРАХ**

В настоящем докладе проведено сравнение различных схем выбора оптимальных стратегий в матричных играх с нулевой и ненулевой суммой. Введено новое понятие равновесного решения для антагонистической игры и дана связь равновесного решения с решением в чистых стратегиях. Введено новое понятие равновесного решения для игр с ненулевой суммой и дана связь этого типа равновесного решения с равновесным решением по Нэшу. Рассматривается класс кооперативных игр, для которых имеет смысл задача максимизации суммы выигрыша игроков. Проведены сравнения численных значений выигрышей для равновесных состояний в антагонистических играх и для игр с ненулевой суммой, а также для решений Нэша и для варианта максимизации суммы выигрыша.

А.В. КРЯНЕВ<sup>1</sup>, А.А. ПИНЕГИН<sup>2</sup>, С.Г. КЛИМАНОВ<sup>1</sup>, А.А. РЫЖОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

### **ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРЕПУТОК ТВС ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

В настоящем докладе представлены схемы выявления перепуток ТВС по распределению энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов. Выявление перепуток в распределении энерговыделения в активных зонах ядерных реакторов базируется на двух массивах данных: значениях распределения энерговыделения, полученных путем численного решения задач, описывающих перенос нейтронов, и показаниях датчиков внутриреакторного контроля. Предложены несколько схем выявления перепуток. Одна из схем основана на объединении частных показателей аномалий в один комплексный показатель. Другая схема основана на применении к совокупности агрегированных показателей метода кластеризации.

А.А. ЕГОРОВ

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

### **ПОТЕРИ НАПРАВЛЯЕМЫХ И ВЫТЕКАЮЩИХ МОД В НЕРЕГУЛЯРНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ И НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ КАК НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМАХ**

Исследованы явления распространения и рассеяния направляемой и вытекающей мод в нерегулярных стационарных и нестационарных оптических волноводах. В случаях рассеяния фундаментальных направляемой и вытекающей ТЕ-мод в 2D- и 3D-нерегулярном стационарном и нестационарном волноводах соответственно выявлены циклы:  $S^1$ ,  $S^2$ ,  $S^4$  и  $S^1$ ,  $S^2$ ,  $S^\infty$ . В нестационарном волноводе возникновение циклов  $S^{2p}$  может проявляться в виде скачкообразных (резонансных) вариаций с течением времени управляющего параметра системы, вызывающего в частности скачкообразное изменение блеска треков мод. Такое резонансное «переключение» системы может приводить к возникновению множества треков мод с различной светимостью. Наш метод не требует решения задачи математической физики на собственные значения и собственные функции (задача Штурма-Лиувилля).

Д.С. КУЛЯБОВ

*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ПАРАДОКС СВЕРХСВЕТОВОГО ДВИЖЕНИЯ В СТО**

При изложении частной теории относительности (СТО) принято выделять так называемые «парадоксы». Одним из таких парадоксов является формальное возникновение скоростей, превышающих скорость света. Авторы показывают, что большая часть подобных «парадоксов» возникает из-за неполноты релятивистского исчисления над скоростями. А именно, операции над скоростями образуют группу по сложению. При этом расширение до поля обычно проводится с помощью нерелятивистских операций. Кроме того, обычно не учитывается некоммутативность релятивистских операций.

Предлагаются варианты расширения релятивистского исчисления, проводится сравнительный анализ разных методов. Высказываются идеи расширения релятивистского исчисления на другие физические размерности.

Д.В. ДИВАКОВ, Л.А. СЕВАСТЬЯНОВ

*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕПОЛНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ МОД В НЕРЕГУЛЯРНОМ ВОЛНОВОДНОМ ПЕРЕХОДЕ**

В работе рассматривается неполный метод Галеркина в применении к задаче моделирования распространения собственных волн внутри закрытых волноводов с нерегулярными границами, представляющими собой волноводный переход между двумя полубесконечными волноводами постоянного поперечного сечения. Решение задачи производится путем перехода к криволинейным не ортогональным координатам, в которых уравнения, описывающие границы волноводного перехода, приобретают наиболее простой вид. В новых координатах граничные условия записываются максимально просто, а парциальные условия излучения сохраняют свой вид. Кроме того, в работе приводится метод, позволяющий рассчитывать собственные моды открытого волновода, используя неполный метод Галеркина для закрытого волновода.

А.А. ТЮТЮННИК, Л.А. СЕВАСТЬЯНОВ, А.Л. СЕВАСТЬЯНОВ  
*Российский университет дружбы народов, Москва*

### **МЕТОД АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ВЫВОДА СУЧП ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ КАНТОРОВИЧА ПО БАЗИСУ АДИАБАТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ МОД**

В работе описан метод нахождения общего решения в задаче моделирование распространения излучения в интегрально-оптическом волноводе с нерегулярным по двум направлениям изменением параметров. Решения уравнений Максвелла ищутся в виде разложения по базису адиабатических волноводных мод с коэффициентными функциями. В результате проведенных аналитических вычислений были получены системы соотношений для коэффициентных функций Канторовича. После получения из нее системы дифференциальных уравнений в частных производных для коэффициентных функций и дополнения ее граничными условиями, будем решать последнюю численными методами. Таким образом, мы получаем алгоритм общего решения задач волноводного распространения электромагнитного излучения в плавно-нерегулярных интегрально-оптических системах.

М.М. КОТЮКОВ, Л.А. СЕВАСТЬЯНОВ  
*Российский университет дружбы народов, Москва*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЯЕМЫХ МОД ТРЕХСЛОЙНОГО РЕГУЛЯРНОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА**

Задача моделирования распространения направляемых мод планарного диэлектрического волновода решена методом волнового сопряжения. Метод позволяет, используя вид полей в каждом слое волновода, получить однородную систему линейных алгебраических уравнений относительно искомых амплитуд полей в соответствующих слоях. Матрица системы зависит от коэффициента фазового замедления, равенство нулю определителя матрицы является условием разрешимости системы, что позволяет для каждой заданной толщины волноводного слоя рассчитать все значения коэффициента фазового замедления. После построения дисперсионной зависимости проводится расчет амплитудных коэффициентов вдоль каждой дисперсионной кривой. Устойчивые численные методы решения указанных задач реализованы в виде программного обеспечения.

Р.С. МАКИН

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград, Ульяновская обл.*

## **ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ И ХАОС В ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА**

Установлены условия существования инерциальных многообразий для одного класса нелинейных эволюционных уравнений в вещественном сепарабельном пространстве. Класс рассматриваемых задач включает системы уравнений смешанного типа: интегро-дифференциальные и параболические уравнения с линейной главной частью и непустым существенным спектром. При анализе уравнения переноса существенно использовались функция Мельникова, спектральные свойства исходной задачи и «условие конуса». Приведено обоснование нелинейного динамического метода Галеркина (метода инерциальных форм) для решения задачи Коши. Установлена теорема о существовании конечномерного притягивающего множества (странного аттрактора), каковым является нормально гиперболическое инерциальное многообразие. Указан сценарий перехода к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода. Обсуждается вопрос о возможности существования «диких» (по Ньюхаусу) гиперболических множеств.

Т.И. САВЁЛОВА, А.С. ВИШНЯКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОРМАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО НАБОРУ ОТДЕЛЬНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ**

В последние десятилетия всё более широкое распространение получают методы EBSD исследования текстуры в материаловедении. Измерение  $10^4$ – $10^7$  ориентаций зёрен даёт возможность вычислять функции распределения ориентаций (ФРО) и полные фигуры (ПФ) путём сглаживания дискретных данных.

Представляется перспективным для набора ориентаций разработать метод получения ФРО и ПФ в виде аппроксимации нормальными распределениями. Задача заключается в разбиении множества ориентаций на кластеры и подбора параметров нормального распределения (НР) — координат центра, аналога дисперсии и веса.

В настоящей работе рассматривается решение задачи восстановления параметров НР по набору отдельных ориентаций. Отдельные ориентации моделируются методом Монте-Карло.

М.Н. ГЕВОРКЯН, Д.М. ШАЛДЫБИНА  
*Российский университет дружбы народов, Москва*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ЖИДКОСТНОГО И ДИСКРЕТНОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛЕЙ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В теории массового обслуживания обычно используют математические модели на основе марковских процессов с дискретным множеством состояний и непрерывным временем. Такие модели плохо подходят для моделирования систем с большим количеством элементов или с непрерывным изменением состояний. Для преодоления этих недостатков можно использовать марковские процессы с непрерывным временем и множеством состояний, а также жидкостные модели (fluid queues).

Доклад посвящен обзору преимуществ и недостатков этих моделей. Использование марковских процессов с непрерывным пространством состояний и с непрерывным временем приводит к стохастическим дифференциальным уравнениям известным в физике.

В.С. МАКИН<sup>1</sup>, Р.С. МАКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики*

<sup>2</sup>*ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград, Ульяновская обл.*

## **НЕРЕЗОНАНСНОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД ИМПУЛЬСАМИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Рассмотрены эффекты формирования упорядоченных и неупорядоченных диссипативных структур разрушения поверхностей титана, циркония и кремния в атмосфере окисляющих газов, под действием импульсов лазерного излучения с длительностями импульсов от 1 мс до 10 фс и радиально симметричным распределением интенсивности, в виде радиально-лучевых, концентрических и линейных структур рельефа. При изменении условий облучения (плотности мощности излучения и/или концентрации окисляющего газа) наблюдалось изменение числа лучей радиально-лучевых структур, изменение типа структур и скачкообразного уменьшения их характерного пространственного периода, с переходом к формированию неупорядоченных структур. В качестве математической модели для интерпретации явления предложено стандартное отображение окружности (обобщение логистического отображения на радиальную симметрию) с образованием языков Арнольда.

Р.С. МАКИН, В.А. КРАСНОСЕЛОВ

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград, Ульяновская обл.*

## **О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

Предложена математическая модель образования скопления радиационных дефектов в твердых телах, находящихся под воздействием излучения (нейтронного и (или) гамма-квантов). На основе кинетического уравнения переноса дефектов предложен общий механизм неустойчивости однородного поля распределения радиационных дефектов большой плотности, состоящий в возникновении потока дефектов против градиента их концентрации за счет деформации кристаллической решетки, обусловленной, в свою очередь, скоплениями дефектов. Проведенное сравнение с немногочисленными экспериментальными результатами показало работоспособность предложенной модели и механизма неустойчивости. Наличие многочисленных параметров и факторов, сопровождающих процесс облучения, затрудняет корректный анализ и сопоставление с моделью.

А.О. АНТОНОВА, Т.И. САВЁЛОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ EBSD-ЭКСПЕРИМЕНТА И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПФ И ФРО**

Проводится моделирование EBSD-эксперимента. Вычисляются полусные фигуры (ПФ) по результатам измерения образца гексагональной симметрии, вычисленные ПФ сравниваются с ПФ модельного образца по критерию однородности хи-квадрат. Производится оценка зависимости погрешности эксперимента от параметров измерений – шага измерения, порогового угла разориентации, количества измерений.

Выполняется учет наличия границ в образце. По результатам эксперимента вычисляются ПФ и функции распределения ориентаций (ФРО). Осуществляется сравнение результатов модельного эксперимента с результатами, полученными по коммерческой программе.

Ю.С. ИВАНОВА, Т.И. САВЁЛОВА

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНОНИЧЕСКОГО НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПОЛЮСНЫМ ФИГУРАМ**

Большая часть экспериментов, направленных на изучение свойств веществ и, в особенности, металлов проводится с использованием электронных микроскопов и рентгенографических установок. В результате подобных экспериментов получают либо ориентации отдельных зёрен (по которым можно вычислить полюсные фигуры (ПФ)), либо непосредственно ПФ. Они в свою очередь используются для решения различных задач - определение размеров зёрен, фазы материалов и т.д. В данной работе специализированным методом Монте-Карло моделировались ориентации зёрен (ориентировки) для канонического нормального распределения (КНР). Затем производился переход к ПФ. Исследования проводились на группе вращений трехмерного евклидова пространства  $SO(3)$ . Результаты получены для различных значений параметров, характеризующих текстуры. По полученным ПФ решалась обратная задача – восстановление функции распределения зерен по ориентациям. В частности, определялись параметры КНР. Вычисления проводились для случая двух и трех известных ПФ. Оценки получены с помощью критерия  $\chi^2$ . Ответ представлен в виде доверительно интервала.

Е.А. БЕДРИКОВА, А.В. ЛАТЫШЕВ

*Московский государственный областной университет*

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КУЭТТА ДЛЯ ФЕРМИ-ГАЗА**

Работа посвящена исследованию поведения ферми-газа в канале. Построена математическая модель течения Куэтта на основе БГК (Бхатнагар–Гросс–Крук) модели кинетического уравнения Больцмана для ферми-газа. В качестве граничных условий рассматриваются почти зеркальные граничные условия при малых коэффициентов аккомодации. В работе аналитическими методами получено решение задачи. На основании решения построена функция распределения газа и вычислены основные макропараметры газа, а именно получено выражение для силы вязкого трения, потока массы и тепла газа в канале. Проведен анализ полученных результатов и сравнение их с известными результатами для классических газов.



Е.В. СТЁПИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВЛЕНИЯ  
СТАЦИОНАРНЫХ АЛЬФВЕНОВСКИХ  
И БЛИЗКИХ К НИМ МГД-ТЕЧЕНИЙ  
В КОАКСИАЛЬНЫХ КАНАЛАХ В ПРИСУТСТВИИ  
ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Стационарные магнитогидродинамические течения в каналах-соплах в присутствии продольного магнитного поля подразделяются на три существенно различных класса: сверхальфвеновские, в которых продольная скорость плазмы превосходит рассчитанную по продольному магнитному полю альфвеновскую скорость, доальфвеновские - с обратным неравенством, и альфвеновские, в которых продольная скорость плазмы совпадает с альфвеновской по всей длине канала, а плотность плазмы постоянна. В работе рассматриваются стационарные трансзвуковые сверхальфвеновские, дозвуковые сверхальфвеновские, сверхзвуковые доальфвеновские и альфвеновские МГД-течения, полученные путём численного моделирования их процессов установления, в коаксиальных каналах-соплах в присутствии продольного магнитного поля.



*Секция*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**



Руководитель – *Нагорнов О.В.*, профессор кафедры № 30  
Секретарь – *Коновалов Ю.В.*, доцент кафедры № 30

Тел. (495)323-93-72  
E-mail: [yu-v-k@yandex.ru](mailto:yu-v-k@yandex.ru)

С.А. ШЕВЧЕНКО, Р.Г. КОЗИН

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ**

В данной работе рассмотрена математическая модель переноса радиоактивных примесей и создана её практическая реализация. Построена и исследована модель переноса многокомпонентной примеси в атмосфере. Модель основана на том, что распространение примеси в атмосфере описывается полуэмпирическим уравнением адвекции-диффузии. Также она учитывает наличие примесей различных типов, которые могут трансформироваться друг в друга. Помимо прочего в работе описываются основные модели поведения потоков воздуха в зависимости от различных погодных эффектов, таких как изменение времени суток, температуры и прочее. С использованием различных программных средств, была создана расчетная сетка, реализованы численное моделирование физических процессов, которые описываются дифференциальными уравнениями в частных производных, и графическое отображение результатов.

В.В. БРАГУТА<sup>1</sup>, О.Е. СОЛОВЬЁВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*НИЦ «КИ» ФГБУ «ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной физики» им. А.И. Алиханова, Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **РЕШЕТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КХД С КИРАЛЬНЫМ ХИМИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ**

Производилось моделирование КХД с ненулевым киральным химическим потенциалом методами решеточной калибровочной теории. В решеточном подходе непрерывное пространство-время заменяется четырехмерным дискретным пространством с Евклидовой метрикой. Решеточное действие и мера интегрирования формулируются в явно калибровочно-инвариантном виде. Это позволяет вычислять функциональный интеграл с помощью методов Монте-Карло и решать задачи вычисления физических наблюдаемых с контролируемой погрешностью. Была изучена фазовая диаграмма КХД при условии, что имеется 2 цвета. Так же было рассмотрено нарушение киральной симметрии в КХД.

В.А. ГАНИ<sup>1,2</sup>, В.А. ЛЕНСКИЙ<sup>2</sup>, М.А. ЛИЗУНОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
<sup>2</sup>НИЦ «КИ» ФГБУ «ГНЦ РФ Институт теоретической и экспериментальной  
физики» им. А.И. Алиханова, Москва

## **РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СТОЛКНОВЕНИЯХ КИНКОВ МОДЕЛИ $\phi^8$ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ**

Выполнено численное моделирование столкновений кинков в рамках модели  $\phi^8$  в (1+1) измерениях. Проведен анализ численных результатов решения уравнения Эйлера-Лагранжа при различных значениях начальных скоростей. Выявлено значение критической скорости, которое разделяет два режима столкновения – образование связанного состояния (ниже критической скорости) и разлет после одного соударения (выше критической скорости). Также до критической скорости наблюдалось явление разлета кинков после двух соударений. Было дано объяснение этому явлению после изучения спектра малых возмущений одиночного кинка данной теории. Данная работа имеет приложение в некоторых задачах физики твердого тела.

Е.А. ДОВГОПОЛАЯ, И.А. КОЧЕТКОВА, В.В. МАСЛЕННИКОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **МЕТОД ПРИБЛИЖЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРНЕЙ КУБИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ**

Анализ многих технических систем приводит к получению уравнений третьей степени. Известно, что определение корней кубических уравнений по формулам Кардано приводит к очень сложным выражениям, анализ которых с целью оптимизации характеристик систем практически невозможен. В настоящее время часто используют численное моделирование, но при большом количестве параметров даже с использованием современных быстродействующих компьютеров и соответствующих пакетов прикладных программ это становится очень трудоемким процессом. В связи с этим предлагается новый подход к нахождению приближенных значений корней кубического уравнения, удовлетворяющего условиям устойчивости.

И.О. ГРИГОРЬЕВ, А.В. ТЕПЛЯКОВ  
*ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТУРЫ  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСНОГО  
НЕЙТРОН-ГАММА КАРОТАЖА**

Обширные информационные возможности нового поколения аппаратуры спектрометрического импульсного нейтрон-гамма каротажа, разрабатываемого во ВНИИА, предъявляют повышенные требования к точности и разнообразию параметров моделей, недостижимых при традиционном физическом моделировании. С другой стороны, эволюция вычислительной техники и развитие методов математического моделирования дают возможность построения множества математических моделей, удовлетворяющих предъявленным требованиям. Таким образом, метрологическое обеспечение разрабатываемой аппаратуры строится на основе математического моделирования, используя физические модели в качестве опорных точек.

Ю.В. КОНОВАЛОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

**РЕЗОНАНСНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ШЕЛЬФОВОГО ЛЕДНИКА,  
ПОЛУЧЕННЫЕ В 3D МОДЕЛИ ИЗОТРОПНОЙ  
УПРУГОЙ СРЕДЫ**

Колебания шельфового ледника под действием набегающей океанической волны получены в 3D модели, основанной на уравнениях движения изотропной упругой среды (для льда) в случае линейных деформаций, а также на волновом уравнении, описывающем движение морской воды под шельфовым ледником. Периодические деформации получены для идеализированной геометрии шельфового ледника в виде прямоугольной пластины, размеры которой соответствуют шельфовому леднику Erebus Glacier Tongue (Канадская Арктика) (Holdsworth and Glynn, 1978) и для набегающих морских волн разной периодичности. Получен спектр амплитуд деформации шельфового ледника в диапазоне от 0.004 до 0.2 Гц. Установлено наличие резонансных частот в этом диапазоне, указывающих на возможность разрушения шельфового ледника в результате резонансного воздействия.

И.П. БЕЛЯВЦЕВ, С.О. СТАРКОВ

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

В настоящее время практически отсутствуют методы оптимизации эксплуатационных процессов. В данной статье предложен метод, позволяющий произвести моделирование и оптимизацию эксплуатационных процессов реакторов. Вводится понятие ТА-модели процесса. ТА-модель представляет собой описание процесса в виде суперпозиции абстрактных автоматов. Для поиска оптимального пути используется информированный алгоритм поиска в графе ТА-модели. Для "привязки" абстрактной модели к физическим параметрам процесса используется аппроксимация искусственной нейронной сетью. На основе методики разработан базовый вариант программного комплекса для моделирования и оптимизации. Программный комплекс работает в различных гетерогенных вычислительных средах. Первичные испытания на синтетических тестах позволяют говорить об успешной работе методики и программного комплекса.

Ю.В. КОНОВАЛОВ, О.В. НАГОРНОВ

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ПОД ШЕЛЬФОВЫМ ЛЕДНИКОМ ОТ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ**

Изменения положения береговой линии под шельфовым ледником, получены в 2D модели течения льда (Pattyn, 2000) для быстрых потоков льда в ледниковом покрове Академия Наук. В модели рассматриваются изменения положения береговой линии в зависимости от изменений глобальной температуры атмосферы, которая определяет изменения баланса массы на поверхности ледника. Зависимость между исследуемыми изменениями может быть записана в виде дифференциального уравнения с запаздыванием. Аналогичное уравнение, связывающее изменения линейных размеров горных ледников с изменениями температуры атмосферы, рассматривалось в (Oerlemans, 2005; Konovalov, Nagornov, 2009).

Д.К. ЛЕГЧИКОВ, И.П. БЕЛЯВЦЕВ, С.О. СТАРКОВ, В.В. КОЛЕСОВ  
*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Калужская обл.*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПАСА КРИТИЧНОСТИ РЕАКТОРА ВВР-Ц МЕТОДОМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Запас критичности является одним из наиболее важных параметров обеспечения безопасности функционирования реактора. Существующие методы моделирования характеристик активной зоны реактора используют регрессионное и стохастическое моделирование. При этом на модель не оказывают влияния значения критичности и реактивности, измеренные в ходе работы реактора, а само моделирование занимает значительное время. В данном исследовании предложено использование искусственных нейронных сетей для создания нейросетевой модели запаса критичности реактора, разработан программный продукт для создания искусственных нейронных сетей, создана модель расчета запаса критичности реактора ВВР-ц с использованием искусственной нейронной сети, произведен анализ согласованности расчетных значений с экспериментальными данными. Рассмотренная нейросетевая модель реактора позволяет рассчитать запас критичности, не прибегая к большим вычислительным затратам. Кроме того, в предложенной модели учтены экспериментальные данные рабочего реактора.



## ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

### – А –

Абин Д.А., 174  
Абрашкин А.А., 236  
Аграфонов Ю.В., 154  
Азарова А.В., 114  
Айдунбеков З.М., 58  
Акимов И.С., 58  
Акмалов А.Э., 185  
Акмалова Ю.А., 43, 53  
Аксенов А.В., 234, 235  
Акулиничев С.В., 51  
Алексеев М.П., 174  
Алексеев П.А., 154, 160, 198  
Алибеков С.Я., 170  
Алиханов Н.М.-Р., 172  
Алферов Д.Ф., 124  
Амбуркин Д.М., 89  
Амбуркин К.М., 90  
Ананьин О.Б., 147  
Анашин В.С., 104  
Андреев А.О., 186  
Андреев С.Г., 72, 73, 77, 78,  
79  
Андреианов С.Л., 200  
Андрющенко Е.А., 155  
Анисимов М.А., 161  
Анохин Ю.Н., 49, 50  
Антонов А.А., 106  
Антонов Н.Н., 146  
Антонова А.О., 263  
Арапов Ю.Г., 134  
Арсеньев Н.Н., 220  
Артамонов А.С., 82  
Артамонов С.А., 51  
Артемов К.А., 104  
Артышев С.Г., 249

Асланян М.М., 61  
Аткин Э.В., 84  
Ахадов Т.А., 46, 72  
Ахметгареев М.Р., 124, 126  
Ахметов А.О., 98

### – Б –

Бабина Д.Д., 49  
Баев В.К., 205  
Базина В.Е., 42  
Байбаков Р.Ф., 161  
Бакеренков А.С., 112, 113  
Бакиров Л.Р., 104  
Бакун А.Д., 136  
Балашов Р.Б., 256  
Балашов С.В., 102  
Баловнеев А.В., 148  
Баркалов К.Е., 155  
Барминова Е.Е., 141, 208  
Бартенева С.С., 72  
Баскаков А.О., 156  
Башмаков В.Ф., 221  
Башутин О.А., 147  
Бедрикова Е.А., 264  
Безотосный В.В., 132  
Безотосный П.И., 156  
Беклемишев С.А., 237  
Белова М.П., 96  
Белугин В.М., 202  
Белявцев И.П., 271, 272  
Беляев В.Н., 43, 47, 48  
Беляков В.В., 103, 110, 111  
Белякова Т.Л., 257  
Бердникова А.К., 47, 48  
Беседин И.С., 157  
Бирюков В.П., 193

Битулев А.А., 130  
Бледнов А.В., 175  
Блудова А.И., 157  
Бобровский Д.В., 93  
Богач А.В., 161  
Богданов Г.С., 147  
Богданович Б.Ю., 196, 205,  
206  
Богомоллов В.И., 147  
Божко А.Д., 158  
Божко С.И., 158, 159, 171, 178  
Бойкова А.С., 164  
Бойченко Д.В., 96  
Болдырев К.Н., 159, 162, 167,  
171  
Болоздыня А.И., 47, 48  
Борисов А.Я., 96  
Борисюк Ю.В., 142  
Борог В.В., 256  
Бородкин А.А., 184  
Боруздина А.Б., 91, 92, 94  
Борщева И.Ю., 68  
Бочаров Ю.И., 116  
Бочкарев Н.С., 245  
Брагута В.В., 268  
Бриенков А.С., 215  
Будадин О.Н., 65  
Будилова О.В., 187  
Будовский А.И., 124  
Бужинский О.И., 186  
Бузоверя М.Э., 63  
Букин В.В., 182  
Булейко А.А., 202  
Бульбаков И.С., 87  
Бункин А.Ф., 177  
Бурмистенко Ю.Н., 199  
Бутузов В.А., 116  
Бухарин М.А., 183  
Буянаева Х.Ц., 54  
Быков Ю.А., 128, 129  
Быковский Д.П., 193

Быстрицкий А.В., 93  
Быстров П.А., 200, 203  
Бялковский О.А., 194

– В –

Ванюхин К.Д., 136  
Вартаньянц И.А., 157, 160,  
163  
Вартапетов С.К., 183, 184  
Васильев А.А., 114, 115  
Васильев А.Е., 202  
Васильев А.Л., 91  
Васильев В.В., 189, 190  
Васильев В.К., 103  
Васильев С.А., 240  
Васильевский И.С., 134, 135  
Ватуев А.С., 102, 106  
Вахненко М.С., 107  
Велижанин А.А., 166  
Велиева Т.Р., 257  
Величанский В.Л., 183, 189,  
190  
Веселов Д.С., 122  
Веселов С.Н., 253  
Визгалов И.В., 145  
Виниченко А.Н., 134, 135  
Вишняков А.С., 261  
Власов А.В., 105  
Власов В.А., 66  
Власова С.В., 66  
Вовченко Е.Д., 147, 148  
Волк В.И., 253  
Волков А.К., 251  
Волков Г.С., 149  
Волков П.В., 177  
Волков Ю.А., 85, 86  
Воробьев А.С., 104  
Воробьева Е.С., 53  
Воробьева Н.Ю., 77  
Ворона Н.А., 146

Воронов Ю.А., 122  
Воронова Н.С., 231  
Воскресенский Д.Н., 226, 227  
Ву К.Т.Ч., 212  
Вышегородцева Т.И., 73

– Г –

Гавриков А.В., 146  
Гаврилкин С.Ю., 156  
Гаджимагомедов С.Х., 173  
Гайнанов Б.Р., 160  
Галанин М.П., 127  
Галимов А.М., 120, 121  
Галяутдинова Ж.Ж., 43, 54  
Ганзбург М.Ф., 121  
Гани В.А., 269  
Гарнов С.В., 182  
Гарутти Э., 88  
Гаяр И.Ю., 242  
Геворкян М.Н., 262  
Гельфер Е.Г., 221  
Геонджиан А.Ю., 160, 161  
Герасимов И.А., 147  
Герасимов С.Н., 152  
Герасимчук О.А., 97  
Глушков В.В., 161, 176  
Говорухина Т.Н., 64  
Голованова В.К., 58  
Головин А.В., 103, 110  
Голуб Е.В., 75  
Голубева Л.И., 76  
Гольдич А.С., 254  
Горбунков М.В., 132  
Горбунов М.С., 92, 106  
Гордеев А.В., 53  
Гордова Т.В., 155  
Горелик М.Л., 222  
Гореславский С.П., 222  
Горобцов О.Ю., 157, 163  
Городничев Е.Е., 227

Городничев К.Е., 229  
Грабовский Е.В., 125  
Грачёва А.Ю., 48  
Грезев Н.В., 194  
Грехова А.К., 77  
Грибов А.Н., 125  
Григорьев И.О., 270  
Григорьев С.В., 176  
Григорьева И.Г., 148  
Гришаков К.С., 137  
Громов Е.А., 110  
Громушкина Е.В., 52, 53  
Губин С.А., 243  
Губский К.Л., 182, 185, 186  
Гудим И.А., 159  
Гудина С.В., 134  
Гузеев В.В., 140  
Гусарова М.А., 209  
Гусев А.В., 87  
Гуторов К.М., 144, 145

– Д –

Давыдов Г.Г., 94  
Давыдов М.И., 58  
Даниличев В.А., 207  
Данилов П.А., 184  
Данилова Е.П., 72  
Дашицыренов Г.Д., 254  
Двоеглазов Я.М., 147, 151  
Дворников В.А., 207  
Дворнова А.А., 152  
Дегтяренко Н.Н., 162  
Дегтяренко П.Н., 155, 169,  
178, 179  
Дементьев В.В., 117  
Дёмин М.В., 163, 174  
Дёмина М.В., 241, 251  
Демисhev С.В., 161, 176  
Деревяшкин С.П., 189  
Держиев В.И., 51

Джангирова Т.В., 62  
Джигеев Д.А., 157  
Джумаев П.С., 193  
Диваков Д.В., 259  
Диденко А.Н., 216, 217, 218  
Дмитриев М.С., 217  
Дмитриева В.В., 58, 62, 68  
Добрецова Е.А., 162  
Доброхотов В.В., 207  
Добычин Н.П., 238  
Довгополая Е.А., 269  
Додулад Э.И., 148, 150  
Долгов А.Н., 125  
Долотов П.С., 106  
Доможаков Д.А., 83  
Дроздецкий М.Г., 120, 121  
Дружков К.П., 234  
Дубкова О.И., 185  
Дубов Л.Ю., 43, 47, 52, 53  
Духненко А.В., 161  
Дьяконов М.В., 217  
Дюбков В.С., 204  
Дюбуа А.Б., 155  
Дюмьер Э., 223

– Е –

Евсин Д.В., 124  
Евстратова Е.С., 49  
Евтихийев Н.Н., 191, 194  
Егоров А.А., 258  
Егоров А.Н., 94  
Егоров Р.В., 212  
Елесин В.В., 88, 89, 90  
Елесин В.Ф., 137  
Елушов И.В., 121  
Емельянов В.В., 102, 106  
Епифанцев К.А., 97  
Еремин И.С., 134, 135  
Еферица Е.Г., 257  
Ефимова А.Е., 191

– Ж –

Жданов В.М., 144  
Жигонов Д.М., 134  
Жихарев Г.Ю., 108  
Жмерик В.Н., 135  
Жуков А.А., 226  
Жуков П.А., 147  
Жураковская Г.П., 50

– З –

Завадцев А.А., 197  
Завадцев Д.А., 197  
Завьялов М.А., 48, 216  
Зайцев С.М., 62  
Залужный И.А., 163  
Замулаева И.А., 74, 75  
Захаркив А.Ю., 50  
Захарченко А.С., 248  
Захарченко Р.В., 136  
Заярный Д.А., 184, 186  
Звягинцев В.Л., 196, 209  
Зебрев Г.И., 104, 106, 120,  
121  
Зеленкова М.В., 60  
Зеленцов Н.А., 154  
Земцов К.С., 106  
Зибров М.С., 142  
Зибров С.А., 183  
Зиятдинова А.В., 200  
Злоказов Е.Ю., 191  
Знаменский И.А., 47  
Зобов М.М., 198  
Зозуля А.В., 157, 163  
Зубавичус Я.В., 165, 166  
Зуев В.В., 163

– И –

Иванов А.А., 176  
Иванов В.А., 213  
Иванов В.Г., 164  
Иванов В.И., 133  
Иванов В.П., 126  
Иванов Е.М., 104  
Иванов И.А., 103  
Иванов И.О., 256  
Иванов М.И., 147  
Иванов П.Ю., 108  
Иванов С.В., 135  
Иванова А.В., 114, 115  
Иванова Ю.С., 264  
Иванушкин Е.Ф., 65  
Игашов С.Ю., 230  
Игнатъев Н.Г., 147  
Ижевский П.В., 54  
Ильина К.Б., 164  
Ильинский А.В., 196  
Ильичев И.В., 143  
Ильющенко И.И., 86  
Ионин А.А., 184, 186, 187, 189  
Ионов А.М., 158, 159, 171, 178  
Исаев Л.К., 59  
Исайкина О.Ю., 44

– К –

Кабанова В.А., 165  
Кадашев В.И., 58  
Казадаев В.Ю., 62  
Казиев А.В., 142, 143  
Казиева Т.В., 186  
Калаев М.Е., 140  
Калашников О.А., 93  
Калимуллин Д.З., 215  
Каминский В.И., 196, 206  
Канонович П.С., 72  
Канцеров В.А., 48

Каньшин И.А., 126  
Каргин Н.И., 134, 135, 137  
Катунин Ю.В., 83  
Кашурников В.А., 165, 166  
Кашурникова О.В., 166  
Кащеев В.А., 253  
Кащенко А.А., 237  
Кащенко И.С., 235  
Кельвич С.А., 222  
Киняевский И.О., 187, 189  
Киреев С.В., 191, 192  
Кладко С.Г., 130  
Клачков А.П., 205  
Клейнер А.Р., 45  
Климанов В.А., 42  
Климанов С.Г., 258  
Климачев Ю.М., 187, 189  
Климашин В.П., 207  
Клочихин В.Л., 237, 244  
Кобыляцкий А.В., 84  
Ковылина М.В., 61, 62  
Кожухов М.В., 119, 120  
Козин Р.Г. 268  
Козленко Д.П., 154  
Козлов А.Н., 183  
Козлов А.Ю., 187, 189  
Козловский В.И., 133, 135  
Козловский Д.В., 116  
Козырев А.А., 235  
Козюков А.Е., 104  
Козюкова О.С., 102  
Кокарев С.А., 167  
Коленцова О.С., 134, 135  
Колесов В.В., 272  
Колодко Д.В., 143, 149  
Коломейцев Е.Э., 226, 227  
Коломиец А.А., 197  
Коломийцев Г.В., 230  
Коляскин А.Д., 217  
Комлев А.А., 108  
Комлева В.А., 107

- Кондратьев К.А., 229  
Кондрашов А.А., 192  
Коннов А.В., 212  
Коновалов Ю.В., 270, 271  
Коновец В.П., 58  
Константинов М.В., 191  
Кореневская С.Н., 64  
Кореневский Н.А., 64  
Корнеев Ф., 223  
Коровчук О.Н., 75, 78  
Королев В.С., 104  
Королькова А.В., 253, 257  
Коромыслов А.Л., 132  
Коротков В.С., 167  
Коротков К.Е., 147  
Космачевская О.В., 65, 66  
Космынцева А.В., 52  
Коссович Е., 246, 247  
Костюков И.Ю., 221  
Костюшин В.А., 150  
Котков А.А., 187, 189  
Котковский Г.Е., 185, 188  
Котов С.Ю., 73  
Котюков М.М., 260  
Кочанов М.Б., 248  
Кочеткова И.А., 269  
Кошкин Д.С., 185  
Крапива П.С., 147  
Красавин А.В., 165  
Краснокутский Р.А., 217  
Красноселов В.А., 263  
Крастелев Е.Г., 128, 129  
Крашевская Г.В., 141, 142  
Кривобок В.С., 168  
Кривошеев А.В., 239, 243  
Крохин О.Н., 132  
Круглов В.С., 155  
Крутских Н.А., 170  
Крылов М.К., 127  
Крянев А.В., 256, 257, 258  
Ксёиз А.С., 159  
Кудасов Ю.Б., 168, 169  
Кудеяров Ю.А., 60  
Кудинов В.В., 206  
Кудряшов Н.А., 240, 241, 242,  
245, 246, 247, 248, 249, 250,  
251  
Кудряшов С.И., 184, 186  
Кузнецов А.В., 161, 176  
Кузнецов А.Г., 90  
Кузнецов А.П., 182, 185, 186  
Кузнецов А.Ю., 140  
Кузовлев А.И., 227  
Кузьмин И.А., 207  
Куйбида Р.П., 200  
Кукса Ю.И., 44  
Кулевой Т.В., 200  
Кулешов В.М., 224  
Кулик Э.С., 165  
Куликов А.Н., 242  
Куликов Д.А., 241  
Кулябина Е.В., 59, 60  
Кулябина Т.В., 59  
Кулябов Д.С., 253, 257, 259  
Куратов С.Е., 229  
Курилов А.Д., 255  
Курсова Л.В., 78  
Курта Р.П., 157, 163  
Кутуков А.А., 250  
Кухто В.А., 216  
Кучерявый С.И., 155
- Л –
- Лабeko Н.Н., 45  
Лаврова А.А., 58  
Лалаян М.В., 202  
Ларин С.В., 192  
Латышев А.В., 255, 264  
Лебедев А.А., 108  
Лебедева И.С., 46, 72  
Левин К.Э., 82

Левченко А.В., 161  
Легчиков Д.К., 272  
Лебянов А.Д., 44  
Ленский В.А., 269  
Леонтьев Л.И., 121  
Лизунова М.А., 269  
Лизякин Г.Д., 146  
Липатов Д.Ю., 103, 110  
Липунов Н.М., 74  
Лобанова И.И., 176  
Лобач А.С., 184  
Лозовик Ю.Е., 231  
Ломоносова Т.А., 223  
Лосев С.С., 189, 190  
Лоскутов И.О., 98  
Лотоцкий А.П., 125, 127  
Лыков А.Н., 156  
Лымарь А.В., 169, 178, 179  
Львов Е.И., 125  
Львов Н.Е., 125

– М –

Макаренко С.А., 74  
Макаров И.В., 168  
Макаров С.В., 184, 186  
Макарова Н.В., 109  
Макин В.С., 262  
Макин Р.С., 261, 262, 263  
Максимова А.Н., 166  
Маланкин Е.З., 84  
Малкин Б.З., 159  
Малкин Е.К., 103, 109, 111  
Малых М.Д., 239  
Мамедов Н.В., 149  
Мамедова Г.Ш., 192  
Мандрик П.А., 243  
Маринюк В.В., 229  
Марков В.Г., 126  
Маркушов Ю.В., 194  
Мартюк П.А., 134

Марфин В.А., 93, 98  
Марченкова М.А., 164  
Масленников В.В., 269  
Масленников С.П., 130  
Маслов Д.А., 168, 169  
Маслов К.А., 227  
Матуско М.А., 110, 111  
Матчук О.Н., 74, 75  
Мациевский С.В., 197  
Мацнев Н.П., 163  
Машко С.В., 76  
Машина С.Н., 155  
Мейер Я.-М., 157  
Мелехов А.П., 147  
Мелихов С.А., 58  
Менахин Л.П., 126  
Менушенков А.П., 154, 157,  
160, 161, 163, 164, 165, 166,  
171, 174, 175, 176  
Меньщиков П.Е., 46  
Метелкин И.О., 88  
Мещерякова Е.А., 142  
Минеев Н.А., 156, 170, 174  
Миннебаев С.В., 136, 137  
Мирмельштейн А.В., 170  
Миронов А.А., 221, 224, 228  
Миронов А.С., 110  
Мирошниченко А.Г., 113  
Мисюченко Н.И., 243  
Митрофанов А.А., 196  
Митрясов А.А., 214  
Михайлов Б.П., 170  
Михайлова А.Б., 170  
Михайлюк А.В., 182  
Михеев Д.А., 212  
Могиленец Н.Н., 42  
Можжиль Р.Н., 171  
Моисеев А.Н., 42  
Молчанова А.Д., 171  
Морозов А.А., 133  
Морозов А.О., 214, 215, 216

Морозов М.Ю., 133  
Морозов О.А., 214, 215  
Морозов О.В., 177  
Морозов Ю.А., 133  
Москаленко И.Н., 147  
Московцев М.В., 45  
Мур В.Д., 224  
Мурзаков М.А., 193  
Мурлиева Ж.Х., 172, 173

– Н –

Навольнев С.О., 69  
Нагорнов О.В., 271  
Назаренко А.Е., 108  
Назарова Г.Н., 88, 89  
Нарожный Н.Б., 221, 224  
Нарциссов Я.Р., 73  
Насакина Е.О., 170  
Насыбуллина Э.И., 65, 66  
Неверов В.Н., 134  
Некрасов П.В., 93, 95, 98  
Немковский К.С., 154  
Непомнящий О.Н., 207  
Нестеренко А.О., 147  
Нестерович А.В., 196, 205  
Нечаев Д.В., 135  
Никитаев В.Г., 58, 61, 62, 65,  
66, 68  
Никифоров А.Ю., 92, 95  
Никифорова М.Ю., 118  
Новиков А.А., 99  
Новиков А.С., 46  
Новиков И.К., 172  
Норманов Д.Д., 84, 85  
Нугис В.Ю., 75  
Нуриев А.В., 133

– О –

Облов К.Ю., 114, 115

Обронов И.В., 192  
Овечкин А.А., 220, 221  
Огинов А.В., 124  
Одуло И.П., 188  
Ожегин Т.Ю., 99  
Озеров И.В., 77  
Олещенко В.А., 132  
Орешков П.Н., 115  
Осипов А.Н., 77  
Осипов М.А., 174  
Островский Б.И., 163  
Ошурко В.Б., 175, 177

– П –

Павлов В.А., 207  
Павлов Ю.С., 48, 207  
Палчаев Д.К., 172, 173  
Панек Р., 152  
Паркина Ф.В., 53  
Парыгин П.П., 88  
Пашкович И.И., 48  
Певцов В.Ф., 132  
Перебейнос А.В., 107  
Першенков В.С., 103  
Першин С.М., 177  
Петин В.Г., 50  
Петраков А.В., 54, 55  
Петренко В.В., 198  
Петров А.Г., 91, 97  
Петров Б.А., 250  
Петров В.М., 72  
Петров К.А., 82  
Петрова Э., 191  
Петровский В.Н., 193  
Петросянец К.О., 119, 120  
Петрунин В.Ф., 166  
Петрушин И.С., 154  
Петухов А., 157  
Печенкин А.А., 91, 99



Печенкина Д.В., 96  
Пинегин А.А., 258  
Пирог В.А., 185  
Пирогов Ю.А., 212  
Писарев А.А., 142  
Писарев Р.В., 171  
Пластун А.С., 197  
Платонов В.В., 168  
Плотников С.В., 199  
Подвязников Д.А., 76  
Подлепецкий Б.И., 118  
Подоляко Ф.С., 145  
Подымова Т.В., 253  
Покровский С.В., 174  
Польский В.И., 193  
Поляков Е.В., 62, 67  
Полянин А.Д., 234  
Пономаренко А.Г., 205  
Попов В.В., 165, 166  
Попов В.Д., 144  
Попов Г.В., 128  
Попов Д.А., 119  
Попов Е.Я., 168  
Попов Ю.М., 132  
Попова Е.В., 88  
Попова М.Н., 159  
Попруженко С.В., 228  
Порубов А.В., 236  
Посеницкий Е.А., 253  
Прилепская Е.А., 61, 62  
Присталова Ю.А., 63  
Пришвицын А.С., 141  
Прокопенко А.В., 48, 214, 215,  
216, 217  
Прокопчук А.А., 43  
Пронин И.Н., 45  
Проничев А.Н., 58, 59, 61, 62,  
66, 67  
Пронкевич М.Д., 50  
Проскин С.С., 207  
Протасов Д.Е., 190

Протасов Е.А., 188, 190  
Протасова С.Г., 158  
Протопопов Г.А., 102  
Прохорович Д.Е., 125, 126  
Пручкина А.А., 173  
Пустовалова М.В., 77  
Пушкарь Д.Ю., 61, 62  
Пятенко В.С., 77

– Р –

Рабаданов М.Х., 172, 173  
Рагулин Ю.А., 78  
Раевский И.Ф., 147, 151  
Разова Л.В., 76  
Разумова К.В., 64  
Расулов А.О., 58  
Ращиков В.И., 201  
Рискина А., 255  
Рогожин К.В., 213  
Рогозкин Д.Б., 227, 229  
Родин А.С., 112, 113, 127  
Родионов А.А., 124  
Розанов Н.Е., 202, 203  
Романов Р.И., 163, 174  
Ромашкина Е.И., 49  
Рубина С.С., 76  
Рудак Л.В., 243  
Руднев И.А., 156, 166, 174,  
175  
Румянцева В.Д., 171  
Рыбаков И.В., 209  
Рыжкова А.В., 188, 190  
Рыжов А.А., 258  
Рыжук Р.В., 136, 137  
Рычков А.В., 213  
Рябов П.Н., 249, 250  
Рябцев С.А., 142

– С –

- Саваторова В., 246, 247  
Саввин В.Л., 212  
Савёлов А.С., 147, 148, 150  
Савёлова Т.И., 261, 263, 264  
Савельев А.П., 134  
Савин Е.А., 197  
Савинов В.Д., 174  
Савченков А.В., 186  
Савченко Д.В., 90, 91, 94  
Садилкин А.Г., 126  
Салахутдинов Г.Х., 148  
Сальников И.В., 78  
Самарин А.Н., 176  
Самарин Н.А., 176  
Самбурский Л.М., 120  
Самойленков С.В., 175  
Самотаев Н.Н., 114, 115  
Самохин А.А., 146  
Самыгина В.Р., 164  
Санников И.И., 161, 176  
Сапроненков Б.М., 65  
Саранцев С.А., 150, 151, 152  
Сарапульцева Е.И., 63  
Саратовских М.С., 208  
Сарычева Н.О., 111  
Сафонов Д.А., 187  
Сафонов И.В., 230  
Сафонов Р., 246  
Сафошкин А.С., 155  
Светлов Е.В., 147  
Свистунова О.И., 177  
Севастьянов А.Л., 260  
Севастьянов Л.А., 253, 254, 259, 260  
Северюхин А.П., 220, 225  
Севостьянов Д.И., 189, 190  
Седин А.А., 128, 129  
Селегей В.В., 67  
Сельчук В.Ю., 58, 68  
Семено А.В., 176  
Семенов С.С., 140  
Семенова Н.А., 46, 72  
Сенюков В.А., 206  
Серёжкин А.А., 229  
Сибирмовский Ю.Д., 134  
Сидоренко Д.С., 213  
Сидоров В.А., 126  
Симаков А.Б., 116  
Симаков А.С., 133  
Симоненко А.Н., 215  
Синельников Д.Н., 149  
Синельщиков Д.И., 240, 251  
Сирота Я.И., 43, 52  
Ситников А.Л., 200  
Скачков М.В., 245  
Скоробогатов П.К., 94, 97  
Сланина С.В., 79  
Слива Д.Е., 256  
Случанко Н.Е., 161, 176  
Сметанина Н.М., 77  
Смирнов А.А., 158, 178  
Смирнов В.В., 206  
Смирнов В.П., 146  
Смирнов К.Д., 216, 217  
Смирнова М.О., 46  
Смирнова С.Г., 74  
Смолин А.А., 95, 97  
Собенин Н.П., 196, 197, 198  
Соболевский И.В., 192  
Согоян А.В., 92, 94  
Соколовский С.С., 44  
Соловьев С.А., 114, 115  
Соловьев А.Ю., 115  
Соловьёва О.Е., 268  
Соловьянчик А.А., 68  
Соломатин А.В., 112, 113  
Сорокин В.Г., 234  
Сорокин И.А., 144, 145  
Сорокоумов Г.С., 93  
Сосновцев В.В., 47, 48

Сотсков Д.И., 89  
Станиславчук Т.Н., 159  
Стариков Р.С., 191  
Старков С.О., 271, 272  
Стародубцева Л.В., 64  
Стенин В.Я., 82, 83  
Степаненко А.А., 144  
Степаненко В.Ф., 50  
Степанов Д.С., 130  
Степанов П.В., 83  
Стёпин Е.В., 265  
Столбикова А.Н., 202  
Стоякин В.В., 157  
Стриханов М.Н., 134  
Субботина И.А., 147  
Суганеев С.В., 191  
Сульянова Е.А., 163  
Сурдин О.М., 168  
Суханова Л.А., 128, 129  
Сушенок Е.О., 225  
Сушко Д.В., 114, 115  
Сыпин В.Е., 192  
Сычугов В.В., 169, 178, 179

– Т –

Талонов А., 246, 247  
Татарина Н.В., 201  
Таюрский А.А., 252  
Телец В.А., 89  
Тепляков А.В., 270  
Терещенко Е.Ю., 164  
Тетерев А.В., 243, 244  
Тимашев С.Ф., 256  
Тимофеева А.Я., 66  
Тихонов Ю.Н., 116  
Тихончук В., 223  
Тойгуба А.Л., 171  
Томышев А.С., 72  
Тоноян А.С., 45  
Топорков С.Е., 202

Топунов А.Ф., 65, 66  
Требух В.П., 214, 215  
Третьякова В.В., 48  
Третьякова Т.Е., 197  
Трощев В.Е., 245  
Трухин А.А., 52  
Тугаринов С.Н., 186  
Тулупов Б.А., 222  
Тулский В.А., 228  
Тумаркин А.В., 142, 143  
Тункин В.Г., 132  
Турчин В.И., 199  
Тыртышный В.А., 194  
Тычкин И.С., 51  
Тютюнник А.А., 260

– У –

Ублинский М.А., 46  
Ублинский М.В., 72  
Уланова А.В., 92, 94, 95  
Улин С.Е., 46  
Ульянова О.О., 251  
Урин М.Г., 222, 230  
Усачев Н.А., 88, 89  
Ускалова Д.В., 63  
Усманов Р.А., 146

– Ф –

Фадеева Л.М., 45  
Фальков А.Л., 220, 221  
Фараджева М.П., 172, 173  
Федоров А.Н., 175, 177  
Федотов А.М., 221, 224  
Федотов Ю.А., 53, 54  
Федущак В.Ф., 128  
Федяев Ю.С., 54  
Федянина А.А., 42  
Фелицын В.А., 112, 113  
Филипов В.Б., 161

Филиппов А.В., 168  
Филиппов Д.Е., 47, 48  
Филиппов Е.Д., 147  
Филиппович В.П., 48, 216  
Филист С.А., 64  
Фишер Л.М., 124  
Фомин Д.К., 52  
Фоминский В.Ю., 174

– X –

Хавличек Й., 152  
Харитонов В.А., 82  
Харитонов И.А., 120  
Харьков М.М., 143  
Хвостунов И.К., 75, 77, 78  
Хилько М.В., 149  
Хлестков Ю.А., 128, 129  
Ходаченко Г.В., 142, 143, 149  
Хрипина И.И., 64  
Хронова О., 152  
Худяков Д.В., 183, 184

– Ц –

Цвентух М.М., 141  
Цветков А.Ю., 156  
Цегельник В.В., 238  
Циркунов П.Т., 140  
Цыбин С.А., 93  
Цыганков Е.А., 183  
Цыгвинцев И.П., 228

– Ч –

Чалых Б.Б., 200  
Чаушанский С.А., 51  
Чеботарев А.В., 130  
Чекмазов С.В., 158, 178  
Ченцов С.И., 168, 173  
Чепиков В.Н., 175

Черников Р.В., 166  
Чернопицкий М.А., 168, 173  
Чернышева О.В., 164  
Черняк М.Е., 95  
Чешев Е.А., 132  
Чижов П.А., 182  
Чистяков А.А., 185, 188  
Чихачев А.С., 141, 208  
Чмыхов М.А., 247  
Чмыхова Н.А., 252  
Чубунов П.А., 105, 107  
Чугайнова А.П., 239  
Чуков Г.В., 89, 90  
Чумаков А.И., 82, 93, 99  
Чурин С.В., 127, 130  
Чуркин О.А., 176

– Ш –

Шабалин А.Г., 157, 163  
Шабалова И.П., 62  
Шабанов Н.С., 173  
Шавкин С.В., 155, 169, 177,  
179  
Шагурин И.И., 108, 117  
Шалдыбина Д.М., 262  
Шалтаева Ю.Р., 109, 111  
Шамрай В.Ф., 170  
Шаргатов В.А., 239, 243  
Шаульский Д.В., 191  
Шашков Я.В., 196, 198  
Швандт Й., 88  
Шведов С.В., 95  
Швецов-Шиловский И.И., 95  
Шебанов С.М., 172  
Шеберстов С.В., 229  
Шевченко П.А., 117  
Шевченко С.А., 268  
Шейно И.Н., 53, 54  
Шелушина Н.Г., 134  
Шепель Н.Н., 75, 78

Шеханов С.С., 228  
Шешегова Е.В., 73  
Шибает И.Г., 44  
Шибекко Е.В., 244  
Шиканов А.Е., 196  
Шиканов Е.А., 196  
Шильников К.Е., 246  
Шишкин И.В., 245  
Шишкин С.Р., 118  
Шишпор И.В., 63  
Школьников Э.Я., 130  
Шломо Ш., 222  
Шмаков С.Б., 94  
Шнырёв С.Л., 191, 192  
Шостаченко С.А., 136  
Шпаков К.В., 124  
Шпрунг М., 157, 163  
Штоцкий Ю.В., 44, 47, 52  
Шубный А.Г., 73  
Шувалов Д.Б., 169, 178, 179  
Шумаев К.Б., 65, 66  
Шумихин В.В., 84  
Шуплецов М.С., 76  
Шуренков В.В., 122  
Шустов А.Е., 46  
Шуткин А.Н., 64  
Шутов А.А., 238

– **Щ** –

Щедрин И.С., 207  
Щербаков Г.Н., 213, 214  
Щербаков О.А., 104  
Цигорев Л.А., 117  
Цитов Н.Н., 127, 130

– **Э** –

Эйдельман Ю.А., 73, 77, 78,  
79

Эмиров Р.М., 172, 173

– **Ю** –

Юрков Д.И., 130  
Юровских В.И., 186

– **Я** –

Яковлев В.П., 183, 226  
Яковлев С.А., 105, 107  
Якунин М.В., 134  
Яненко А.В., 90, 92, 97, 99  
Ярославцев А.А., 154, 160,  
161, 166  
Ястребов А.Т., 107

– **А** –

Arodzero A.A., 48

– **В** –

Baudelet F., 160, 161  
Besson D., 47

– **Н** –

Nataf L., 160, 161





