

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

Современные проблемы физики и технологий

VI Международная молодежная научная школа-конференция,
посвященная 75-летию НИЯУ МИФИ
и 95-летию академика Н.Г. Басова

17–21 апреля 2017 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 2

МОСКВА

УДК 53+62+61
ББК 22.3+3+51
М 43

Современные проблемы физики и технологий. VI-я Международная молодежная научная школа-конференция, 17–21 апреля 2017 г.: Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2017.– 360 с.

Международная молодежная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий» в 2017 году посвящена 75-летию Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и 95-летию академика Н.Г. Басова. Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях.

Сборник тезисов докладов VI Международной молодёжной научной школы объединил работы школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VI Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2360-5

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017

О Международной молодёжной научной школе-конференции

Международные молодежные научные школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий» проходят на базе НИЯУ МИФИ и ФИАН ежегодно. Целью научной школы является привлечение молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников к обсуждению актуальных научных проблем современной фундаментальной и прикладной физики, ядерных и физических технологий, повышение квалификации будущих исследователей и привлечение молодых кадров в науку и образование. Лекторами школ приглашаются ведущие в мире ученые по передовым направлениям физики, технологии, техники и образования. Формат школы предусматривает доклады молодых ученых на устной и стендовой секциях. Сборник тезисов докладов VI Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках VI Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика, Лазерная физика, физика твердого тела, оптика и физика плазмы, IT – технологии, интеллектуальные системы, кибербезопасность, Инженерно-физические технологии для биомедицины, Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии, а также доклады на английском языке. Международная молодёжная научная школа-конференция «Современные проблемы физики и технологий» в 2017 году посвящена 75-летию Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и 95-летию академика Н.Г. Басова.

Место проведения

VI Международная молодёжная научная школа-конференция пройдет с 17 по 21 апреля 2017 года в Москве на базе Национального исследовательского ядерного университета МИФИ и Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Рабочий язык школы: русский и английский

Организаторы международной молодёжной научной школы-конференции

- Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
- Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Сопредседатели программного комитета

- Стриханов Михаил Николаевич – ректор НИЯУ МИФИ
- Крохин Олег Николаевич – академик РАН, научный руководитель Высшей школы физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

Программный комитет:

- Карцев П.Ф. (НИЯУ МИФИ) – ответственный секретарь
- Барбашина Н.С. (НИЯУ МИФИ)
- Весна Е.Б. (НИЯУ МИФИ)
- Кабашин А.В. (CNRS, Франция)
- Калинин Б.А. (НИЯУ МИФИ)
- Каргин Н.И. (НИЯУ МИФИ)
- Касумова Р.Д. (БГУ, Азербайджан)
- Комочкина Е.А. (НИЯУ МИФИ)
- Конов В.И. (ИОФАН)
- Котова С.П. (СФ ФИАН)
- Кузнецов А.П. (НИЯУ МИФИ)
- Кульчин Ю.Н. (ДВО РАН, НИЯУ МИФИ)
- Курнаев В.А. (НИЯУ МИФИ)
- Леонова Н.М. (НИЯУ МИФИ)
- Мисюрин С.Ю. (НИЯУ МИФИ)
- Никитаев В.Г. (НИЯУ МИФИ)

Председатель организационного комитета

- Завестовская Ирина Николаевна – директор Инженерно-физического института биомедицины НИЯУ МИФИ
- Яшин Игорь Иванович – и.о. декана ВШФ им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ

Организационный комитет

- Ананская А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН) – ответственный секретарь
- Алещенко Ю.А. (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
- Алхимова М.А. (НИЯУ МИФИ)
- Вишиванюк А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Григорьева М.С. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Евсович А.В. (НИЯУ МИФИ)
- Казакевич В.С. (СФ ФИАН)
- Карпов Н.В. (НИЯУ МИФИ)
- Козловская Н.А. (Кубанский ГУ)
- Котова Н.Е. (CGG, Великобритания, НИЯУ МИФИ)
- Малов А.Н. (ИГМУ)
- Парфенов А.В. (LC&MO «Лазерные технологии», США)
- Родионова О.В. (НИЯУ МИФИ)
- Фроня А.А. (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
- Яценко Л.П. (ИФ НАН, Украина)

Содержание

Инженерно-физические технологии для биомедицины

ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ <i>Абрамова Е.Н., Хорт А.М., Яковенко А.Г., Корнилова Д.С., Слипченко Е.А., Прохоров Д.И.</i>	24
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА <i>Алыкова А.Ф., Тимошенко В.Ю.</i>	26
МЕТОД СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТАФИЛОКОККОВОЙ ИНФЕКЦИИ В НЁБНЫХ МИНДАЛИНАХ <i>Асадова А.А., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Зарубина Е.Г., Буренок Е.С., Итяков Ю.Д.</i>	29
ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО ИНФРАКРАСНОГО ФОТОСЕНСЕБИЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ БАКТЕРИОХЛОРИНА <i>Ахлюстина Е.В., Меерович Г.А., Филоненко Е.В., Лощенов В.Б.</i>	31
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА <i>Богатырь В. Г., Вайнер Ю.Г.</i>	33
ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ Т-ЛИМФОЦИТОВ МЕТОДОМ КОГЕРЕНТНОЙ ФАЗОВОЙ МИКРОСКОПИИ <i>Болотова А.А., Звержховский В.Д., Вышенская Т.В., Кретушев А.В., Евдокимов А.А.</i>	34
МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ЭНДОГЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ В ЖИВЫХ КЛЕТКАХ МЕТОДОМ FLIM <i>Борулева Е. А. Kalinina S.</i>	36

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНАЦИИ НА ФОС- ФОРСОДЕРЖАЩИЕ МЕТАБОЛИТЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕ- ЛОВЕКА	
<i>Васюкова О.Р., Манжурцев А.В., Сергеева В.В. Семенова Н.А., Ахадов Т.А.</i>	38
ПОИСК СВЯЗАННОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ АБСАНСНЫХ РАЗРЯДОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОЙ КОР- РЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ	
<i>Грищенко А.А., Кузнецова Г.Д., Сысов И.В.</i>	40
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО ФОТОСЕНСИ- БИЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ БОРИРОВАННОГО ХЛОРИНА Е6 ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ	
<i>Демьянович А.В., Каплан М.А., Бурмистрова Н.В.</i>	42
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ТРАНСКРАНИ- АЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ	
<i>Ефремов В.В., Королев М.Ю.</i>	44
ОСОБЕННОСТИ РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ СЕРЕБРЯНЫХ ПЛЕНOK РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРО- ВАНИЯ АЛЬБУМИНА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО СЫВОРОТОЧНОГО (ПРИ СЕПСИСЕ)	
<i>Зюбин А.Ю., Константинова Е.И., Матвеева К.И., Слежкин В.А., Брюханов В.В.</i>	46
ВЛИЯНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОГО СИЛИКОНА	
<i>Иванова Е.В.</i>	48
ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПО ДАН- НЫМ ^1H МРС	
<i>Иванцова А.С., Меньщиков П.Е., Семенова Н.А., Ахадов Т.А.</i>	50
ЭФФЕКТЫ СИНЕРГИЗМА ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОЗ- ДЕЙСТВИЯХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В ОНКОЛОГИИ	
<i>Комарова Л.Н., Ляпунова Е.Р., Амосова Н.В.</i>	52

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПРИМЕНЕНИИ ИНГИБИТОРОВ NOS С ГИПОКСИЧЕСКИМИ ЦИТОТОКСИКАНТАМИ <i>Корнеева Т.С., Филимонова М.В., Самсонова А.С., Чеснакова Е.А., Макаrchук В.М., Комарова Л.Н.</i>	54
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ DFT/V3LYP ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МОНОМЕРОВ МОНОГИДРОКСИАЗАУРАЦИЛОВ <i>Корольков Д.С., Элькин М.Д., Алыкова О.М., Смирнов В.В.</i>	56
ОПТИМИЗАЦИЯ <i>IN VIVO</i> МЕТОДА ³¹ P МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ <i>Манжурицев А.В., Ахадов Т.А., Семенова Н.А.</i>	59
ИМПУЛЬСНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ MEGA-PRESS В ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕЙРОДЕДИАТОРНОГО СТАТУСА У ПАЦИЕНТОВ С ЛЧМТ <i>IN VIVO</i> <i>Меньшиков П.Е., Ахадов Т.А., Семенова Н.А.</i>	61
МАГНИТНЫЕ ВИХРИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ НАНОАГРЕВАТЕЛИ В МАГНИТНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ <i>Несмеянов М.С., Эпштейн Н.Б., Усов Н.А.</i>	63
ИЗМЕРЕНИЕ БИОКИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ I-131 ПРИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ БОЛЬНЫХ ТИРЕОТОКСИКОЗОМ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <i>Никитенков А.П., Русанова А.Н., Гарбузов П.И., Ефименко И.А.</i>	65
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ ОСТРОГО ЛИМФОБЛАСТНОГО ЛЕЙКОЗА <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Дмитриева В.В., Мोजенкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.</i>	67
НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К ВНЕШНИМ ФИЗИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ <i>Потапенков К.В., Ким В.П., Кокшаров Ю.А., Ярославов А.А., Сыба-чин А.В., Таранов И.В., Вдовин В.А., Черепенин В.А., Гуляев Ю.В., Хомутов Г.Б.</i>	69

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОКСОРУБИЦИНА НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА	
<i>Ревкова В.А., Пугачева М.Н., Комарова Л.Н.</i>	71
ПОЛУЧЕНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ	
<i>Рутенберг В.Д.</i>	73
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОГО СВАРНОГО ШВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИПОЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И БЕЛКА	
<i>Рябкин Д.И., Римшан И.Б., Герасименко А.Ю.</i>	75
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕР ЛЕЙКОЦИТОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ	
<i>Садова А.А., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Поляков Е.В., Дмитриева В.В., Моженкова А.В., Тупицын Н.Н., Френкель М.А.</i>	77
БИО-МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ОТРАВЛЕНИЯ УГАРНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
<i>Таболитч А.А., Асимов М.М.</i>	79
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ И КАРБИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИЕЙ	
<i>Умбеталиева К.Р., Харин А.Ю., Тимошенко В.Ю., Кабашин А.В., Завестовская И.Н.</i>	81
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ АНОДОВ АППАРАТА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ	
<i>Федотов И.В., Севрюков О.Н., Сучков А.Н., Калинин Б.А., Иванников А.А., Немчинов Ю.М.</i>	83
ОПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОБРАБОТКИ	
<i>Фролов О.О., Тимченко П.Е., Тимченко Е.В., Волова Л.Т., Долгушкин Д.А., Мещеряков В.Д.</i>	85

СОДЕРЖАНИЕ

ИК-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЬБУМИНА С Fe (III)	
<i>Хисамова Г.И., Троценко И.В., Плотникова Л.В., Успенская М.В., Поляничко А.М., Гарифуллин А.Д., Волошин С.В.</i>	87
СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛАПАНОВ СЕРДЦА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИХ ДЕЦЕЛЛЮЛЯРИЗАЦИИ	
<i>Шалковская П.Ю., Тимченко Е.В., Тимченко П.Е., Волова Л.Т., Долгушкин Д.А., Трапезников Д.С.</i>	88
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТКАНОГО ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНСУЛИНОСОДЕРЖАЩЕГО БИОСОВМЕСТИМОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ	
<i>Шарииков Р.В.</i>	90
ВЛИЯНИЕ МАГНИТО-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА УДЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ АНСАМБЛЕМ КЛАСТЕРОВ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ	
<i>Шершнев Р.В., Ермаков С.В., Усов Н.А.</i>	92
РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИИ ГРЕБЕНЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ	
<i>Яковлев И.А., Акулиничев С.В.</i>	94

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ	
<i>Антонова А.М., Каплин В.А.</i>	98
АВТОНОМНОЕ ПИТАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ – КАК ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ	
<i>Ахметова А.Р., Муравлев В.К.</i>	100
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ ТРАНСМУТАЦИИ В ИССЛЕДОВАНИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЙ ТИПА MnS В СТАЛЯХ	
<i>Белозерова А.Р., Белозеров С.В., Дружинин К.П., Щеколдин В.В.</i>	105

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДА ГРАФЕНА С НАНОЧАСТИЦАМИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Бурицева Е.К., Неустроев Е.П., Ноговицына М.В.</i>	107
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАКАЛИВАНИЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТОК ТУРБИНЫ <i>Володин В.С., Толоконский А.О.</i>	109
МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ <i>Гавриков А.А., Смирнов В.И., Шорин А.М.</i>	111
ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕНТ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Mn_2FeX МЕТОДОМ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ <i>Гавриков И.С., Карпенков Д.Ю., Лянге М.В., Середина М.А., Ховайло В.В.</i>	113
ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК НИХРОМА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ <i>Горячко А.И., Бузько В.Ю., Мироненко А.А., Васютина М.П.</i>	115
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ <i>Гусев А.В.</i>	117
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА С УСИЛИТЕЛЕМ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ <i>Довгополая Е.А., Масленников В.В.</i>	119
ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРЕ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДЛОЖКОЙ <i>Жиленков А.А.</i>	122
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ ПОЛУГЕЙСЛЕРА СОСТАВА $FeNb_{0,8}Ti_{0,2}Sb$ <i>Зуева В.Ю., Воронин А.И., Ховайло В.В.</i>	124
ФОНОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК <i>Иванова В. В., Шахматов В.С.</i>	126
КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ <i>Игнатьев В.С.</i>	128

СОДЕРЖАНИЕ

ФАЗОВАЯ ДИНАМИКА В АНСАМБЛЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ВИХРЕВЫХ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ <i>Каткова О.С., Сафин А.Р., Капранов М.В., Удалов Н.Н.</i>	130
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ InSe <i>Кибирев И.А., Матецкий А.В., Зотов А.В., Саранин А.А.</i>	132
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СЕНСОРОВ ГАЗА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНОГО НАНОКОМПОЗИТА Со/ПАН <i>Коноваленко С.П., Бедная Т.А.</i>	134
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НОВЫХ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФЕНА, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ЦЕПОЧЕК КАРБИНА <i>Коченгин А.Е., Беленков Е.А.</i>	136
ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ <i>Күлешова А.В., Губин С.А., Маклашова И.В., Закартилова Е.И.</i>	138
РАСЧЕТ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ С МАГНИТОЖИДКОСТНЫМ СЕНСОРОМ <i>Максимова Е.А., Грицюк С.Н.</i>	141
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ СТАННАТА КАЛЬЦИЯ, АТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Марьина У.А., Марьин А.П., Воробьев В.А.</i>	143
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОСЛОЙНЫХ АВТОЭМИССИОННЫХ ЯЧЕЕК ПЛАНАРНОГО ТИПА <i>Масленникова И.С., Комаров Д.А., Масленников С.П.</i>	145
sd-ЭЛЕКТРОННЫЙ СПИНОВЫЙ РЕЗОНАНС В ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ <i>Некрасов М.А., Сафин А.Р., Вилков Е.А., Чигарев С.Г.</i>	147
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОБАРЬЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР <i>Панченко В.А., Мустафаев Г.А., Черкесова Н.В., Мустафаев А.Г.</i>	149
КВАНТОВАЯ ЯМА НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА <i>Пех П.Л., Силин А.П.</i>	151

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ W-ДИАПАЗОНА <i>Плоских А.Э., Каретникова Т.А.</i>	153
СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИК-УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗ- ЛУЧЕНИЯ <i>Полохин А.А., Герасименко А.Ю., Дудин А.А., Ичкитидзе Л.П., Кицюк Е.П., Орлов А.П., Павлов А.А., Шаман Ю.П.</i>	154
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ НАНОСПУТНИК КЛАССА CanSat ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ <i>Саечников И.В., Саечников А.В.</i>	156
ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАССИВОВ СО НАНОПРОВОЛОК ОТ ФОРМЫ СИГНАЛА И ЧАСТОТЫ ТОКА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ <i>Самардак А. Ю., Самардак А. С., Чеботкевич Л. А., F. Nasirpouri</i>	158
МАГНИТНЫЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА И ЭФФЕКТ ХОЛ- ЛА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛЕНТ СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА $Fe_{43.5}Mn_{34}Al_{15}Ni_{7.5}$ <i>Середина М.А., Лянге М.В., Карпенков Д.Ю., Ховайло В.В.</i>	160
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНО- СТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА <i>Скоморохов А.А., Маковский М.М., Куркин А.М., Бондаренко Е.А., Михнев Л.В.</i>	162
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА В ПЛАЗМЕ SF_6 <i>Соловьев Б.Д.</i>	164
НАНОКРИСТАЛЛЫ GASB ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ ТВЁР- ДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ И ВСТРОЕННЫЕ В МОНОКРИ- СТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ <i>Субботин Е.Ю., Боженко М.В., Чусовитин Е.А., Горошко Д.Л., До- ценко С.А., Чусовитина С.В., Шевлягин А.В., Галкин Н.Г., Гутаков- ский А.К.</i>	166
ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КЕРАМИЧЕ- СКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ <i>Тряпышко А.В., Минин С.И.</i>	168

СОДЕРЖАНИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ БИМЕДИЦИНСКИХ НАНОРОБОТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР <i>Гуфииков Е.В., Бузько В.Ю., Чуйко Г.Ю</i>	170
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО НИЗ- КОНАПОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ РАС- ХОДОВ <i>Фролов М.В., Фролова М.А.</i>	172
ОСЦИЛЛЯЦИИ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ <i>Чубарова А.Н.</i>	174
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО СНЯТИЯ ОСТАТОЧ- НЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТРУБО- ПРОВОДОВ АЭС ПОСЛЕ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕТОДОМ УЛЬ- ТРАЗВУКОВОГО НАКЛЕПА <i>Чулков Д.И., Минин С.И.</i>	176
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОСПРИНИМАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ВО- ЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА РАСХОДА И ПАРА- МЕТРОВ ЖИДКОСТНЫХ СРЕД <i>Шачнева Е.А., Мурашкина Т.И.</i>	178
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КОМ- ПОЗИТНЫХ СЛОЕВ ФТОРИДА ЛИТИЯ, СОДЕРЖАЩИХ НА- НОЧАСТИЦЫ МЕТАЛЛОВ <i>Шутилова О.И., Черных А.А.</i>	180
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СТЕКОЛ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРО- НИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА НАНОКРИ- СТАЛЛОВ <i>Шомахов З.В., Молоканов О.А., Кармоков А.М.</i>	182
ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПРОВОЛОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕ- ТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ <i>Юнусова Н.Р., Каргин Н.И., Рындя С.М., Гусев А.С., Антоненко С.В., Тимофеев А.А.</i>	184

СОДЕРЖАНИЕ

Ядерная физика и технологии, **теоретическая физика и астрофизика**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ С УЧЕТОМ АТМОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ПО ДАННЫМ УСТАНОВКИ «НЕЙТРОН»	
<i>Абдулина Ю.И., Дмитриева А.Н., Громушкин Д.М.</i>	187
ТОНКОСТЕННЫЙ КСЕНОНОВЫЙ ГАММА-ДЕТЕКТОР С РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ ЧЕТЫРЕ ЛИТРА	
<i>Абрамов А.В., Власик К.Ф., Дмитриенко В.В., Шустов А.Е.</i>	190
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ МОЩНОСТИ ДОЗЫ В ВОДЕ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169 ДЛЯ ВЫСОКОДОЗОВОЙ БРАХИТЕРАПИИ	
<i>Артамонов С.А., Тычкин И.С., Анохин Ю.Н., Чаушанский С.А., Акулиничев С.В.</i>	192
НОВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОТДАЧИ К СРЕДАМ В ОБЛАСТИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДЪЕМНОМ ДВИЖЕНИИ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ	
<i>Баисов А.М., Деев В.И.</i>	193
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ РРС40 ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ СРЕДНЕ-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
<i>Баулин А.А., Сухих Е.С., Сухих Л.Г., Шейно И.Н.</i>	196
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ-ПРИПОЕВ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ	
<i>Бачурина Д.М., Калинин Б.А., Иванников А.А., Сучков А.Н., Севрюков О.Н., Пенязь М.А., Федотов И.В.</i>	199
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОХЛАЖДАЕМОЙ НАТРИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СБОРКЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ АНИЗОТРОПНОГО ПОРИСТОГО ТЕЛА	
<i>Баясхаланов М. В., Власов М.Н., Корсун А.С., Меринов И.Г., Сильвестров В.В.</i>	201
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ФАНТОМАХ	
<i>Бусыгин А.С., Аникин М.Н., Наймушин А.Г.</i>	203

СОДЕРЖАНИЕ

МАССЫ БОЗОНОВ ХИГГСА В НМССМ С СР-НАРУШЕНИЕМ: ПРЕДЕЛ СМ	205
<i>Голенев Е.А., Гурская А.В.</i>	
МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НЕЙТРОННОГО ДЕ- ТЕКТОРА СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛ	207
<i>Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕППИНГ-ЭФФЕКТА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ТРОИЦК НЮ-МАСС»	209
<i>Григорьева П.В.</i>	
СРЕДСТВА СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДИНАМИЧЕ- СКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ АСУТП АТОМНЫХ СТАНЦИЙ	211
<i>Жуков И.М., Вердян А.Г., Толоконский А.О.</i>	
БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ИНТЕНСИВНОСТИ ОКОЛО- ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАНЫМ КООРДИНАТНО-ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА ДЕКОР	213
<i>Зайцева Д.В., Кокоулин Р.П.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ СО СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ДЛЯ ВЫЖИГАНИЯ АМЕРИЦИЯ-241	217
<i>Зевякин А.С., Хорасанов Г.Л., Самохин Д.С.</i>	
ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ${}^8\text{He} + \text{Si}$ и ${}^{11}\text{Li} + \text{Si}$	219
<i>Зернышкин В.А., Пенионжkevич Ю.Э., Соболев Ю.Г.</i>	
ДИНАМИКА РАЗЛЁТА ДВУХКОМПОНЕНТНОГО КВАЗИОД- НОМЕРНОГО БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКОГО КОНДЕНСАТА: ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА, АВТОМОДЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ И ДИСПЕРСИОННЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ	221
<i>Иванов С. К., Камчатнов А. М.</i>	
ОБНАРУЖЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ СЖА- ТИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКА В ВАКУУМЕ	224
<i>Иващук О.О., Щагин А.В., Кубанкин А.С., Никулин И.С., Олейник А.Н.</i>	
ДЕТЕКТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА «КАПРИЗ» ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ	226
<i>Исатаев Т., Лукьянов С.М., Мендибаев К., Пенионжkevич Ю.Э., Серда Ю.М.</i>	
РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОПЛИВА В ТВС БЫСТРОГО РЕАКТОРА	228
<i>Каражелевская Ю.Е., Колесов В.В., Казанский Ю.А.</i>	

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВЫХОДОВ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ МОДУЛЕЙ АДРОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ СВМ И MRD ЭКСПЕРИМЕНТОВ	
<i>Карпушкин Н.М.</i>	230
РОССИЙСКИЕ МЕТОДИКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО	
<i>Кирсанова Ю. А., Иванов А. В.</i>	232
ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СМЕШАННОГО НИТРИДНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	
<i>Кривов М.П., Киреев Г.А., Тенишев А.В., Скупов М.В., Глушенков А.Е.</i>	234
СТАТУС РАДИОИЗОТОПНОГО КОМПЛЕКСА РИЦ-80 И РАЗРАБОТКА МИШЕННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ	
<i>Кротов С.А., Ермоленко Ю.Е., Барзах А.Е., Батист Л.К., Федоров Д.В., Иванов В.С., Мороз Ф.В., Молканов П.Л., Орлов С.Ю., Волков Ю.М., Пантелеев В.Н.</i>	236
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МИНИМАЛЬНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ОТ ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОМ АЗОТЕ	
<i>Кузьменков Д.М., Литвинцова Ю.Е., Марченко А.С., Лауар С., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.</i>	237
ПРОЦЕССЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МАТРИЦЫ ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ СВС	
<i>Кузьмин В.С., Посохов Д.В.</i>	240
ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ${}^6\text{He} + \text{Si}$ и ${}^9\text{Li} + \text{Si}$ В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ ПУЧКА В 5 - 50 МэВ/НУКЛОН	
<i>Лаишманов Н.А., Пенионжкевич Ю.Э., Соболев Ю.Г.</i>	242
ПОИСК ДОЛГОЖИВУЩИХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПОЛЕВЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ	
<i>Лизунова М.А., Кудрявцев А.Е.</i>	244
ЛИВНЕВАЯ УСТАНОВКА КЛАСТЕРНОГО ТИПА НЕВОД-ШАЛ	
<i>Ликкий О.И., Шульженко И.А., Яшин И.И.</i>	246
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОНОВ В МИКРОТРОНЕ	
<i>Лозев Ю.Ю., Башмаков Ю.А., Дюбков В.С.</i>	248

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕДНИХ АДРОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ СВМ И МРД ЭКСПЕРИМЕНТОВ <i>Лукьянов К.А.</i>	250
КВАНТОВЫЙ ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЛОЙ <i>Лютова М.Э., Некрасов С.А.</i>	252
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО <i>Мамедов Заур Ильгам оглы</i>	254
СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ТЕОРИИ С НАРУШЕННОЙ ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ <i>Маракулин А.О.</i>	256
ДИАГНОСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ЖИДКОМ АЗОТЕ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛООТДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ <i>Марченко А.С., Литвинцова Ю.Е., Кузьменков Д.М., Лауар С., Делов М.И., Маслов Ю.А., Куценко К.В., Лаврухин А.А.</i>	258
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ <i>Матросова М.Ю., Литвиненко О.В.</i>	261
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПРОЦЕССОВ В МНОГОПОЛОСКОВОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЕ <i>Мельников А.А.</i>	263
ЭКСПЕРИМЕНТ TUNKA-GRANDE <i>Монхоев Р.Д.</i>	265
НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ СУПЕРСТРУН <i>Мухаева А.И., Сажина О.С.</i>	266
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ СПОНТАННЫХ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИХСЯ ТОКОВ <i>Насыбуллин С.А., Гаврилов Г.Е., Маев О.Е., Майсузенко Д.А.</i>	268
СТИМУЛЯЦИЯ РАСТЕНИЙ МИКРОДОЗАМИ РАДИАЦИИ <i>Никитина Л.А., Степанов В.Е., Наумова К.А., Миронова В.П.</i>	270
ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫГОРАЮЩИХ ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В РЕКТОРАХ ТИПА ВВЭР-1000 <i>Николаев Ю.Ю., Савандер В.И.</i>	272

СОДЕРЖАНИЕ

ТРИТИЙ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РЕСПУБЛИКИ САХА
(ЯКУТИЯ)

Ноговицына Е.И., Степанов В.Е. 275

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Олейник А.Н., Иващук О.О., Иониди В.Ю., Кленин А.А., Кубанкин А.С., Мишунин М.В., Чепурнов А.С., Щагин А.В. 278

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИФфуЗИОННОЙ ПАЙКЕ РЕАКТОРНЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ БЫСТРОЗАКАЛЕННЫМИ СПЛАВАМИ-ПРИПОЯМИ Ni-(Cr)-5..6Si-3..5Vc

Пенязь М.А., Иванов А.А., Севрюков О.Н., Бачурина Д.М., Федотов И.В. 279

ЭКОНОМИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ УСЛОВНО-КРИТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ В ДИФфуЗИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

Пименова М.Н., Грачев В.М., Шаманин И.В., Беденко С.В., Луцик И.О., Кнышев В.В. 281

СВЯЗЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СРЕДНЕЙ СКОРОСТЕЙ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Писаревский М.И., Федосеев В.Н., Балберкина Ю.Н. 284

ПОЛУЧЕНИЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ АЛЛЮМИНИДА НЕОДИМА С ВКЛЮЧЕНИЕМ РЕАКЦИОННО-СПОСОБНОЙ НИКЕЛЕВОЙ ДОБАВКОЙ В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ

Посохов Д.В., Кузьмин В.С. 286

СОЛНЕЧНАЯ ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ В 2006 - 2016 ГГ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРОВ ПАМЕЛА И АРИНА

Роденко С.А., Боркут И.К., Майоров А.Г., Малахов В.В. 288

УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ. АНАЛИЗ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ THEMIS

Рубцов А.В., Климущин Д.Ю., Магер П.Н., Чуйко Д.А. 290

РОБАСТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СКОРОСТЕЙ НАГРЕВА ПРИ АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Русаков Д.Ю., Скоморохов А.О. 291

СОДЕРЖАНИЕ

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ, ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	
<i>Русяева К. А.</i>	293
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСПЛЕСКОВ ЭЛЕКТРОНОВ, СВЯЗАННЫХ С ГАММА-ВСПЫШКАМИ АТМОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	
<i>Савушкина Л.В., Александрин С.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В.</i>	296
БЫСТРЫЙ НАТРИЕВЫЙ РЕАКТОР БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ С АКЦИАЛЬНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТЬЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ	
<i>Ситдииков Э.Р., Терехова А.М., Деменева И.В.</i>	298
О РАЗМЕРНОСТЯХ ЭНЕРГИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ	
<i>Соломатенко А.В., Соломатенко В.Н.</i>	300
КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ПОРОШКОВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Fe-TM-Nd-REM-B	
<i>Сороковиков М.Н., Савин В.В., Савина Л.А., Ляхова Н.Г.</i>	302
ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
<i>Сошкина Е.А., Щербина Н.А.</i>	304
ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТА РАСПЛАВА СВИНЦА С1 И КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Стручалин П.Г., Круглов А.Б., Круглов В.Б., Харитонов В.С.</i>	307
ПРОГРАММА РАСЧЕТА КИНЕТИКИ РЕАКТОРА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ И РЕАКТИВНОСТИ	
<i>Тебелев Л.Д., Ефимов Е.И.</i>	309
ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВВЭР В СРЕДЕ FREE PASCAL	
<i>Тебелев Л.Д., Иванов А.В.</i>	312
РЕГИСТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА	
<i>Титов А.И., Чермошенцев Д.А.</i>	314
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА БЫСТРЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ГАММА-ТЕЛЕСКОПА «ГАММА-400» И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	
<i>Тон О., Гальпер А.М., Рунцо М.Ф.</i>	316
ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ МАЛОГО НАГРЕВА УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ И ФАКТОРА ПОТЕРЬ НА БЕЗВОДОРОДНОМ МАСЛЕ FOMBLINTM С РАЗЛИЧНЫМ СРЕДНИМ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВЕСОМ	
<i>Гурлыбекулы К., Лычагин Е.В.</i>	318

СОДЕРЖАНИЕ

МИКРОИСТОЧНИК ДЛЯ НИЗКОДОЗОВОЙ БРАХИТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169 <i>Тычкин И.С., Акулиничев С.В., Анохин Ю.Н., Чаушанский С.А., Артамонов С.А.</i>	320
МУЛЬТИСЕКТОРНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ШАЛ НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННОГО СВЕТОСБОРА <i>Унатлоков И.Б., Ампилогов Н.В., Яшин И.И.</i>	321
СПОСОБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УЗКОПРОФИЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАВОК В КОРПУСНОМ ОБОРУДОВАНИИ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИИ <i>Усманов М.З., Терехов В.М., Винников В.С.</i>	323
АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРО- ЦЕССАХ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ВВЭР-1000/1200 <i>Филонов В.В., Филонова Ю.С.</i>	325
ЭКСПРЕСС МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ ТВС В ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ <i>Фирсов Г.А., Ефимов Е.И.</i>	327
ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ^{99}Mo ПРИ ИСПОЛЬ- ЗОВАНИИ МИШЕНЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОН- СТРУКЦИИ НА РЕАКТОРЕ ВВР-Ц <i>Фомин Р.В., Колесов В.В., Зевякин А.С., Кочнов О.Ю.</i>	330
РЕЖИМНАЯ ДИАГНОСТИКА РЕАКТОРА БН-600 С ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ <i>Челебиев Р. А., Скомогохов А. О.</i>	332
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАЛ ПО ДАННЫМ УСТАНОВОК TUNKA-GRANDE И TUNKA-REX <i>Черных Д.О.</i>	335
ЧЕРЕНКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАЛОРИМЕТР (ESAL) ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА NADES <i>Шабанов А. И., Решетин А. И.</i>	336
МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ <i>Шарапова Т.В., Макин Р.С.</i>	338
КОНСТАНТЫ САМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ ХИГГСА В СУПЕР- СИММЕТРИЧНЫХ РАСШИРЕНИЯХ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ <i>Штанов В.М., Рыкова Э.Н.</i>	340

СОДЕРЖАНИЕ

СПЕКТР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПОЛУЧЕННЫЙ НА УСТАНОВКЕ ПРИЗМА-32

Юрин К.О., Богданов Ф.А., Громушкин Д.М., Стенькин Ю.В., Щеголев О.Б. 342

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ К-40 ОТ ПАРАМЕТРА ГАШЕНИЯ t_{SIE}

Юсупов А.Н., Литвиненко О.В. 345

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ К-40 ОТ ОПТИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ

Юсупов А.Н., Литвиненко О.В. 347

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК $CdTe$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ

Папикян А.К., Геворгян В.А., Гладышев П.П. 348А

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 350

Инженерно-физические техноло- гии для биомедицины

ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Абрамова Е.Н., Хорт А.М., Яковенко А.Г., Корнилова Д.С.,
Слипченко Е.А., Прохоров Д.И.

Московский технологический университет. Институт тонких химических технологий, Москва
8(916) 043-71-91, overmind11@rambler.ru

В настоящее время адресная доставка лекарственных средств к патологическим зонам организма человека является одним из наиболее перспективных направлений исследований в области медицины. Разработка безопасных контейнерных материалов для адресной доставки лекарств в организм человека является одной из важнейших задач специалистов разных научных направлений (биологов, материаловедов, медиков). Пористый кремний (*por-Si*) удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к материалам подобного предназначения (биосовместимость, биодоступность, способность к биодеградации, нетоксичность).

При изготовлении контейнеров из *por-Si* необходимо подбирать параметры материала (радиальные и осевые размеры пор, толщина стенок между порами, размер наночастиц) для лекарственных средств в зависимости от размеров их молекул и адсорбционных свойств лекарств. В связи с этим актуальная задача – установление взаимосвязей между характеристиками исходного кремния (кристаллографическая ориентация, тип и концентрация примесей, дефектность структуры и т.д.) и технологическими параметрами процесса получения *por-Si* (плотность тока, время, температура травления и т.д.) с одной стороны и параметрами готового материала с другой.

Изучена взаимосвязь между условиями получения *por-Si* и его параметрами (радиальные и осевые размеры пор, толщина стенок между порами, размер наночастиц) на образцах *n*- и *p*-типа проводимости. Установлено, что радиальные размеры пор на *n*-типе кремния варьируются от нескольких нанометров до микрометров в зависимости от условий получения *por-Si* (концентрация примеси,

Инженерно-физические технологии для биомедицины (плотность тока травления, состав травителя, время процесса анодирования). При этом толщина слоёв *por-Si* на *n*-типе кремния может достигать 180 микрометров за время травления 30 минут. Радиальные размеры пор на *p*-кремнии при аналогичных условиях процесса травления составляют десятки нанометров, толщина слоёв *por-Si* на *p*-типе не превышает 70 микрометров за то же время травления. Установлено, что слои, получаемые на *n*-типе пластин кремния, обладают гораздо большей механической прочностью по сравнению со слоями на *p*-типе.

На основе экспериментальных данных построена модель химического взаимодействия кремния с ионом-травителем (HF_2^-), которая существенно облегчает выбор параметров исходного кремния и условий получения *por-Si* с заранее заданными размерными параметрами.

Предложены параметры *por-Si* для изготовления контейнеров для лекарств неврологического действия типа карбамазепина.

Результаты получены в рамках государственного задания Министерства Образования и Науки Российской Федерации и Гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ (НШ-7946.2016.11.)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ
НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ
МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО
РАСSEЯНИЯ СВЕТА**

А.Ф. Алыкова¹, В.Ю. Тимошенко^{1,2}

²НИЯУ МИФИ, Каширское ш. 31, 115409 Москва, Россия

¹МГУ им. М.В.Ломоносова, Ленинские Горы 1, стр.2, 119992 Москва,
Россия

e-mail: waiste15@bk.ru

Кремниевые наночастицы (НЧ), в том числе нанокристаллы кремния, широко исследуются для применений в биомедицине, в частности, в качестве активных элементов биосенсоров и в основах новых препаратов для тераностики (одновременной диагностики и терапии) онкологических и других социально-значимых заболеваний. Диагностику накопления и выведения НЧ в исследуемых объектах можно осуществлять при помощи спектроскопии комбинационного (рамановского) рассеяния света. В данной работе приводится экспериментальное исследование растворения пористого кремния и кремниевых нанонитей в водных средах.

Известно, что пористый кремний (ПК) [2], кремниевые нанонити (КНН) [5], и получаемые из них НЧ [4], а также лазерно-аблированные НЧ Si [1,3] и НЧ SiC [6] имеют большой потенциал для использования в тераностике [1,2,5], а также, в качестве контрастных агентов для оптической биовизуализации [3,4,6]. Была обнаружена фотолюминесценция (ФЛ) лазерно-аблированных НЧ Si, которая объясняется излучательной рекомбинацией экситонов, фотовозбужденных в нанокристаллах кремния с размерами 3-5 нм. Установлено, что такие НЧ могут эффективно накапливаться раковых клетках и, следовательно, использоваться для их люминесцентной диагностики [3]. Недавно была продемонстрирована диагностика накопления и выведения НЧ кремния в раковых клетках, которые можно рассмотреть при помощи микрорамановской спектроскопии [4].

В работе исследовались растворения НЧ пористого кремния и КНН в дистиллированной воде и в физиологическом растворе

Инженерно-физические технологии для биомедицины (0.9% NaCl) в течение 2 недель. Использовалась установка по регистрации комбинационно рассеянного света (КРС) на базе монохроматора ДФС-52 при возбуждении светом аргонового (514 нм) или гелий-неонового (633 нм) лазеров. Интенсивность лазерного возбуждения ослаблялась до уровня, не приводящего к заметным тепловым изменениям линии КРС. Уменьшение размеров кремниевых нанокристаллов в исследуемых образцах регистрировалось по изменению положения линии КРС, что связывалось с усилением эффекта пространственного ограничения (конфаймента) фононов в кристаллической решетке кремния.

При исследовании КНН было обнаружено, что они устойчивы к растворению, как в воде, так и в физрастворе, в течение, как минимум, 2 недель, что объясняется достаточно большими начальными размерами КНН, превышающие 100 нм. В проведенной серии экспериментов с мезопористым ПК, наблюдался сдвиг полосы КРС на $1-5 \text{ см}^{-1}$ при нахождении образцов в воде в течение периода времени от 1 до 24 ч, что объясняется уменьшением размеров нанокристаллов кремния с 8-10 до 3-4 нм в процессе их растворения. Полученные результаты свидетельствуют о возможности контролируемого изменения размеров НЧ кремния в водных системах, что позволяет точнее определить область их биомедицинских применений.

Ключевые слова: мезопористый кремний, кремниевые нанонити, спектроскопия комбинационного рамановского рассеяния света (КРС).

Литература:

1. A. V. Kabashin, V. Yu. Timoshenko. *Nanomedicine*, 11 (17): 2247-2250 (2016).
2. L.A. Osminkina, V. Yu. Timoshenko. *Mesoporous Biomater* 3:39-48 (2016).
3. M. B. Gongalsky, A. Pereira, A. A. Manankov, A. A. Fedorenko, A.N. Vasiliev, V.V.Soloviev, A. A. Kudryavtsev, M. Sentis, A. V. Kabashin, V. Yu. Timoshenko. *Scientific Reports*, 6:24732 (2016).
4. E.Tolstik, L.A. Osminkina, C. Matthäus, M. Burkhardt, K.E. Tsurikov, U.A. Natashina, V.Yu. Timoshenko, R. Heintzmann, J. Popp, V. Sivakov. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology & Medicine*, 12, № 7, 1931-1940 (2016).

Инженерно-физические технологии для биомедицины

5. L.A. Osminkina, A.L. Nikolaev, A.P. Sviridov, N.V. Andronova, K.P. Tamarov, M.B. Gongalsky, A.A. Kudryavtsev, H.M. Treshalina, V. Yu. Timoshenko. *Microporous & Mesoporous Materials*, 210, 169-175 (2015).

6. A. Kharin, O. Syshchyk, A. Geloan, S. Alekseev, A. Rogov, V. Lysenko, V. Timoshenko. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 16, 044601 (2015).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**МЕТОД СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО
РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТАФИЛОКОККОВОЙ
ИНФЕКЦИИ В НЁБНЫХ МИНДАЛИНАХ**

**Асадова А.А.¹, Тимченко Е.В.¹, Тимченко П.Е.¹, Зарубина Е.Г.²,
Буренков Е.С.², Итяков Ю.Д.¹**

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва (Самарский университет), Самара

² Медицинский университет «Ревизз», Самара
355709638@mail.ru

В Самарской области по данным медицинских статистических организаций 65% всех заболеваний приходится на ЛОР заболевания, как правило, большая часть из них связаны с ХТ (хроническим тонзиллитом). Источниками инфекции являются больные, а в некоторых случаях – носители болезни, у которых нет явных симптомов. Хронический тонзиллит является следствием неоднократного заболевания ангиной, недостаточного лечения. Учитывая последние данные о большом разнообразии видов возбудителей и тенденции все более частого выявления условно-патогенных микроорганизмов, становится актуальным определение микрофлоры глотки и чувствительности ее к антибиотикам.

В ходе экспериментов было исследовано 8 образцов различных штампов стафилококка ATCC №25923 (группа I) и ATCC №35591 (группа II), находящихся в слюне пациентов и физрастворе. Исследуемые образцы подвергались лечению антибиотиком Амоксиклав дозировкой 500мг/10 мл.

Спектральные характеристики изучались с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Andor Shamrock sr-303i с встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, волоконно-оптический зонд для спектроскопии комбинационного рассеяния RPB785, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (с регулируемой мощностью до 500 мВт, длина волны 785 нм). Выделение КР спектра на фоне автофлуоресценции проводилось методом полиномиальной аппроксимации флуоресцентной составляющей и вычита-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
ния её из регистрируемых спектров. Обработку спектров КР проводили в программе Wolfram Mathematica 8.

Проведен анализ эффективности лечения стафилококка в небных миндалинах с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния (КР). Установлены спектральные изменения при лечении небных миндалин антибиотиком Амоксиклав. Показано, что при дозировке антибиотика 500мг/10 мл исчезают линии на волновых числах 735 см^{-1} и 783 см^{-1} , 986 см^{-1} и 1635 см^{-1} , соответствующие аденину, цитозину, протеинам и амиду I.

Введены оптические коэффициенты, позволяющие оценить эффективность лечения стафилококковой инфекции.

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО
ИНФРАКРАСНОГО ФОТОСЕНСЕБИЛИЗАТОРА НА
ОСНОВЕ БАКТЕРИОХЛОРИНА**

Ахлюстина Е.В.¹, Меерович Г.А.², Филоненко Е.В.³,
Лощенов В.Б.^{1,2}

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² ИОФ РАН им. Прохорова, Москва

³ ФГБУ «НМИРЦ» МЗ РФ, Москва

89151826294, kattyahlyustina@mail.ru

Фотосенсибилизаторы (ФС) на основе бактериохлорина (БХ) изучаются в качестве потенциальных агентов для фотодинамической терапии (ФДТ) онкологических и неонкологических заболеваний [1]. Они поглощают в спектральном диапазоне 750-850 нм, где глубина проникновения света в биоткань максимальна [2]. ФС должен обеспечивать высокую эффективность ФДТ в широком диапазоне его концентраций в биоткани.

Цель работы - изучение поглощения и флуоресценции нового катионного ФС [3] на основе БХ в широком диапазоне концентраций.

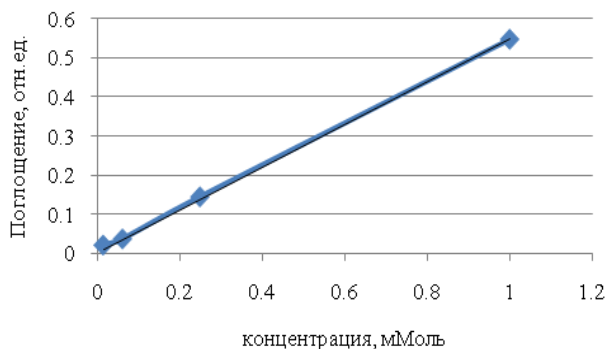


Рис.1. Зависимость поглощения ФС на основе БХ от его концентрации

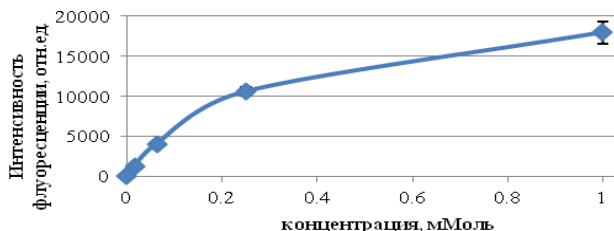


Рис.2. Интенсивность флуоресценции препарата в зависимости от концентрации

Показано, что интенсивность поглощения (Рисунок 1) и флуоресценции (Рисунок 2) нового ФС на основе катионного производного БХ линейно зависят от его концентрации в широком диапазоне, соответствующем реальным значениям в биоткани, сенсibilизированной для проведения ФДТ. Это позволяет сделать вывод о том, что новый ФС благодаря кулоновскому отталкиванию между положительно заряженными молекулами и наноструктурированной лекарственной форме не агрегирует в биоткании это дает возможность обеспечить высокую эффективность ФДТ.

Литература

1. Rovers, J. P., M. L. de Jode, H. Rezzoug, and M. F. Grahn. In vivo photodynamic characteristics of the near-infrared photosensitizer 5,10,15,20-tetrakis(M-hydroxyphenyl) bacteriochlorin. *Photochem. Photobiol.* Vol.72. P.358-364 (2000).
2. M.Oertel, S. I. Schastak, A. Tannapfel, et al. Novel bacteriochlorine for high tissue-penetration: photodynamic properties in human biliary tract cancer cells in vitro and in a mouse tumour model. *J. Photochem. Photobiol.* Vol. 71. P.1-10 (2003).
3. М.А. Грин, Г.А. Меерович, И.Г. Тиганова и др. Способ фотодинамической терапии локальных очагов инфекции. Патент РФ №2610566 (2017).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ
ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА**

Богатырь В. Г.^{1,2}, Вайнер Ю.Г.¹

¹*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва*

²*Московский физико-технический институт, Долгопрудный
+7(977)6104755, bogatyrv@phystech.edu*

Эффект поверхностного плазменного резонанса используется в бионализе в экспериментах с взаимодействием растворенного в жидкости образца с поверхностью. Это многообещающий метод, позволяющий получать подробную информацию об образце. Продольное разрешение является определяющим фактором, ограничивающие минимальный размер наблюдаемых объектов, что было установлено ещё давно при развитии метода. Разрешение определяется длиной распространения плазмона(порядка 1мкм в Al и 20мкм в Au). Нанопленки из золота, используемые для обеспечения наибольшей чувствительности метода, инертный, что позволяет использовать их для биоаналитики. Следовательно, область измерения превышает несколько десятков микрометром и не предпринимались попытки изучать объекты меньшего масштаба, наблюдалось присоединение объектов порядка 10мкм. Объекты меньшего размера были рацмыты, что объясняется оптическими ограничениями, вносимыми конструкцией экспериментальной установки. Данная работа демонстрирует, что, вопреки предположениям, объекты размером порядка десятков нанометров. Это позволяет подсчитывать частицы, закрепившиеся на поверхности сенсора, вместо анализа усредненной интенсивности групп связанных частиц.

Литература

OpticReal-time Detection of Single Immobilized Nanoparticles by Surface Plasmon Resonance Imaging Alexander Zybin Yurii A. Kuritsyn Evgeny L. Gurevich Vladimir V. Temchura Klaus Überla Kay Niemax Received: 1 October 2009 / Accepted: 23 November 2009 © Springer Science+Business Media, LLC 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ Т-ЛИМФОЦИТОВ МЕТОДОМ КОГЕРЕНТНОЙ ФАЗОВОЙ МИКРОСКОПИИ

***Болотова А.А.¹, Звержховский В.Д.¹, Вышенская Т.В.¹,
Критушев А.В.¹, Евдокимов А.А.¹***

*¹МТУ(МИРЭА), Специализированная учебно-научная межвузовская
лаборатория «Когерентная фазовая микроскопия»
+7-916-492-35-49 And7.4@mail.ru*

Когерентная фазовая микроскопия – одна из наиболее динамично развивающихся областей оптической микроскопии, открывающая новые возможности для исследования биообъектов, что обусловлено сочетанием ряда особенностей: проведением прижизненных исследований клетки, регистрацией оптически прозрачных клеток без фиксации и окрашивания. Однако, применение когерентной фазовой микроскопии в медицинской практике и биофизических исследованиях ограничено недостаточным уровнем развития алгоритмов получения диагностически значимой информации об объекте.

Одной из важнейших задач фазовой микроскопии является изучение внутренних структур клетки. Для решения этой задачи был предложен метод интегральных функций [1,2]. Интегральная функция площади фазового изображения представляет собой зависимость площади области топограммы, ограниченной изолинией от уровня изолинии h_i , измеряется в мкм^2 :

$$S(h_i) = \iint f(x, y, h_i) dx dy, \quad (1)$$

где $f(x, y, h_i)$ - фигура, образующаяся в результате пересечения $h(x, y)$ плоскостью h_i , Интегральная функция Фазового объема представляет собой зависимость фазового объема области топограммы, ограниченной изолинией от уровня изолинии h_i , измеряется в мкм^3 :

$$W(h_i) = \int_0^{Lx} dx \cdot \int_0^{Ly} dy \cdot \int_{h_i}^{h(x,y)} dz + h_i \cdot \iint f(x, y, h) dx dy, \quad (2)$$

где Lx, Ly – размеры всего фазового изображения.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

С помощью интегральных функций фазовых изображений определяются границы структурных зон клетки. Таким образом, можно рассматривать влияние различных факторов на отдельные области клетки.

Апробация предложенной методики выполнена на моделях фазовых изображений Т-лимфоцитов и на клетках - Т-лимфоцитах доноров – с применением параллельного метода флуоресцентных зондов.

Выполнено исследование Т-лимфоцитов доноров в нормальном состоянии и под действием NaCN и FCCP. По результатам исследования было показано, что при воздействии ингибиторов на Т-лимфоцит происходит падение его митохондриального потенциала, проявляющегося изменении фазовых параметров.

В результате анализа данных, полученных при сравнительном исследовании Т-лимфоцитов доноров и пациентов с рассеянным склерозом, были выявлены значимые параметры, характеризующие нормальное и активированное состояние клетки. Разработанная методика позволяет получать количественную информацию об объекте с помощью математических (интегральных) функций фазового изображения. Таким образом, развивается новый метод анализа фазовых изображений, способный найти применение в диагностических центрах крови, с целью упростить и удешевить процедуру анализа крови.

Литература

1. Vladimir P. Tychinsky et al. Dissecting eukaryotic cells by coherent phase microscopy: quantitative analysis of quiescent and activated T-lymphocytes// Journal of Biomedical Optics 17(7), 076020 (July 2012)

2. Vladimir Tychinsky et al. Quantitative phase imaging of living cells: application of the phase volume and area functions to the analysis of 'nucleolar stress'// J. Biomed. Opt. 18 (11), 111413 (August 22, 2013); doi: 10.1117/1.JBO.18.11.111413

МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ЭНДОГЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ В ЖИВЫХ КЛЕТКАХ МЕТОДОМ FLIM

Борулева Е. А.¹, Kalinina S.²

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

²Ulm University, Ulm, Germany
89165123769, ipcoova@yandex.ru

Изменения эндогенной флуоресценции служат одним из показателей трансформации биохимического статуса клеток, что на сегодняшний день продемонстрировано для целого ряда эндогенных флуорофоров. Наиболее продуктивным методом исследования эндогенной флуоресценции является метод FLIM (fluorescence lifetime imaging microscopy) [1, 2]. Поэтому совершенствование методик исследований автофлуоресценции живых клеток методом FLIM, расширяющих диапазон решаемых с его помощью задач, является актуальным.

Цель настоящей работы заключалась в подборе условий регистрации эндогенной флуоресценции в опухолевых клетках методом FLIM и математической модели для обработки полученных изображений, с целью выделения флуоресценции флавинов и NADH. Одновременно, этим же методом осуществлялась проверка эффекта Варбурга на неопухолевых клетках.

В проведенных экспериментах детекцию времени жизни осуществляли с помощью конфокального флуоресцентного микроскопа с временным разрешением MicroTime 200 (PicoQuant GmbH, Германия). Для обработки изображений использовалось программное обеспечение PicoHarp и SymPhoTime (PicoQuant GmbH, Германия).

Детекцию времени жизни флуоресценции неопухолевых клеток (Hscat - иммортализованные кератиноциты человека). в культуральной среде с глюкозой и без выполняли на двух-фотонном лазерном сканирующем микроскопе (LSM, 710 NLO, Carl Zeiss, Йена, Германия). Обработка изображений производилась с использованием программного обеспечения V&H (Becker & Hickl GmbH, Берлин, Германия) [1].

Для возбуждения использовался твердотельный лазер с длиной

Инженерно-физические технологии для биомедицины волны возбуждения 473 нм (PerkinElmer, USA), а для детекции флуоресценции – фильтр 500/14-25 нм (Semrock, США).

Титан-сапфировый лазер с длинной волны возбуждения 900 нм использовался для дву-фотонного возбуждения, а детекция флуоресценции проводилась фильтрами для флавинов 530/43нм и для NADH 460/60 нм (AHF Analysentechnik, Тюбинген, Германия) [1].

Методом FLIM были изучены особенности распределения времени жизни флуорофоров в опухолевых клетках. Было показано, что сигнал распределен в клетках неравномерно, источником его являются органеллоподобные структуры, которые при специфическом окрашивании Mitotracker Orange (Thermo Scientific, США) определялись как митохондрии [2].

По литературным данным известно, что высокая концентрация глюкозы в культуральной среде опухолевых клеток может значительно снизить уровень митохондриального дыхания, а пониженная концентрация – наоборот, показывает его более высокий уровень [3]. В данной работе, проверялся этот эффект на неопухолевых клетках, которые инкубировались в без глюкозной культуральной среде 6 и 12 часов. За данное время инкубации эффект Варбурга в неопухолевых клетках выявлен не был.

Таким образом, с помощью разработанных методик, в основе которых лежит метод FLIM, было установлено:

источником эндогенной флуоресценции в опухолевых клетках являются митохондрии;

эффект Варбурга при 6 и 12 часах инкубации в отсутствии глюкозы в культуральной среде неопухолевых клеток не наблюдается.

Литература

1. S. Kalinina, W. Becker, A. Ruck. Correlative NAD(P)H – FLIM and oxygen sensing – PLIM for metabolic mapping. *J. Biophotonics*. P. 1-12 (2016).

2. E. Boruleva, V. Zherdeva. Detection of flavin fluorescence in lung adenocarcinoma cells by FLIM. *J. Photonics & Lasers in Medicine*. P. 275-276 (2016).

3. M. Potter, E. Newport. The Warburg effect: 80 years on *J. Biochemical Society Transactions*. P. 1499–1505 (2016).

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ОКСИГЕНАЦИИ НА ФОСФОРСОДЕРЖАЩИЕ МЕТАБОЛИТЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

***Васюкова О.Р., Манжурицев А.В., Сергеева В.В. Семенова Н.А.,
Ахадов Т.А.***

*НИИ НДХиТ, Москва
+79163266643, deulya57@gmail.com*

Введение

Гипербарическая оксигенация (ГБО) является терапевтическим методом, активно применяемым при различной патологии, в том числе, головного мозга [1]. Однако, непосредственные биохимические механизмы работы ГБО в точности не установлены. Целью данной работы является исследование эффектов ГБО на энергетический метаболизм головного мозга человека по данным фосфорной (^{31}P) магнитно-резонансной спектроскопии головного мозга.

Материалы и методы

В исследовании приняло участие 17 здоровых испытуемых. Использован магнитно-резонансный томограф Philips Achieva 3.0 T и РЧ катушка $^{31}\text{P}/^1\text{H}$. Спектроскопическое исследование проводилось дважды – до и сразу после часового сеанса ГБО, и длилось по 15 минут каждое. Локализация и возбуждение интересующего объёма осуществлялась с использованием последовательности ISIS. Расположение спектроскопического объёма интереса, разделённого на воксели размером 40x40x30 мм каждый показано на рис. 1.

Для каждого вокселя полученные спектры были обработаны с помощью программы SpectroView. Площади пиков каждого метаболита фосфорного спектра до ГБО, нормированные на сумму площадей всех пиков (суммарный фосфор), сравнивались с соответствующими значениями в спектрах после ГБО. Вычислено рН в мозге до и после ГБО. По критерию Манна-Уитни определялась достоверность межгрупповых различий.

Результаты

Результаты достоверных ($p < 0.05$) изменений при проведении ГБО представлены в таблице 1.

Таблица 1. Эффект ГБО на поведение креатинфосфата (PCr), α -резонанса молекулы АТФ (α -АТФ) и внутриклеточного рН в головном мозге человека.

	ДО ГБО		ПОСЛЕ ГБО		p-value
	среднее	отклонение	среднее	отклонение	
PCr	0,152	0,016	0,147	0,017	0,021
α-АТФ	0,220	0,023	0,231	0,027	0,003
рН	6,97	0,005	6,95	0,007	0,015

Достоверного влияния ГБО на другие метаболиты не выявлено.

Обсуждение

Показано, что ГБО оказывает влияние на энергетический метаболизм головного мозга человека. Обнаружено воздействие на крайне важный параметр – АТФ. Выявленное изменение рН в мозге также свидетельствует об активации энергетики, поскольку от значения рН зависит активность ферментов, участвующих в нейрональном цикле Кребса [2].

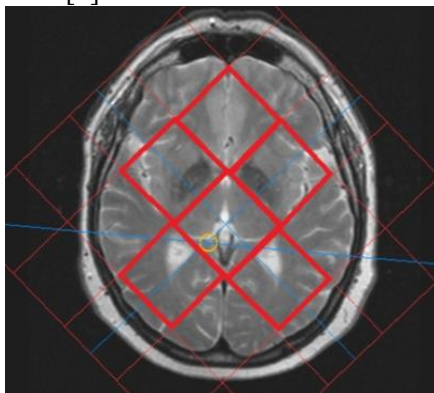


Рисунок 1. Расположение спектроскопического объёма с разделением на индивидуальные воксели

Литература

1. Stephen R. Hyperbaric oxygen – its mechanisms and efficacy, 2012
2. Dobson GP, Yamamoto E, Hochachka PW. Phosphofructokinase control: nature and reversal of рН-dependent АТФ inhibition. Am J Physiol. 1986 Jan;250(1 Pt 2):R71-6.

ПОИСК СВЯЗАННОСТИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ АБСАНСНЫХ РАЗРЯДОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ

А.А. Грищенко¹, Г.Д. Кузнецова², И.В. Сысоев¹

¹Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

²Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

E-mail: vili_von@mail.ru

Для каждой крысы строились суррогатные пары временных рядов путём перестановки реализаций [1] — всего 90 пар. С их использованием строился доверительный интервал, для чего брались минимальное и максимальное значения в каждый момент времени. Таким образом, поточечная (для одного конкретного момента времени) доверительная вероятность составляла 98,9%, уровень значимости — 1,1%. Поскольку имело место множественное тестирование, часть результатов (порядка 1,1% значений) могли оказаться значимыми случайно. Для каждого разряда было рассчитано число значимых (выше уровня значимости) выводов о связанности на каждом из четырёх интервалов: [-5; -3] с до начала разряда (фоновая активность), [-2; 0] с (преиктальная активность), [0; 2] с (начало разряда, соответствует интервалу потери связанности, обнаруженному в [2]) и [2; 4] с (поддержание разряда). Наборы этих значений, соответствующие разным разрядам одной и той же крысы, тестировались с помощью t-теста Стьюдента на значимое отличие от случайного достижимого уровня. В таблице приведены результаты для всех рассмотренных животных, знаками отмечены: «+» число выводов значимо выше случайно возможного, «-» число выводов значимо ниже случайно возможного, «0» число выводов значимо не отличается от случайно возможного (все выводы на уровне значимости 5%).

Видно, что для разных животных результаты сильно различны. При этом связь удаётся обнаружить во всех 4 рассмотренных интервалах, но больше всего в преиктальной фазе, а меньше всего — в первые 2 с разряда, что в целом соответствует выводам работы [2].

Инженерно-физические технологии для биомедицины

Крыса №	[-5; -3]	[-2; 0]	[0; 2]	[2; 4]
	baseline	preictal	decoupling	maintanance
2	0	+	+	+
5	0	0	-	0
6	0	0	0	0
7	+	+	0	+
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
14	+	+	0	0

Таблица 1. Результаты t-теста Стьюдента

- 1.
2. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №16-34-00203 и Стипендии Президента для поддержки молодых учёных СП-1510.2015.4.

3.

4. Литература

5.

6. 1. J. Theiler, S. Eubank, A. Longtin, B. Galdrikian, and J.D. Farmer. Testing for nonlinearity in time series: the method of surrogate data. *Physica D* 58 (1992) 77–94.

7. 2. Сысоева М. В., Ситникова Е. Ю., Сысоев И. В. Таламо-кортикальные механизмы инициации поддержания и прекращения пик-волновых разрядов у крыс WAG/Rij // Журнал высшей нервной деятельности. 2016. Т. 66. N 1. С. 103-112.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО
ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ
БОРИРОВАННОГО ХЛОРИНА E6 ДЛЯ
ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ**

А.В. Демьянович¹, М.А. Каплан¹, Н.В. Бурмистрова¹

¹ МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России,
Обнинск
8-(920)-611-33-24, alyonadem1993@yandex.ru

Актуальность. В настоящее время фотодинамическая терапия (ФДТ) занимает одно из ведущих мест в локальном лечении поверхностных злокачественных опухолевых заболеваний. Эффекты, связанные с данным видом лечения, обусловлены несколькими факторами: прямое фотоповреждение клеток, разрушение сосудистой сети опухоли и активации иммунного ответа[1,2]. В настоящее время одним из главных направлений в ФДТ является разработка новых ФС, которые бы обеспечивали достаточный терапевтический эффект при минимальном повреждении окружающих здоровых тканей и отсутствии общетоксического действия. В лечении злокачественных новообразований большой интерес в качестве фотосенсибилизаторов вызывают производные ряда хлорофилла. Также ведутся активные работы по созданию липосомальных форм ФС, которые проявляют на порядок большую световую токсичность, при отсутствии темновой токсичности, повышают селективность накопления в опухоли, что увеличивает эффективность ФДТ на более малых дозах ФС и что в свою очередь снижает повреждение нормальных тканей и снижает общетоксическое действие на организм.[3] В Институте элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН был синтезирован борированный хлорин, а в ГОУ ВПО ПМГМУ им. И.М. Сеченова на кафедре фармацевтической технологии и фармакологии была разработана и синтезирована новая лекарственная форма «Борхлорин липосомальный лиофилизат».

Цель работы: оценка фотодинамической эффективности нового ФС на разных моделях перевиваемых опухолей.

Задачи исследования:

Инженерно-физические технологии для биомедицины

- изучить динамику накопления липосомального борированного хлорина в опухолевой и здоровой тканях;
- изучить эффективность ФДТ с разными дозами ФС на разных опухолевых штаммах.

Методы и материалы. Работа выполнена на 2 видах животных: беспородные крысы с перевитой под кожу в область бедра саркомой М-1 и гепатокарциномой РС-1, и мыши: беспородные с имплантированной эмбриокарциномой Эрлиха, Гибриды C57BL/6 с имплантированной Меланомой В-16.

Перед сеансом ФДТ проводили измерения накопления ФС в опухолевой и здоровой тканях на диагностическом спектрометрическом комплексе «Lesa-1». Борированный хлорин вводили внутривенно и внутривенно в дозах 1,25; 2,5; 5,0; 10,0 мг/кг веса животного. Облучение проводилось на «Аткус-2» - полупроводниковом лазерном аппарате. Плотность энергии лазерного излучения составляла 100,150,300 Дж/см². Эффективность лечения оценивали по коэффициенту абсолютного прироста опухоли (К), по торможению роста опухоли (ТРО%) и по полной регрессии опухоли (ПР%).

Результаты. Оптимальное время проведения лазерного облучения после введения ФС наступает через 2,5 -3,5 часа в зависимости от гистологической формы опухоли, когда индекс контрастности достигает своего максимального значения.

После проведенного исследования были установлены параметры проведения ФДТ с липосомальным борированным хлорином Е6 для получения полной регрессии опухоли у 100 % животных для разных опухолевых штаммов.

Литература

1. Экспериментальные аспекты фотодинамической терапии / под.ред. А.Ф. Цыба и М.А. Каплана - Калуга: Издательство научной литературы Н.Ф. Бочкарёвой, 2010. – 112 с., ил.

2. Цыб А.Ф., Каплан М.А., Романко Ю.С., Попучиев В.В. «Фотодинамическая терапия», Москва: ООО Медицинское информационное агентство», 2009. - 192 с.

3. Меерович И.Г., Оборотова Н.А. Применение липосом в фотохимиотерапии: 2. Липосомальные формы для создания фотоактивируемых липосомальных препаратов и в качестве моделей для фотобиологических исследований // Российский биотерапевтический журнал. 2004. Т. 3. № 1. С. 7–13.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛОСКОЙ СТЕНКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ТРАНСКРАНИАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Ефремов В.В., Королев М.Ю.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8(925)789-35-70, VVEfremov@mephi.ru

Наиболее распространенным методом неинвазивного воздействия на различные участки коры головного мозга является транскраниальная магнитная стимуляция (далее ТМС). Суть данной методики состоит в том, что нейроны коры головного мозга стимулируются при помощи коротких магнитных импульсов. В отличие от других методов, ТМС не сопряжена с болевыми ощущениями и поэтому может применяться в качестве диагностической процедуры в амбулаторных условиях [1].

В настоящее время аппараты, позволяющие проводить нужные процедуры, являются крупногабаритными, что затрудняет их перемещение и препятствует широкому применению. Актуальной проблемой является создание портативного устройства.

В проектируемой конструкции [2] тепло, выделяющееся с поверхности катушки, проходя через слои термопасты и разделительную пластину, снимается циркулирующей водой [3].

Процесс переноса тепла от нагретого тела к холодному теплоносителю через твердую стенку определяется совокупным действием элементарных явлений. От проводов катушки к разделительной стенке перенос теплоты осуществляется теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением; через разделительную стенку – только теплопроводностью; от поверхности стенки к воде – конвекцией и теплопроводностью.

Для расчета термического сопротивления используем модель трехслойной плоской стенки, в которой: два крайних слоя – термопаста; средний слой учитывает толщину разделительной пластины

Инженерно-физические технологии для биомедицины и стенки трубы; температуры на поверхностях разделительной стенки считаем одинаковыми и равными 20°C .

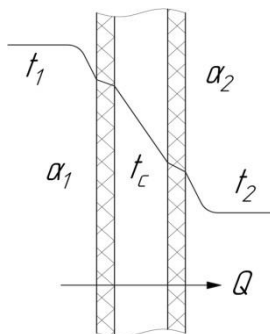


Рис.1. Теплопередача через трехслойную плоскую стенку; характер изменения температуры в теплоносителях и разделяющей их стенке

В данной работе произведен расчет тепловых потоков с учетом термических сопротивлений для конструкций из различных материалов и сделан выбор конструкционных материалов.

Литература

1. Системы комплексной электромагнитотерапии: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.М. Беркутова, В.И. Жулева, Г.А. Кураева, Е.М. Прошина. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000 г. – 376 стр.;

2. Ефремов В.В., Королев М.Ю., Разработка ключевых элементов и определение основных параметров койла мобильной установки транскраниальной магнитной стимуляции // Молодежный научный вестник. – 2016. - №7. – стр. 56-64;

3. Ефремов В.В., Королев М.Ю., Выбор способа охлаждения и расчет потерь давления в элементах системы циркуляции теплоносителя устройства транскраниальной магнитной стимуляции // Теория. Практика. Инновации. – 2016. - №8. – стр. 4-12.

ОСОБЕННОСТИ РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ СЕРЕБРЯНЫХ ПЛЕНОК РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АЛЬБУМИНА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО СЫВОРОТОЧНОГО (ПРИ СЕПСИСЕ)

Зюбин А.Ю.¹, Константинова Е.И.², Матвеева К.И.¹,
Слежкин В.А.², Брюханов В.В.¹

¹*Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград,
Россия*

²*Калининградский государственный технический университет, Россия
E-mail: azubin@mail.ru*

Рамановская спектроскопия широко применяется в медицине для неинвазивной диагностики заболеваний [1]. Однако обнаружить заболевание на ранней стадии проблематично в связи с малой концентрацией интересующих молекул, и, соответственно, слабым сигналом рамановского сигнала. Поверхностные плазмоны, возникающий на шероховатой серебряной пленке при взаимодействии с оптическим излучением, многократно увеличивающий ($\sim 10^6$) рамановский сигнал с хорошим сродство с клеточными органеллами делает их перспективным материалом [2].

В данной работе методами микрорамановской спектроскопии проведено изучение рассеяния серебряных пленок различной шероховатости, для последующего детектирования молекул сывороточного человеческого альбумина, выделенного из плазмы здорового человека и плазмы инфицированного (сепсис) человека. Серебряные пленки различной степени шероховатости ($\delta = 0,25 \div 0,75$ мкм) были получены методом электрохимического осаждения по методике [3].

КР-спектры получены на установке Centaur U при возбуждении твердотельным лазером $\lambda = 632$ нм с диодной накачкой - DPSS (мощность излучения 50 мВт).

В КР-спектрах альбумина здорового и инфицированного человека (рис.1) наблюдаются колебательные полосы на 1347 см^{-1} и 1607 см^{-1} , которые соответствуют амида I и II группам [Q], причем соотношение интенсивности данных полос в спектрах альбумина

Инженерно-физические технологии для биомедицины здорового и инфицированного человека неодинакова: в спектрах альбумина здорового человека доминирует полоса на 1347 см^{-1} , а инфицированного – на 1607 см^{-1} .

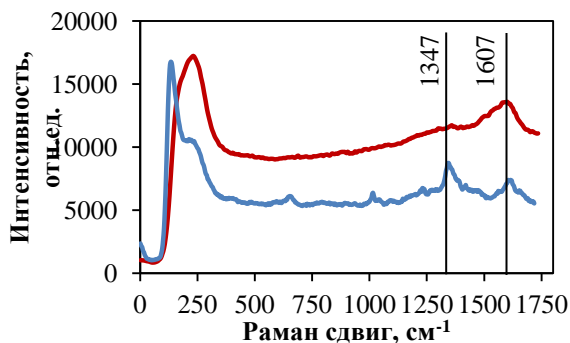


Рис. 1. Спектры КР альбумина человеческого сывороточного здорового человека (синяя линия) и зараженного (красная линия), осажденные на поверхность серебряной пленки с толщиной снятия $\delta=0,5\text{ мкм}$.

Предполагаем, что данный эффект связан с конформацией белковой молекулы при инфицировании.

Литература

1. Kenny Kong, Catherine Kendall, Nicholas Stone, Ioan Notinger. Raman spectroscopy for medical diagnostics - From in-vitro biofluid assays to in-vivo cancer detection. *Advanced Drug Delivery Reviews*. Vol. 89. P. 121-134 (2015)
2. Anna A. Semenova, Alexander P. Semenov, Elena A. Gudilina and al. Nanostructured silver materials for noninvasive medical diagnostics by surface-enhanced Raman spectroscopy. *Focus Article, Mendeleev Commun*. Vol. 26. P. 177–186 (2016)
3. В.А. Слежкин, Р.В. Горлов. Плазмонный резонанс в сплошных серебряных электрохимических и химических пленках и его проявление в спектрах флуоресценции молекул родамина 6Ж в тонких пленках поливинилового спирта. *Известия КГТУ*. № 20. С.115-122 (2011)
4. Qi Xiao et al. Direct observation of the binding process between protein and quantum dots by in situ surface plasmon resonance measurements. *Nanotechnology*. Vol. 20. P. 325101 (7pp) (2009)

ВЛИЯНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОГО СИЛИКОНА

Иванова Е.В.¹

¹ НИТУ МИСиС, Москва
+79670952244, bobrysheva_ev@mail.ru

В процессе изучения проводящих силиконов было выдвинуто предположение о влиянии одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) на свойства жидких силиконов. ОУНТ встраиваются в силикон и могут формировать взаимосвязанные сети между силиконовой матрицей и углеродными нанотрубками. Поэтому низкая загрузка таких материалов может обеспечить требуемую электропроводность и одновременно сохранить механические свойства эластомерной матрицы, что делает нанотрубки идеальными для такого применения.

Чтобы оценить влияние ОУНТ в качестве решения для обеспечения проводимости в силиконе, были проведены серии испытаний композита на основе силикона, который был подготовлен с использованием ОУНТ методом смешения. Жидкий силикон смешивался с нанотрубками с помощью миксера до достижения однородной серой массы, в процессе смешения нанотрубки стабилизировали путем добавления специальных агентов, уменьшающих вероятность возникновения агломератов в смеси. Затем полученную смесь вулканизовали при комнатной температуре и проводили испытания на электропроводность. Таким образом было сделано несколько образцов с разной концентраций нанотрубок в составе. Затем было измерена электропроводность образцов. На рисунке 1 видно, что при сверхнизких концентрациях ОУНТ в силиконе может установиться высокая проводимость, при повышении концентрации проводимость снижается, после преодоления в 4% электропроводность выходит на плато в 10^1 Ом.

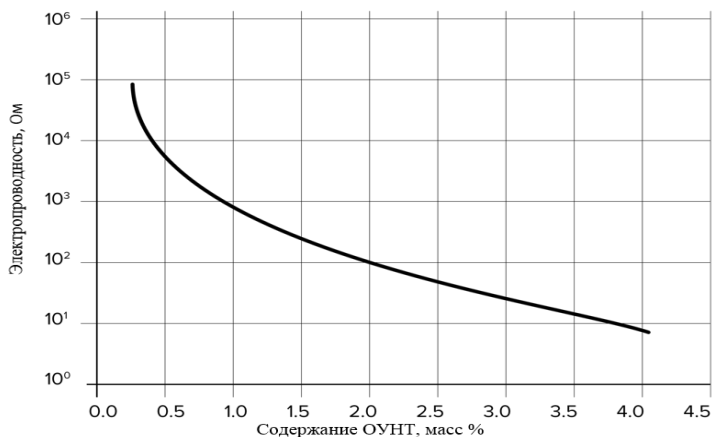


Рис.1. График зависимости электропроводности от ОУНТ

Литература

1. Булярский С.В. Углеродные нанотрубки: технология, управление свойствами, применение (ООО Стрежень.2011)
2. Шетц М. Силиконовый каучук. (Ленинград, Химия, 1975)

ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПО ДАНЫМ ^1H МРС

Иванцова А.С.^{1,3}, Меньщиков П.Е.^{1,2,3}, Семенова Н.А.^{1,2}, Ахадов Т.А.¹

¹ НИИ НДХиТ, Москва

² ИХФ РАН, Москва

³ НИЯУ МИФИ, Москва

+79853515955, merkush@ro.ru

Остеопороз и остеопения — системные заболевания скелета, характеризующиеся снижением минеральной плотности костей (МПК), что влечет за собой повышение риска переломов. В настоящее время стандартным методом диагностики остеопороза является денситометрия. Наиболее информативным неинвазивным методом определения МПК ткани является КТ-денситометрия.

В течение жизни у человека красный костный мозг (ККМ) заменяется желтым костным мозгом (ЖКМ). При остеопорозе этот процесс ускоряется [1]. Локализованная протонная магнитно-резонансная спектроскопия (^1H МРС) — уникальный метод, позволяющий *in vivo* определять концентрации протонсодержащих соединений в различных тканях. В спектрах ^1H МРС в губчатом веществе (ГВ) позвонка присутствуют сигналы воды и жира (рис. 1Б). Отношение интенсивностей сигнала жира к сигналу воды (LWR) определено соотношением ККМ и ЖКМ (сигнала воды в большей степени характеризует ККМ, сигнал жира — ЖКМ[2]). Основной целью данной работы является сопоставление данных методик для разработки диагностики остеопении и остеопороза по результатам ^1H МРС.

Были получены данные 12 пациентов (средний возраст $10,9 \pm 0,6$). По данным ^1H МРС исследования получали отношение LWR (локализации STEAM с параметрами $TE=12,8\text{ms}$, $TR=3000\text{ms}$, размер вокселя $20 \times 15 \times 10$ мм располагали в ГВ позвонков L3, L4, L5 (рис. 1А)). Сканирование проводилось на МРТ Philips AchievaTX 3,0 Тл. С помощью КТ-денситометрии была определена МПК [$\text{мг}/\text{см}^3$] в тех же позвонках.

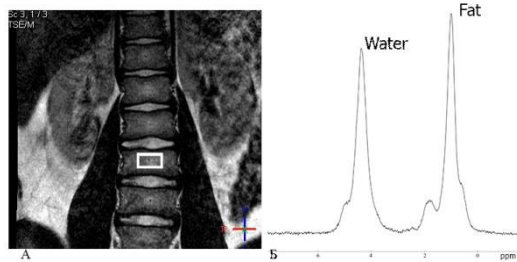


Рис.1. Зона вокселя для ^1H МРС (А). Типичный вид спектра (Б).

В результате была обнаружена достоверная ($p < 0.001$) обратная корреляция между LWR и МПК ткани (рис.2).

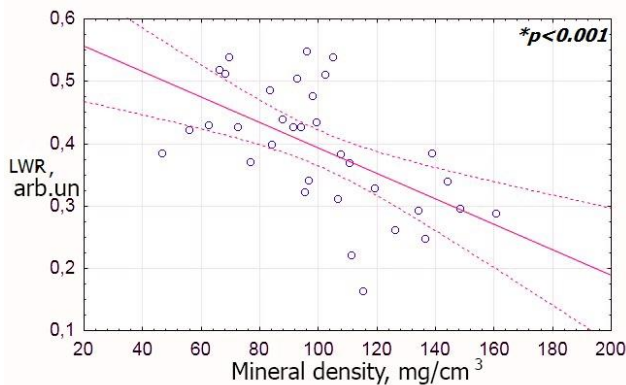


Рис.2. Корреляционная зависимость между LWR и МПК

Даная корреляция указывает на связь МПК с относительными содержаниями ККМ и ЖКМ в ГВ позвонков, что потенциально может заложить основу диагностического метода остеопении и остеопороза на основе данных ^1H МРС, более безопасного метода, чем КТ денситометрия (отсутствие радиационной дозы).

Литература

1. A. Cohen. Increased Marrow Adiposity in Premenopausal Women with Osteoporosis. J. Clin Endocr. Metab. Vol 97 P 2782-91 (2012)
2. G. Manenti Osteoporosis detection by 3T DTI and MRS in women older than 60 years. Aging. Clin Exp Res R. Vol 25 P 31-34 (2013)

ЭФФЕКТЫ СИНЕРГИЗМА ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ В ОНКОЛОГИИ

Комарова Л.Н.¹, Ляпунова Е.Р.¹, Амосова Н.В.¹

*1 – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск
+7-910-913-43-80; komarova_l411@mail.ru*

Экспериментальные исследования закономерностей проявления комбинированного действия различных факторов радиационной и нерадиационной природы на живые организмы представляет собой актуальную проблему радиобиологии, имеющую фундаментальную и практическую значимость. Ранее был выявлен целый ряд общих закономерностей синергических эффектов, регистрируемых при одновременном действии ионизирующего излучения с другими нерадиационными факторами [1,2]. К ним можно отнести наличие оптимального соотношения воздействующих факторов для достижения максимального синергизма; зависимость синергизма от интенсивности применяемых физических факторов и некоторые другие. Была предложена оригинальная концепция и математическая модель, описывающая и прогнозирующая указанные закономерности. Данная модель базируется на предположении, что синергизм обусловлен образованием дополнительных повреждений за счет взаимодействия некоторых субповреждений, формируемых ионизирующей радиацией и неионизирующим агентом. Предложенная модель хорошо описывала полученные экспериментальные данные [1, 2]. Однако, эти результаты были получены при одновременном применении вредных факторов окружающей среды в основном на микроорганизмы. Для проверки универсальности этих закономерностей был проведен количественный анализ проявлений эффектов синергизма при последовательном действии других агентов на клетки млекопитающих.

Для повышения эффективности лечения раковых заболеваний в клинической практике очень широко применяется комбинация цитостатиков с гипертермией. Однако, реальный анализ синергического взаимодействия этих агентов фактически отсутствует. В дан-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
ной работе проведен количественный анализ эффектов синергизма с использованием результатов, опубликованных другими авторами [3] по последовательному действию гипертермии (37-43°C) и цисплатины различной концентрации (0-10 мкг/мл) на клетки китайского хомячка. Для количественной оценки синергизма мы использовали коэффициент синергического взаимодействия (k), определяемый выражением

$$k = (N_1 + N_2 + N_3)/(N_1 + N_2), \quad (1)$$

где N_1 - число эффективных повреждений после действия одной цисплатины; N_2 - число эффективных повреждений после действия одной гипертермии; N_3 - число дополнительных эффективных повреждений, формируемых при комбинированном воздействии и обуславливающих синергизм.

Полученная нами зависимость коэффициента синергизма последовательного действия цисплатины и гипертермии для двух концентраций цисплатины (2 и 4 мкг/мл) от температуры, при которой происходило воздействие, показала, что в обоих случаях существует оптимальная температура, при которой наблюдается максимум синергического взаимодействия. Любое отклонение действующей температуры от оптимальной приводит к снижению эффективности синергизма. Совокупность этих данных показывает, что при уменьшении интенсивности одного из агентов следовало понижать интенсивность другого действующего фактора для сохранения максимального синергизма.

Литература:

1. Петин В.Г., Комаров В.П. Количественные описания модификации радиочувствительности – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н., Рябова С.В. Зависимость синергизма факторов окружающей среды от их интенсивности. *Экология* № 5 (1998) 383-389.
3. Eichholtz-Wirth H., Hietel B. Heat sensitization to cisplatin in two cell lines with different drug sensitivities. *Int. J. Hyperthermia* 6 (1990) 47-55.

**ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИКАЦИИ
ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ЭФФЕКТА ПРИ
КОМБИНИРОВАННОМ ПРИМЕНЕНИИ ИНГИБИТОРОВ
NOS С ГИПОКСИЧЕСКИМИ ЦИТОТОКСИКАНТАМИ**

***Корнеева Т.С.^{1,2}, Филимонова М.В.^{1,2}, Самсонова А.С.²,
Чеснакова Е.А.², Макаrchук В.М.², Комарова Л.Н.¹***

1 – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национально-исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск

*2 – Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, г.Обнинск
+7-910-913-43-80; tanchitto@mail.ru*

Неудовлетворительная эффективность в сочетании с высокой токсичностью существующих средств терапии опухолей требует разработки новых фундаментальных подходов в онкологии, в том числе создания технологий направленной, целевой доставки противоопухолевых химиопрепаратов к месту локализации опухоли, в том числе и в самих опухолевых новообразованиях [1]. В лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России были синтезированы новые оригинальные вещества – производные изотиомочевины – обратимые ингибиторы синтаза оксида азота, которые в широком ряде исследований показали себя как эффективные радиопротекторы и противоопухолевые агенты [2].

В последние годы в качестве средств таргетной терапии опухолей активно развивается класс гипоксических цитотоксикантов (ГЦТ), мишенью которых являются гипоксические клетки опухоли – априори резистентные к радио- и химиотерапии. Изучение возможности повышения таргетности и терапевтической эффективности ГЦТ фармакологическими средствами, потенциально способными в значительной мере селективно сенсibilизировать опухоль к действию таких препаратов, является актуальным [3].

Целью работы явилась оценка возможности модификации противоопухолевого эффекта при комбинированном применении ингибиторов NOS и гипоксических цитотоксикантов.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

Исследования по изучению противоопухолевой эффективности были проведены на мышах-самцах гибридов F1 с перевитой карциновой легких Льюис в латеральную поверхность правого бедра.

Экспериментально показано, что комбинированное применение ингибитора NOS ИТМ-2 и гипоксического цитотоксиканта Метронидазола оказывает выраженный устойчивый противоопухолевый эффект, превосходящий эффект от изолированного применения исследуемых веществ. Кроме того, экспериментальные исследования зависимости противоопухолевой эффективности от дозировок и временных интервалов между инъекциями исследуемых веществ выявили оптимальную схему сочетанного применения Метронидазола и ИТМ2 в нетоксических дозах с интервалом введения в 120 минут – опухоль статистически значимо меньше на 50% в сравнении с контролем.

Результаты исследований могут найти применение в составе комплексной радио- и химиотерапии онкологических заболеваний для повышения её эффективности, таргетности и снижения токсичности за счет комбинированного применения электронакцепторного соединения, способного оказывать радиосенсибилизирующее действие, и ингибитора NOS ИТМ2, обладающего противоопухолевым эффектом и способным селективно защищать нормальные ткани при радиотерапии.

Литература:

1. Гарин А.М. Взаимодействие и конкуренция разных методов лечения опухолей. М.: Медицина, 2004. 263 с.

2. Макарчук В.М., Филимонова М.В., Измestьева О.С., Чеснакова Е.А., Самсонова А.С., Корнеева Т.С., Шевченко Л.И., Филимонов А.С. Радиозащитные свойства ингибитора по-синтаз. Механизмы противолучевого действия *in vivo* Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 6. С. 590-597.

3. Глыбочко П.В. Онкология. М.: «Академия», 2008. 400с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ DFT/ВЗЛР ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ МОНОМЕРОВ МОНОГИДРОКСИАЗАУРАЦИЛОВ

Корольков Д.С., Элькин М.Д., Алыкова О.М., Смирнов В.В.

*Астраханский государственный университет
тел. 8(8512)61-08-84, e-mail: kof@aspu.ru*

Введение. Моногидроксиазаурацилы получают при замене одного из карбоновых фрагментов (C=O) молекулы 5- и 6- азаурацила на гидроксильную группу (ОН).

Целью работы является построение структурно-динамических моделей моногидроксиазаурацилов на основании оценки параметров адиабатического потенциала таутомеров и конформеров соединений, выявление признаков их спектральной идентификации. Модельные расчеты геометрической и электронной структуры молекул выполнены в рамках метода функционала плотности DFT/ВЗЛР [4].

Результаты модельных расчетов и их анализ. Оптимизация исходной геометрии 2- и 4-моногидроксиазаурацилов (таутомеры N1H и N3H) осуществлена в предположении плоской (симметрия C_s) структуры молекул. Конформеры (K1 и K2) каждого таутомера связаны с положением гидроксильного фрагмента относительно шестичленного азацикла, что определяется значением двугранного угла $D1(N1C2OH)$ и $D2(N3C4OH)$. Для конформера K1 углы $D1 = 0^\circ$ и $D2 = 0^\circ$, для конформера K2 они принимают значение 180° .

Длины валентных связей: $R_{C=O} = 1.3-1.34 \text{ \AA}$, $R_{CO} = 1.2-1.21 \text{ \AA}$, $R_{OH} = 0.96-0.97 \text{ \AA}$, что согласуется с соответствующими экспериментальными данными, приведенными в монографии упомянутой в работе [3]. Значения валентных углов CNH могут отличаться от стандартных значений (120°) на величину $\sim 6^\circ$, что имеет место и в азаурацилах [3]. Разность значений указанного валентного угла $\sim 5^\circ$, однако расхождения в характере полос, интерпретированных, как крутильные колебания (χ_{OH}) значительны, что можно использовать в задачах идентификации таутомеров и конформеров моногидроксиазаурацилов. Оценки значений длин валентных связей $R_{C=O} \sim 1.2 \text{ \AA}$, $R_{CO} \sim 1.33 \text{ \AA}$, $R_{OH} \sim 0.96$

Инженерно-физические технологии для биомедицины
Å согласуются с экспериментальными данными, приведенными в монографии, упомянутой в работе [2].

Результаты теоретической интерпретации колебательных спектров моногидроксиазаурацилов сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными по ИК спектрам данных соединений в замороженных матрицах.

Проанализируем полученные модельные колебательные спектры моногидроксиазаурацилов. Полоса, интерпретированная как колебание связи *CN*, располагается в диапазоне 3000-3070 см⁻¹, является интенсивной в спектре КР (97-135 Å⁴/а.е.м.). Согласно расчетам имеет место смещение указанных полос в коротковолновый диапазон колебательного спектра на величину ~ 50 см⁻¹ для 6- гидроксиазаурацилах. Возможно использование этого факта как признака спектральной идентификации. Отметим, что интегральная интенсивность полос в ИК спектрах, интерпретированных как валентные колебания связей *CN*, незначительна (~10 км/моль).

Полосы слабой интенсивности в диапазоне 600-500 см⁻¹, интерпретированы по форме как деформационные колебания валентных углов шестичленного цикла (γ) и фрагментов *CO* (β_{CO}) и *C=O* ($\beta_{C=O}$). Использование полос указанного диапазона в задачах спектральной идентификации соединений нецелесообразно.

Частота валентного колебания ($\nu_{C=O}$) связи *C=O* является характерической по частоте и интенсивности.

Сдвиг спектральных полос таутомеров *N1H* и *N3H* в диапазоне выше 1200 см⁻¹ может достигать величины ~ 70 см⁻¹. При этом они могут различаться по интерпретации. В диапазоне ниже 1200 см⁻¹ характеричность колебаний по форме сохраняется.

Полосы, отнесенные к скелетным колебаниям шестичленного цикла (диапазон 1700-160 см⁻¹) в различных таутомерах имеют большую интенсивность в ИК спектрах, и эти значения можно использовать в задачах спектральной идентификации таутомеров.

В диапазоне 1500 -1200 см⁻¹ спектральные полосы отнесены к деформационным колебаниям связей *NH* (β_{NH}) и гидроксильного фрагмента (β_{OH}). Их интенсивность зависит от взаимного расположения фрагментов. Этот факт можно использовать для спектральной идентификации конформеров исследуемого таутомера.

Оценки кубических ($F_{SSS} \sim 2560$ см⁻¹) и квартичных ($F_{SSSS} \sim 1480$ см⁻¹) ангармонических силовых постоянных связей *OH* приводят к

Инженерно-физические технологии для биомедицины
сдвигу полос, интерпретированных как валентные колебания гидроксильного фрагмента в длинноволновый диапазон на величину $\sim 180 \text{ см}^{-1}$. Это согласуется с оценкой ангармонического смещения полос при использовании масштабирующего соотношения $\nu_{\text{анг}} = \nu_2(av_2 + b)$ с параметрами ($a = -8,4\text{E}-06$; $b = 0,9813$) из публикаций [2,3]. Использование указанного соотношения для диапазона $1800\text{--}1200 \text{ см}^{-1}$ приводит к расхождению $\sim 20 \text{ см}^{-1}$ с оценкой положения полос по соотношениям (2, 3). В диапазоне ниже 1200 см^{-1} расхождение в оценках ангармонического смещения полос снижается вдвое. Указанные расхождения не влияют на интерпретацию фундаментальных колебаний, т.к. они существенно меньше значений энергетических щелей между соседними колебательными состояниями.

Литература

1. Элькин П.М. Анализ колебательных спектров метилзамещенных урацила в ангармоническом приближении / П.М. Элькин, М.А. Эрман, В.Ф. Пулин // Журнал прикладной спектроскопии.– 2006.– Т.73, №4. – С.431-436.
2. Эрман Е.А., Элькин М.Д., Лихтер А.М., Джалмухамбетова Е.А., Алыкова О.М., Равчеева Н.А. Структурно-динамические модели и колебательные состояния димеров хлорурацила. Ж-л фундаментальных и прикладных исследований «Естественные науки». 2012, № 2(39), с. 213-220.
3. Эрман Е.А. Системный анализ структурно-динамических моделей димеров урацила и азаурацилов в конденсированном состоянии / Е.А. Эрман, Г.П. Стефанова, Н.А. Равчеева, Е.А. Джалмухамбетова, О.Н. Гречухина, О.М. Алыкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012.– №3(19). – С.95-102.
4. Gaussian 03. Revision B.3. / M.J.Frish [et.al] 2003. Pittsburgh PA.: Gaussian Inc., 2003.

Инженерно-физические технологии для биомедицины
ОПТИМИЗАЦИЯ *IN VIVO* МЕТОДА ^{31}P
МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А.В. Манжурицев, Т.А. Ахадов, Н.А. Семенова

НИИ НДХиТ, Москва
Andrey.man.93@gmail.com

Введение

Фосфорная МР спектроскопия – уникальный способ прижизненного исследования энергетического метаболизма в головном мозге человека. Исследования на ядре ^{31}P продемонстрировали свою эффективность в исследованиях МР негативной патологии, например, шизофрении [1, 2]. Практически значимой задачей является преодоление проблем, связанных с низкой чувствительностью ядра ^{31}P , и, как следствие, низкого сигнал/шума (SNR) ^{31}P спектров. Целью работы является оптимизация методов получения ^{31}P спектров с точки зрения временных затрат и SNR с помощью развязки от протонов (decoupling) и ядерного усиления Оверхаузера (NOE).

Материалы и методы

В исследовании на МР томографе Philips Achieva 3.0T с использованием РЧ катушки $^{31}\text{P}/^1\text{H}$ приняло участие 10 здоровых испытуемых. Спектроскопический объём размером 80x60x60 мм размещался так в мозговое вещество. Для локализации использовалась последовательность ISIS с параметрами: TE = 0,1 мс, FA = 35°, Samples=1024, BW=4000 Гц, число накоплений NSA = 64. Применялся широкополосный decoupling, последовательность Waltz 4. В первой серии исследования осуществлялся набор 3 спектров с различным временем повторения (TR) = 2, 3 и 4 с. Во второй серии TR=3 с, последовательность Waltz 16 для NOE с изменением параметра «время смешивания» (*mix time* = 0, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2250, 2500 мс).

Обработка спектров проведена в программе SpectroView. В первой серии для каждого испытуемого подсчитывался прирост SNR (в %) при увеличении TR. Во второй серии SNR каждого пика для каждого *mix time* нормировался на соответствующий этому пику SNR при *mix time* = 0.

Результаты

Инженерно-физические технологии для биомедицины

По итогам первой серии наибольший прирост SNR при сохранении времени на набор спектра постоянным обнаружен при увеличении TR с 2 до 3 с. Полученные по итогам второй серии графики относительного изменения SNR в зависимости от *mix time* ведут себя схожим с приведённым на рисунке 1 графиком для пика фосфотаноламина PE, сначала нарастая, затем с определённого момента на уровне 1500–2000 мс выходя на плато. Исключением является график для PCr, который вышел на плато ~ на 2250 мс. Максимальные значения прироста за счёт NOE составили 40%.

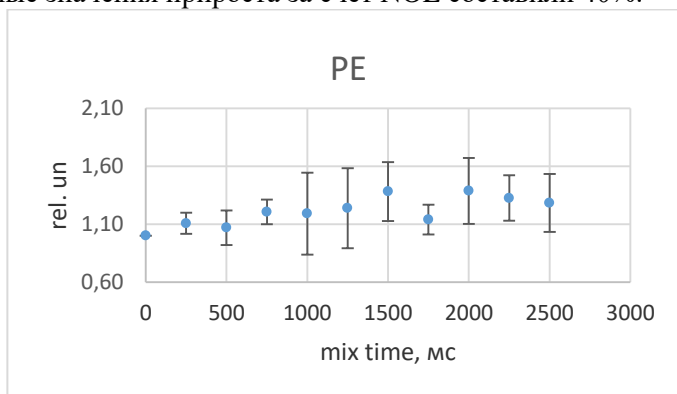


Рисунок 1. Относительное изменение SNR для пика PE в зависимости от параметра *mix time*

Обсуждение

Параметр *mixing time*, характеризующий время, в течение которого происходит облучение протонов для ядерного усиления Оверхаузера, ограничен параметром TR и временем снятия спектра, которое составляет ~500 мс. По итогам второй серии оказалось, что значения, большие 1500 мс, прироста SNR не дадут ни для какого пика, кроме PCr, рост которого прекращается при *mix time* = ~2500 мс. При необходимости использовать TR < 3 s, *mix time* тоже уменьшится, однако до значений ~1500 мс это не приведёт к потерям в сигнале за счёт NOE (кроме пика PCr, что не критично, поскольку его SNR и без того наибольший в ³¹P спектре мозга человека).

Ссылки

1. Manzhurtsev A.V. et al. *Russ Chem Bull* (2016) 65: 1630
2. Du F. et al. *JAMA Psychiatry*. 2014 Jan;71(1):19-27.

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ИМПУЛЬСНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ MEGA-PRESS
В ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕЙРОМЕДИАТОРНОГО СТАТУСА У
ПАЦИЕНТОВ С ЛЧМТ *IN VIVO***

Меньщиков П.Е.^{1,2,3}, Ахадов Т.А.¹, Семенова Н.А.^{1,2}

¹ НИИ НДХиТ, Москва

² ИХФ РАН, Москва

³ НИЯУ МИФИ, Москва

+79031203033., peeterem@gmail.com

При легкой черепно-мозговой травме (ЛЧМТ) обычно не наблюдается изменений анатомической структуры по данным МРТ и КТ, однако в ряде случаев в отсроченном периоде может приводить к различным эмоциональным и когнитивным расстройствам. Причиной функциональных повреждений могут быть посттравматические нарушения нейрохимических процессов торможения/возбуждения. В нашей работе впервые *in vivo* определялись концентрации основных тормозного (γ -аминомасляной кислоты (GABA)) и возбуждающего (глутамат (Glu)) нейромедиаторов у детей с ЛЧМТ в остром периоде с помощью импульсной последовательности (ИП) MEGA-PRESS (стандартной (GABA+) [1] и с симметричным подавлением сигнала от макромолекул (GABA-) [2]).

В данной работе в общей сложности принимало участие 19 детей. В группу пациентов ($n=11$, средний возраст -14.3 ± 2.3 .) входили дети, с диагнозом ЛЧМТ в остром периоде (время после с момента травмы 40 ± 17 часов). Контрольная группа нормы включала в себя 8 детей (средний возраст -15.0 ± 1.9). Сбор данных осуществлялся с использованием МР сканера Philips 3.0T AchievaTX. Помимо диагностических изображений протокол включал в себя [GABA+] MEGA-PRESS спектр ($TE=68ms$, $TR=1600ms$, 14 мс частотно-селектирующий импульс (ЧСИ), применяемый в области 1.9ppm и 7.56ppm) и [GABA-] MEGA-PRESS спектр с симметричным подавлением сигнала АП ($TE=80ms$, $TR=1600ms$, 20 мс ЧСИ, применяемый при $\delta = 1.9ppm$ и 1.5ppm).

По данным статистического анализа спектров GABA- отмечается достоверное увеличение [GABA] на 36% у группы пациентов с

Инженерно-физические технологии для биомедицины
 ЛЧМТ по сравнению с группой нормы, при этом [GABA+] показывает лишь тренд к увеличению (рис 1)

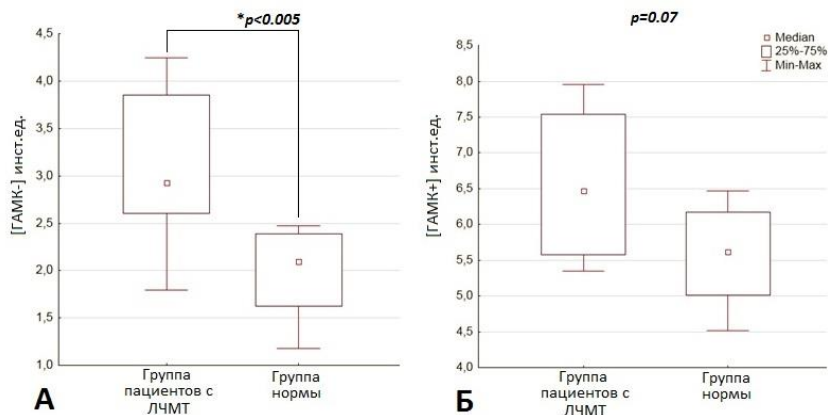


Рис.1. Диаграмма размаха [GABA-] (А). Диаграмма размаха [GABA+] (Б).

Найденное увеличение [GABA-] вероятнее всего являются следствием снижения экспрессии рецепторов, связывающих GABA. Измененные уровни [GABA-] могут выступать в роли маркеров возможных когнитивных нарушений после перенесенной ЛЧМТ. Важным методическим заключением данной работы является демонстрация большей эффективности ИП GABA- MEGA-PRESS с симметричным подавлением сигналов АП, чем ИП GABA+ MEGA, спектры которой содержат суммарный сигнал GABA+АП, в определении изменения [GABA].

Литература

1. M. Mescher, H. Merkle et al. Simultaneous in vivo spectral editing and water suppression. *NMR Biomed.* Vol.11. P.266–72 (1998)
2. R. Edden, P. Barker et al. Macromolecule-suppressed GABA-edited magnetic resonance spectroscopy at 3T. *Magn Reson Med.* Vol.68. Issue 3, P.657-61 (2012).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**МАГНИТНЫЕ ВИХРИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ
НАНОАГРЕВАТЕЛИ В МАГНИТНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ**

Несмеянов М.С.¹, Эпштейн Н.Б.¹, Усов Н.А.^{1,2}

¹НИЯУ МИФИ, Москва

²ИЗМИРАН, Троицк, Москва

конт. тел.: 8 (910) 5412619, e-mail: mackey55@mail.ru

В магнитной гипертермии [1], для локального нагрева биологических сред в переменном магнитном поле используются, в основном, суперпарамагнитные наночастицы железа и его оксидов с размерами $d \sim 10 - 15$ нм, существенно меньшими диаметра однодоменности, $D_c = 26$ нм. Это позволяет уменьшить амплитуду переменного магнитного поля до значений $H_0 \approx 100$ Э, безопасных по биомедицинским показателям. В данной работе, с помощью численного моделирования впервые показано, что магнитные вихревые состояния [2], реализующиеся в магнитных наночастицах с размерами $D > D_c$, обладают большим удельным поглощением энергии, и могут быть успешно использованы в магнитной гипертермии.

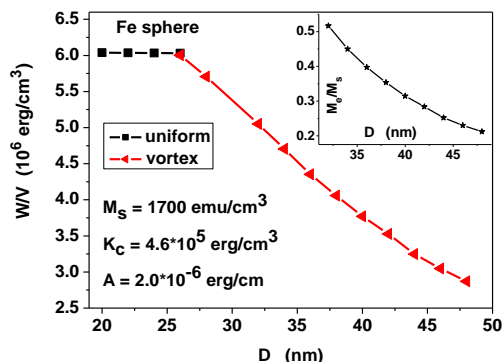


Рис.1. Энергетическая диаграмма однородных, и вихревых микромагнитных состояний в квазисферической наночастице железа. Вставка показывает зависимость магнитного момента вихря от диаметра частицы.

Как показывает вставка в Рис. 1, в интервале диаметров $D = 30 - 42$ нм полный приведенный магнитный момент частицы в вихре-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
 вом состоянии остается достаточно большим, $M_e/M_s = 0.3 - 0.6$, где $M_s = 1700 \text{ emu/cm}^3$ есть намагниченность насыщения железа. При этом, как показывает Рис. 2, поле перемагничивания вихря в этом интервале диаметров не превышает 100 Э, а соответствующее удельное поглощение энергии составляет порядка 1-2 кВт на грамм вещества. Существенно, что при этом тепло генерируется в объеме, в $(D/d)^3$ раз превышающем объем суперпарамагнитной наночастицы.

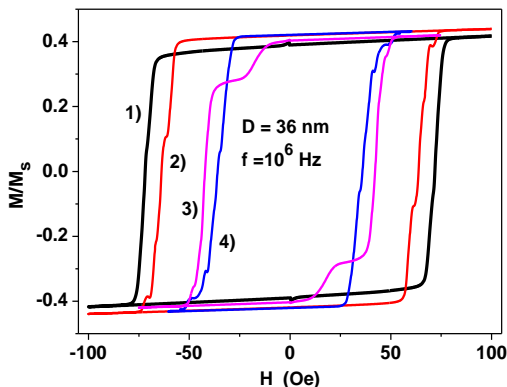


Рис.2. Низкочастотные петли гистерезиса наночастицы железа диаметром $D = 36 \text{ нм}$ на частоте $f = 10^6 \text{ гц}$ для различных неприводимых направлений, (1) $\omega = \psi = 0.0$; (2) $\omega = 0.955, \psi = \pi/4$; (3) $\omega = \pi/4, \psi = 0$; (4), $\omega = \psi = \pi/8$, магнитного поля по отношению к осям легкого намагничивания наночастицы железа.

Литература

1. E.A. Périgo, G. Hemery, O. Sandre, D. Ortega, E. Garaio, F. Plazaola, and F. J. Teran. Fundamentals and advances in magnetic hyperthermia. Applied Physics Review. Vol. 2, P.041302 (2015).
2. N.A. Usov and J.W. Tucker. Non-uniform equilibrium micromagnetic structures in small ellipsoidal particles. Material Science Forum. Vol. 373-376, PP.429-432 (2001).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ИЗМЕРЕНИЕ БИОКИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ I-131
ПРИ РАДИОЙОДТЕРАПИИ БОЛЬНЫХ
ТИРЕОТОКСИКОЗОМ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ
РЕКОМЕНДАЦИЙ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Никитенков А.П.¹ Русанова А.Н.¹, Гарбузов П.И.²,
Ефименко И.А.¹**

*1–Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ) Обнинский Институт Атомной Энергетики (ИАТЭ), Об-
нинск*

*2–Медицинский Радиологический Научный Центр им. А.Ф. Цыба – фи-
лиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск
+7(919) 034-5246*

antonnikitenkov@gmail.com

Радиационная защита является неотъемлемой частью радио-
нуклидной терапии. Меры радиационной безопасности для пациен-
тов, подвергающихся терапии I-131, все еще остаются предметом
постоянных дискуссий[1].

Цель исследования заключалась в проведении биокинетических
измерений I-131 у пациентов с тиреотоксикозом в процессе диа-
гностики и радиойодтерапии для составления рекомендаций по
радиационной безопасности.

Материалы и методы : Исследования проводились в отделении
радиохирургического лечения открытыми радионуклидами клини-
ки МРНЦ с января по февраль 2017 года. На диагностическом
этапе у пациентов с тиреотоксикозом проведены измерения
накопления и выведения радиофармпрепарата I-131 через 2, 4, 24 и
48 часов, а после введения лечебной активности измеряли мощ-
ность дозы на расстоянии 1 м от тела пациента для определения
удержания I-131 в щитовидной железе. Вычисления, основанные
на измерении биокинетики радиоактивного йода во всем теле и
щитовидной железе были получены при определении фракций за-
хвата щитовидной железой и экстратиреоидной фракции и эффек-
тивных периодов полувыведения. Период наблюдения мер радиа-
ционной безопасности при контактах с членами семьи и окружаю-
щими пациента людей были получены из этих параметров и нор-
мативных дозовых нагрузок.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

Результаты: Для анализа были использованы данные проспективного исследования 30 пациентов. Наблюдалась высокая изменчивость биокинетики ^{131}I : максимальное поглощение ^{131}I в щитовидной железе в диапазоне 16%-92% среднее значение составило 60,7 % (± 3 %). Средний эффективный период полураспада ^{131}I в остальных частях тела составлял 7,56 часов. Средний измеренный начальный уровень дозы на расстоянии 1,0 м после введения ^{131}I был 30,4 мкЗв/ч (диапазон 14–55 мкЗв). На основе измеренной биокинетики радиоактивного йода и мощности дозы были даны подробные инструкции для ограничения воздействия окружающих людей.

Заключение

Проведение фактических биокинетических измерений может устранить влияние ошибок вариабельности, связанных с индивидуальными особенностями фармакокинетики препарата ^{131}I у пациентов с тиреотоксикозом. Отмеченная изменчивость в биокинетике ^{131}I среди пациентов тиреотоксикозом усиливает потребность в специфических биокинетических измерениях радиойода у пациентов с точки зрения составления рекомендаций радиационной безопасности.

Литература

1. DS Ross, N Engl, J Med. Radioiodine therapy for hyperthyroidism.364(6):P.542–550 (2011).
2. Culver CM, Dworkin HJ. J Nucl Med . Radiation safety considerations for post-iodine-131 hyperthyroid therapy.;32(1):P.169–173 (1991).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ ОСТРОГО
ЛИМФОБЛАСТНОГО ЛЕЙКОЗА**

**Поляков Е.В.¹, Никитаев В.Г.¹, Проничев А.Н.¹, Дмитриева В.В.¹,
Моженкова А.В.², Тупицын Н.Н.², Френкель М.А.¹,**

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

²*Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина, Москва
конт. тел +7-903-005-68-98, e-mail, докладчика voterstreit@inbox.ru*

Диагностика острых лимфобластных лейкозов (ОЛЛ) и их вариантов базируется на морфологической, цитохимической и иммунофенотипической характеристике клеток лейкоемического пула. До настоящего времени не удалось выявить существенных корреляций между структурой бластов и их иммунофенотипическим статусом. При обычной световой микроскопии гетерогенность бластной популяции констатируется как в случаях Т-, так и В- вариантов ОЛЛ. В работе показано применение компьютерной микроскопии для определения вариантов острого лимфобластного лейкоза[1].

Цель данной работы - оценка применения текстурных характеристик на основе вейвлет преобразования и матрицы длин серий для определения Т- и В- вариантов ОЛЛ.

В ходе выполнения работы сформирована выборка препаратов 33 больных, из них у 15 был установлен Т-ОЛЛ, у 18 В-ОЛЛ. Морфоцитохимическое и иммунофенотипическое исследования проведены в лаборатории иммунологии гемопозеза РОНЦ им. Н.Н. Блохина (заведующий лабораторией профессор д.м.н. Н.Н. Тупицын).

Система для съемки изображений включает автоматизированный микроскоп Olympus BX43 с камерой Imperx IPX-4M1ST-GCFB.

Получено 6456 изображений лимфобластов костного мозга, из них 3754 у больных с Т-ОЛЛ, 2702 с В-ОЛЛ. Для полученных изображений рассчитывались текстурные и вейвлет характеристики по цветовым компонентам полутоновых изображений цветовых моделей RGB, XYZ, HSL, Lab, Luv, LHC, HLS, HSV, YUV, YIQ, YCbCr, CMY. Первый признак R_{MAX} является значением вейвлет признака «максимальный вейвлет коэффициент», расщичи-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
танный в цветовом пространстве HSV для координаты I (светлота).
Второй признак P_{IPS} является значением текстурного признака
«доли изображения в сериях», рассчитанного по матрице длин се-
рий в цветовом пространстве YCbCr для синей цветоразностной
компоненты Cb. Для разделение данных рассматривались обоб-
щенные характеристики M_{MAX} и M_{IPS} , определяемые как средние
значения характеристик P_{MAX} и P_{IPS} для группы клеток одного па-
циента с использованием классификатора Байеса с функциями рас-
стояния Евклида, Манхэттена и Чебышева в двумерном простран-
стве признаков[2].

В результате исследования по оценке применимости текстурных
и вейвлет признаков точность разделения Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ вариан-
тов острого с использованием классификатора Байеса составила
92% для расширенной выборки. Ранее была достигнута точность
87% с применением линейного классификатора и текстурных при-
знаков[1].

В дальнейшем предполагается продолжить работу по расшире-
нию выборки пациентов и поиску оптимальных характеристик раз-
деления при определении вариантов острого лимфобластного лей-
коза.

Литература

1. A.N. Pronichev, E.V. Polyakov, N.N. Tupitsyn, M.A. Frenkel, and
A.V. Mozhenkova. The use of optical microscope equipped with multi-
spectral detector to distinguish different types of acute lymphoblastic
leukemia. *Journal of Physics: Conference Series*, 784(1) (2017).

2. V.G. Nikitaev, O.V. Nagornov, A.N. Pronichev, E.V. Polyakov,
V.V. Dmitrieva. The use of the wavelet transform for the formation of
the quantitative characteristics of the blood cells images for the automa-
tion of hematological diagnostics *WSEAS Transactions on Biology and
Biomedicine*. Т. 12. С. 16-19. (2015).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ
К ВНЕШНИМ ФИЗИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Потапенков К.В.¹, Ким В.П.¹, Кокишаров Ю.А.¹, Ярославов А.А.²,
Сыбачин А.В.², Таранов И.В.³, Вдовин В.А.³, Черепенин В.А.³,
Гуляев Ю.В.³, Хомутов Г.Б.¹

¹*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
химический факультет, Москва, Россия*

³*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, Россия*

8-916-668-06-39., metalsonic@inbox.ru

В настоящее время важной и актуальной является проблема создания эффективных средств и методов капсулирования, адресной доставки и управляемого высвобождения биологически активных веществ, в частности, лекарственных препаратов, в живых организмах. Решение этой проблемы многократно повысит эффективность лекарственной терапии. Биомиметические мембранные везикулы - липосомы – представляют большой интерес для разработки управляемых средств капсулирования и доставки лекарств ввиду их биосовместимости и субмикронных размеров, способствующих их распространению через кровотоки в организме человека.

В данной работе приводятся результаты исследования влияния электрических и магнитных воздействий на нанокomпозитные липосомы, функционализированные полимерными молекулами и неорганическими наночастицами, обеспечивающими чувствительность к внешним физическим воздействиям. Синтезированные нами фосфатидилхолиновые липосомы имеют в своем составе молекулы амфифильного поликатиона стеароилспермина, обеспечивающего связывание на поверхности липосом наночастиц магнетита, золота и полианионов. Наночастицы магнетита обеспечивают чувствительность таких везикул к нетермическим физическим воздействиям - импульсам электрического поля и магнитным полям.

Для количественной оценки эффектов декапсуляции под действие внешних физических воздействий использовалась стандартная экспериментальная методика, основанная на измерении изме-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
нений проводимости суспензии липосом после внешних воздействий, обуславливающих высвобождение содержащегося в липосомах электролита (NaCl). Для этого предварительно формировались липосомы, содержащие во внутреннем объеме концентрированный раствор NaCl. Для исследования воздействия импульсного электрического поля на везикулы пробирка с раствором, содержащим нанокompозитные липосомы, помещалась между обкладками установки, способной генерировать импульсы электрического поля наносекундной длительности напряженностью до 45 кВ кВ. Установлено, что при напряженности поля более 15 кВ такие импульсы приводят к разрушению нанокompозитных липосом и выходу капсулированных веществ наружу [1]. Также изучалось воздействие магнитного поля на нанокompозитные липосомы. В данном эксперименте пробирка с водной суспензией липосом инкубировалась в поле постоянного магнита (2000 - 7000 Э) в течение часа, после чего исследовались изменения проводимости раствора. Под действием внешнего магнитного поля форма липосом менялась со сферической на эллипсоидальную.

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что наносистемы на основе функционализированных проводящими наночастицами липосом, могут послужить основой для создания новых эффективных средств капсулирования, адресной доставки и управляемого высвобождения различных биологически активных веществ в водных средах, перспективных для биомедицинских и других применений. Работа поддержана Российским Научным Фондом (проект 14-12-01379).

1. Гуляев Ю.В., и др., Дистанционная активация с помощью импульсного электрического поля нанокompозитных микрокапсул на основе комплексов липидов, полимеров и проводящих наночастиц, Журнал радиоэлектроники, 2014, №11, Стр. 1–32.

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОКСОРУБИЦИНА НА
РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МЕЗЕНХИМАЛЬНЫХ
СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА**

Ревкова В.А.¹, Пугачева М.Н.¹, Комарова Л.Н.¹

*1 – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национально-
го исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск
+7-930-753-13-63; rv5858@ya.ru*

Современная интенсивная противоопухолевая химиотерапия сопровождается многочисленными побочными эффектами, которые усиливают интоксикацию, вызывают токсическое повреждение клеток внутренних органов и зачастую оказываются лимитирующим фактором для продолжения лечения [1]. В связи с этим возникают определённые предпосылки для разработки новых подходов с наименьшим вредным воздействием на организм человека при использовании лекарственных препаратов и лучевой терапии.

В настоящее время общепринята методика определения противоопухолевого действия, ориентированная на оценку скорости роста опухоли [1]. Большое значение придаётся данным, полученным на моделях, свойства которых наиболее приближены к свойствам отдельных опухолей человека – на клеточных линиях.

Была изучена эффективность действия противоопухолевого препарата доксорубицина в сочетании с γ - облучением на рост МСК (мезенхимальных стволовых клеток) человека.

Оценка эффективности доксорубицина, γ - облучения и сочетанное действие доксорубицин + γ - облучение проводилось на МСК человека. При получении культур МСК источником костного мозга служили стерильные пунктаты из грудины или гребня подвздошной кости взрослых гематологически здоровых пациентов, которым проводилось плановое диагностическое исследование в клинике МРНЦ им. А. Ф. Цыба.

Суспензии клеток облучали в стерильных пенициллиновых флаконах на аппарате «Рокус АМ» (гамма-лучи Co^{60} , мощность дозы 1,419 Гр/мин) в дозе 4 Гр и через 15-20 мин после облучения высевали во флаконы Карреля с площадью дна 25 см². В питательную среду растущих культур МСК на стадии 60-80% конфлюэнт-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
ности прибавляли раствор доксорубина в концентрации 0,001 мг/мл. Выживаемость определяли по числу колоний, формируемых к 8 суткам после высева. Образовавшиеся колонии клеток фиксировали этанолом, красили по Романовскому-Гимза, затем проводили визуальный подсчет количества выросших колоний на поверхности флакона Карреля, используя инвертированный микроскоп.

Было показано, что выживаемость клеток после облучения составляла 40%, действие доксорубина в концентрации 0,001 мг/мл не значительно снижало выживаемость МСК (93%), при комбинированном действии химиопрепарата и облучения выживаемость мезенхимальных стволовых клеток составила 157%. Это свидетельствует о хорошо выраженном защитном действии химиопрепарата.

В дальнейшем исследование будет продолжено с использованием методики фракционированного облучения.

Литература

1. Elkind, M.M. The radiobiology of cultured mammalian cells / M.M. Elkind, G.F. // Gordon and Breach Sci. Publ., 1967.
2. Скопин, П.И. Изучение влияния препаратов антиоксидантного действия на физиологические реакции животных, получающих противоопухолевую химиотерапию/ П.И. Скопин и др.// Биомедицина. – 2011. – № 3. – С. 70-75.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

ПОЛУЧЕНИЕ И МОДИФИКАЦИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В БИОМЕДИЦИНЕ

Рутенберг В.Д.^{1,2}

Студент (магистрант)

¹*Московский физико-технический институт (Государственный университет), Москва, Россия*

²*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва, Россия*

+7 (915) 26-26-685, rutenberg@phystech.edu

В настоящее время материалы на основе полимера поливинилпирролидона (ПВП) широко используются в разнообразных областях. Однако основным является его применение в медицине: раневые повязки; для выведения токсичных средств; в качестве основы плазмозаменяющих растворов; продление действия лекарств; антибактериальные агенты; матрицы для культивирования клеток; адресная доставка лекарств; стоматологические композиты и многое другое.

Широкое распространение в медицине полимер получил благодаря наличию уникальных свойств: отсутствие токсичности, растворимость в большинстве органических растворителях, хорошие адгезионные свойства, склонность к комплекснообразованию, биосовместимость.

Один из способов получения материалов на основе ПВП это метод электроформования (ЭФ). ЭФ-процесс – формирование волокон в электрическом поле в результате действия электростатических сил на струю полимерного раствора. Электроформование это удобный технологичный метод получения нетканого материала из волокон микронного и субмикронного диапазона. Преимущество данного метода заключается в том, что, изменяя параметры установки и параметры раствора, можно влиять на морфологию полученного вещества.

Методом электроформования был исследован процесс образования волокон из растворов ПВП различных молярных масс (35,

Инженерно-физические технологии для биомедицины
360, 1 300 кДа), в качестве растворителя использовали дистиллированную воду и дистиллированную воду/спирт (1:1). Данный метод позволяет получать материалы, которые по структуре и свойствам похожи на нативные ткани организма. Поэтому такие материалы находят широкое применение в медицине.

Для того, чтобы подобрать оптимальные параметры процесса электроформования, были исследованы электропроводящие и реологические свойства растворов. Результаты реологических исследований позволили установить концентрацию ПВП, достаточную для начала процесса волокнообразования в электрическом поле. Установлено, что вязкость и электропроводность растворов также зависят от типа растворителя.

В процессе выполнения работы удалось подобрать оптимальные значения параметров процесса электроформования, что позволило получить волокнистый материал на основе ПВП со средним диаметром волокон от 0.5 мкм до 4 мкм.

Исследованы методы сшивки волокнистого материала на основе ПВП с целью его перевода в нерастворимое состояние. Обнаружено, что после помещения в воду волокнистая структура сшитого материала сохраняется, полученные материалы обладают высокой степенью влагоемкости. С целью изучения механизма сшивания материала, были изучены ИК спектры образцов до и после сшивки. Полученный материал близок по своей структуре и физико-химическим свойствам к децеллюляризованным тканям внеклеточного матрикса, поэтому такие материалы могут найти широкое применение в медицине в качестве ранозаживляющих повязок и компонентов тканеинженерных конструкций.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ
ЛАЗЕРНОГО СВАРНОГО ШВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПРИПОЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И
БЕЛКА**

Рябкин Д.И., Римшан И.Б., Герасименко А.Ю.

НИУ МИЭТ, Москва, Зеленоград
+7 926 820 81 79, ryabkin@bms.zone

Лазерная сварка биологических тканей является альтернативой традиционным способам их соединения. Лазерные сварные швы нетоксичны, герметичны для жидкостей и обладают малыми геометрическими размерами.

С целью повышения прочности сварного соединения и снижения времени регенерации свариваемых тканей используются специальные лазерные припои. Как правило это водные дисперсии белков. В качестве одного из компонентов лазерного припоя возможно использование углеродных нанотрубок (УНТ) [1]

Целью исследования является определение механизма формирования сварного шва при использовании припоя на основе водной дисперсии УНТ и бычьего сывороточного альбумина (БСА).

Экспериментальная установка для лазерной сварки биологических тканей основана на диодном лазере с длиной волны 808 нм. Установка оснащена обратной температурной связью.

В качестве биоткани использовалась кожа свиньи. В таблице 1 представлены значения прочностей на разрыв. Относительная прочность на разрыв вычислялась как отношение σ/σ_m , %, где $\sigma_m = 10,3 \pm 1,9$ МПа, σ_{cp} - средняя прочность на разрыв шва.

Максимальное значение прочности на разрыв соответствует температурам сварки 50-55°C [2, 3].

Термодинамические параметры денатурации альбумина были определены методом дифференциальной сканирующей калориметрии с помощью термического анализатора Mettler TA4000.

Все ДСК кривые сравнивались с термограммами альбумина с 20% содержанием воды, характеризующийся пиком денатурации при $T_d = 56,2 \pm 0,4$ °C.

Таблица 1. Прочности на разрыв лазерный сварных швов, полученных при разных температурах

Т, °С	$\sigma_{ср}$, МПа	σ/σ_m , %	Т, °С	$\sigma_{ср}$, МПа	σ/σ_m , %
40±1	0,13±0.01	1,2	55±1	0,26±0.01	2,5
45±1	0,15±0.02	1,4	60±1	0,22±0.01	2,1
50±1	0,26±0.03	2,6	65±1	0,143±0.03	1,4

Максимальна прочность лазерного сварного шва при использовании припоя на основе водно-белковой дисперсии альбумина достигалась при температуре сварки в диапазоне 50-55°С. Температура денатурации бычьего сывороточного альбумина равна 56,2±2°С. Из чего следует, что основным фактором формирования лазерного сварного соединения является денатурация входящего в состав лазерного припоя белка.

Литература

1. Ryabkin, D.I., Gerasimenko A.Y., Ichkitidze L.P., Pavlov A.A., Piyankov E.S, Savelyev, M.S, Selishchev S.V., Rimshan I.B., Zhurbina N.N., Podgaetskii V.M. Laser System with Adaptive Thermal Stabilization for Welding of Biological Tissues // Biomedical Engineering. – 2016. – Т. 49. – №. 6. – С. 344-348.
2. Blagov, E. V., Gerasimenko, A. Y., Dudin, A. A., Ichkitidze, L. P., Kitsuk, E. P., Orlov, A. P., Pavlov A. A., Polokhin A. A., Shaman, Y. P. (2016, April). Development of matrix photoreceivers based on carbon nanotubes array. In Saratov Fall Meeting 2015 (pp. 991710-991710). International Society for Optics and Photonics.
3. Rimshan I.B., Ryabkin D.I., Savelyev M.S., Pyanov I.V., Eganova E.M., Pavlov A.A., Podgaetsky V.M., Ichkitidze L.P., Selishchev S.V., Gerasimenko A.Yu. The tensile strength characteristics study of the laser welds of biological tissue using the nanocomposite solder // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 9917. – pp. 99170I-1-99170I-7.

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕКСТУРНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕР ЛЕЙКОЦИТОВ В СИСТЕМАХ
КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ**

***Садова А.А.¹, Никитаев В.Г.¹, Проничев А.Н.¹,
Поляков Е.В.¹, Дмитриева В.В.¹, Моженкова А.В.²,
Тупицын Н.Н.², Френкель М.А.²,***

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва*

²*Российский онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина, Москва
конт. тел +7985-448-43-35, e-mail, докладчика n.sadova2014@yandex.ru*

Исследование и применение систем компьютерной микроскопии при диагностике острых лейкозов требует проведения сложных и затратных многофакторных экспериментов, поэтому задачу проектирования необходимо решать по частям, с последующим объединением частных результатов.

Автоматизированная обработка клеток крови включает ряд этапов: предварительную обработку; описание исследуемых объектов на языке признаков; классификацию (например, по типу клетки бласт — небласт).

Особенностями, затрудняющими анализ микроскопических изображений, рассматриваемых клеток крови, является близость в пространстве характеристик кластеров разных типов, что в целом ряде случаев объясняется значительным визуальным сходством бластных и небластных клеток.

Работа посвящена актуальному направлению оценки информативности характеристик описанных в статье[1].

Целью работы является экспериментальное исследование информативности текстурных и вейвлет характеристик, по отдельности и в сочетаниях, используемых при описании ядер лейкоцитов для диагностики острых лейкозов.

Для проведения исследования сформирована выборка из 45 гематологических препаратов (17 препаратов периферической крови и 28 препаратов костного мозга из них: 12 препаратов с Т-ОЛЛ и 16 с В-ОЛЛ).

Все препараты были фиксированы и окрашены по методу Май-Грюнвальд-Романовского. Морфологическое исследование мазков

Инженерно-физические технологии для биомедицины крови и аспириатов костного мозга осуществлялось в лаборатории иммунологии гемопоэза ФГБУ «РОИЦ им. Н.Н. Блохина» МЗ РФ двумя экспертами. Диагноз ОЛЛ был установлен на основании морфологического, цитохимического и иммунофенотипического исследований.

Для оценки информативности текстурных и вейвлет характеристик применялись объективные параметры, именуемые операционными характеристиками исследования (теста): чувствительность, специфичность и точность[2].

Получены предварительные экспериментальные данные. Чувствительность Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 81%, доноров и Т-ОЛЛ 78%, доноры и В-ОЛЛ 82%. Специфичность: Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 80%, доноров и Т-ОЛЛ 77%, доноры и В-ОЛЛ 84%. Точность Т-ОЛЛ и В-ОЛЛ 80%, доноров и Т-ОЛЛ 79%, доноры и В-ОЛЛ 83%. Полученные результаты свидетельствуют о близости кластеров клеток в признаковом пространстве. Актуальным направлением является дальнейший поиск оптимальных характеристик для разделения клеток, подбор классификатора и функций расстояния.

Предполагаемое развитие работы в направлении применимости текстурных и вейвлет характеристик вместе и по отдельности для расширенной выборки.

Литература

1. В.Г. Никитаев, О.В. Нагорнов, А.Н. Проничев, Е.В. Поляков, В.Ю. Сельчук, К.С. Чистов, В.Н. Блиндарь, В.В. Дмитриева, С.М. Зайцев, В.В. Гордеев. Исследование эффективности применения вейвлет-анализа в информационно-измерительных системах диагностики острых лейкозов. Измерительная техника №10, Стр. 59-62, (2014).

2. А.Ю. Васильев, А.Ю. Малый, Н.С. Серова. Анализ данных лучевых методов исследования на основе принципов доказательной медицины: учебное пособие (М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**БИО-МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ
ОТРАВЛЕНИЯ УГАРНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Таболіч А.А.¹, Асимов М.М.²

¹ *Белорусский государственный университет, г. Минск*

² *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск
тел. +375257938731, e-mail: nastya.tabolich@mail.ru*

Согласно данным статистики при пожарах 76% смертей происходит в результате отравления продуктами горения, в том числе и угарным газом (СО). Согласно проекту газпрома «Информационная кампания по профилактике отравлений угарным газом», проведена статистика отравлений угарным газом в КБР, за период декабря месяца 2015 года и составила 13 человек.[1] Исходя из вышесказанного, разработка новых методов и технологий для устранения отравляющего действия угарного газа является весьма актуальной задачей. Поиск методов позволяющих эффективно устранить отравляющее действия угарного газа в настоящее время занимают в ведущих мировых научных центрах. Было установлено, что процесс отравления угарным газом организма человека связан с формированием комплекса гемоглобина с угарным газом.[2] Стабильность комплекса НbСО превышает стабильность комплекса с кислородом - оксигемоглобина крови, что вызывает гипоксию. Общим подходом в решении проблемы устранения гипоксии является локальное повышение концентрации O_2 в ткани путем его диффузии извне через кожный покров. Широко используется в практике метод - принудительной вентиляции легких чистым кислородом и метод гипербарической оксигенации.

Целью настоящего исследования является экспериментальное определение применения оптических методов для устранения отравляющего действия угарного газа и их эффективность.

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по изучению взаимодействия излучения лазера *in vivo* с длинами волн 530 нм, 540 нм и 570 нм для локального повышения уровня кислорода в области облучения. Экспериментально проводились исследования с использованием лазеров, а степень насы-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
щения кислородом биоткани в области облучения фиксировалась
на сертифицированном приборе, представленном на рис.1.

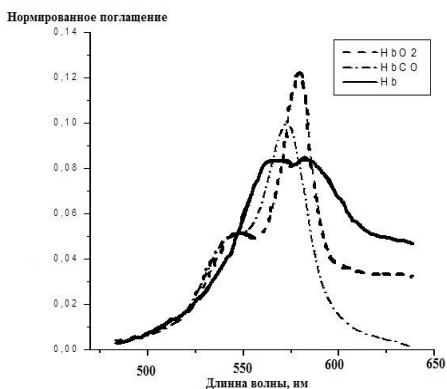


Рис.1 Транскутантный монитор
серии TCM-300.

Рис.2 спектр поглощения Hb, HbCO и
HbO₂ в диапазоне длин волн 475-655 нм

В результате проведенных экспериментов были получены такие данные, как уровень оксигенации биоткани *in vivo*, для различных испытуемых—добровольцев, спектры поглощения гемоглобина (Hb) оксигемоглобина (HbO₂) и карбоксигемоглобина (HbCO) представленные на рис.2.

Полученные результаты дали научную основу для разработки лазерно-оптической технологии устранения отравляющего действия угарного газа. Применение данного метода существенно может сократить потери при отравлении угарным газом. Существенным является тот факт, что предложенная технология может найти широкое применение.

Литература:

1. В.В.Иванова. Угарный газ – наш общий враг. (Нальчик: Газпром. 2015).
2. В.Н.Александров. Отравляющие вещества. (М: Военное издательство. 1990).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ И
КАРБИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ
АБЛЯЦИЕЙ**

**Умбеталиева К.Р.^{1,2}, Харин А.Ю.², Тимошенко В.Ю.^{1,2,3},
Кабашиин А.В.^{2,4}, Завестовская И.Н.^{1,2}**

¹ *Физический Институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия*

² *НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия*

³ *МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

⁴ *Aix Marseille University, CNRS, LP3 UMR 7341, Marseille, France
+7 (916) 372-04-73, k.umbetalieva@gmail.com*

В последнее время для применения в биомедицине активно исследуются нетоксичные наночастицы на основе кремния, формируемые лазерной абляцией [1]. В нашей работе были получены и исследованы наночастицы, формируемые лазерной абляцией твердых мишеней Si и SiC в деионизованной воде или в водном растворе биополимера (декстран). Абляция выполнялась 100 фс лазерными импульсами. Концентрация наночастиц в растворе составляла 100 мкг/мл, а их размеры, определенные по данным просвечивающей электронной микроскопии, составили 10-50 нм. Суспензии были исследованы методом динамического рассеяния света (ДРС), в результате чего были определены электрокинетический потенциал и гидродинамические размеры наночастиц. Также в стандартном спектрофотометре были измерены спектры оптического поглощения суспензий.

На рис. 1 представлены типичные спектры поглощения света наночастицами. Видно, что у наночастиц Si поглощение больше, что обусловлено их меньшей шириной запрещенной зоны. Из рис.2 видно, что гидродинамические размеры наночастиц SiC меньше размеров наночастиц Si, что может быть связано с меньшей вероятностью стехиометрической кристаллизации SiC. Добавление декстрана приводит к уменьшению размеров наночастиц Si, что можно объяснить ограничением процессов диффузии и кристаллизации наночастиц Si в присутствии молекул полисахарида.

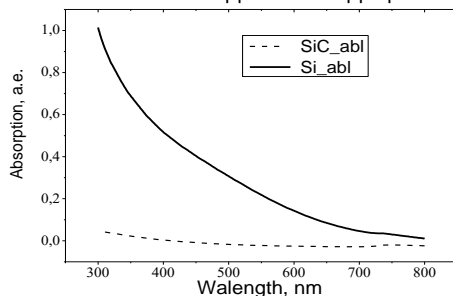


Рис.1. Спектры поглощения света водными суспензиями наночастиц Si и SiC.

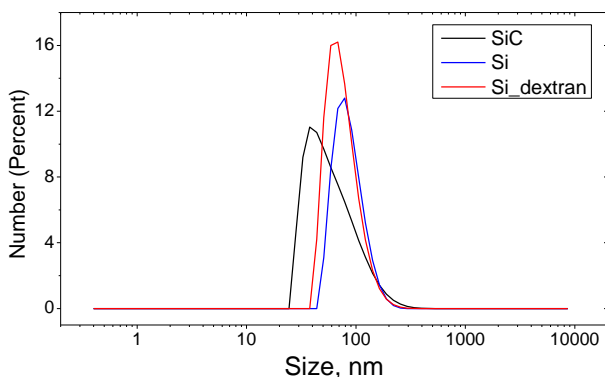


Рис.2. Полученные из спектров ДРС распределение наночастиц по размерам для SiC, Si и Si+dextran.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления оптическими свойствами и размерами наночастиц на основе кремния при лазерной абляции в жидкости. Так, поглощение света видимого диапазона спектра наночастицами чистого кремния можно использовать для фотоиндуцированной гипертермии опухолей.

Литература

1. A. V. Kabashin, V. Yu. Timoshenko. Nanomedicine 11 (17) 2247-2250 (2016).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ
ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ АНОДОВ АППАРАТА
КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Федотов И.В., Севрюков О.Н., Сучков А.Н., Калинин Б.А.,
Иванников А.А., Немчинов Ю.М.**

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет “МИФИ”
(Московский инженерно-физический институт)
89166448568, fed_ivan@mail.ru*

Изготовление рентгеновских трубок для аппаратов компьютерной томографии и ангиографии требует надежных методов соединения, которые должны обеспечить долговременное функционирование оборудования. Основным энергонапряженным элементом трубки является анод, который позволяет получить за короткое время высокий флюенс рентгеновского излучения. Анод рентгеновской трубки состоит из двух основных элементов – диска из низколегированного молибденового сплава марки TZM, с напыленной на него методом газофазного осаждения вольфрамовой дорожкой, и диска-охладителя, изготовленного из высокоплотного графита МПГ-6. Они должны быть соединены таким образом, чтобы обеспечить надёжное и длительное функционирование изделия в условиях высоких температур (до 1500 °С) и касательных нагрузок, вызванных быстрым вращением анода (до 9000 об/мин). Известен способ соединения молибденового сплава TZM и высокоплотного графита с помощью контактно-реактивной пайки цирконием [1]. Пайка проводится при температурах выше температуры эвтектики Mo-Zr (1550 °С). При таких температурах после охлаждения могут возникать высокие термонапряжения в паяном соединении, что может впоследствии повлиять на его надёжность. Поэтому более предпочтительным является использование припоев с меньшей температурой плавления. Для пайки углеродсодержащих материалов применяют сплавы на основе серебра, активированные титаном или цирконием [2,3], однако такие припои не обеспечивают достаточную термостойкость соединения. Целью настоящей работы является разработка припоя, обладающего приемлемой

Инженерно-физические технологии для биомедицины
температурой плавления (до 1400 °С) и обеспечивающего высокую
температуростойкость паяного соединения.

Представлены результаты разработки технологии получения порошкового припоя Ti-40Zr-8.5Nb-1.5V и режимов высокотемпературной пайки сплава TZM и графита МПГ-6. Определен фазовый состав припоя, изучено структурно-фазовое состояние и влияние механической обработки поверхности графита на прочность паяных соединений, проведены эксперименты по оценке устойчивости паяного соединения к воздействию высоких (до 1680 °С) температур. Спаян анод диаметром 100 мм – рис.1, который выдержал на предварительных испытаниях 5 циклов вращения до 5000 об/мин. в течении 1 минуты с резкой остановкой за 2 секунды.

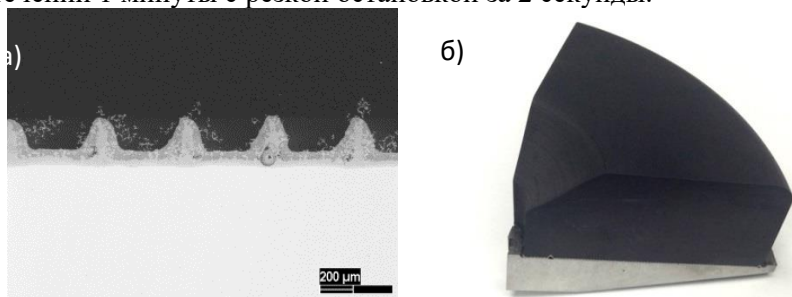


Рис.1. а) Микроструктура паяного соединения сплав TZM–графит МПГ-6, б) фрагмент анода диаметром 100 мм после испытаний

Литература

1. Non-destructive evaluation of brazed joints by means of acoustic emission, H. Traxler , W. Arnold , W. Knabl and P. R Dhammer, Journal of Acoustic Emission 20 (2002), pp.257-264, ISSN: 0730-0050
2. Brazing of C/C Composites and Ni Base Alloys With Ag-Cu-Ti and Fe-Based Braze Filler Alloys Toshi-Taka Ikeshoji, Tetsutaro Amanuma, Akio Suzumura, Takahisa Yamazaki , Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan
3. Kinetics of carbon fiber reinforced composite brazed by Ag-10Ti active braze, W.Qu, H.Li, Z. Zhang and H. Zhuang, Beijing/CN

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ОПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА КОСТНЫХ
ИМПЛАНТАТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОБРАБОТКИ**

**Фролов О.О.¹, Тимченко П.Е.¹, Тимченко Е.В.¹, Волова Л.Т.²,
Долгушкин Д.А.², Мещеряков В.Д.¹**

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет), Самара

² Самарский государственный медицинский университет, Самара
конт. тел.: 89370702139, e-mail: laser-optics.timchenko@mail.ru

Восстановление костной ткани после переломов является важной медико-социальной проблемой современного мира. Костные имплантаты используются в реконструктивной хирургии для восстановления структурной целостности костей и повышения остеогенного потенциала костной ткани [1]. Для трансплантации используются как аутологичный, так и аллогенный материал. Деминерализованный лиофилизированный костный матрикс отличается выраженной остеоиндуктивностью, однако её проявления и структурная прочность материала зависят от способов его обработки. Костные имплантаты должны быть неиммуногенными, биорезорбируемыми, обладать определёнными физико-механическими и химико-биологическими свойствами [2]. Поэтому контроль состава аллогенной костной ткани в процессе её получения и обработки является весьма актуальной проблемой при создании оптимального протокола изготовления имплантата.

Объектами исследования являлись образцы деминерализованной костной ткани размерами 5*5*5 мм., полученные различными способами, в том числе с применением низкочастотного ультразвука и обработкой детергентами.

Цель работы: исследование влияния ультразвуковой обработки на состав костных имплантатов.

Оптический контроль состава был ранее осуществлен на образцах порошка гидроксиапатита [3]. Установлено, что степень обработки характеризуется изменениями в спектрах КР на волновых числах 959 см^{-1} и 1065 см^{-1} , соответствующих фосфат- и карбонат-ионам. При увеличении времени деминерализации наблюдается

Инженерно-физические технологии для биомедицины
снижение концентрации минеральных веществ по отношению к органическому компоненту.

В качестве основного метода исследований биоимплантатов был использован метод спектроскопии комбинационного рассеяния, реализуемый с помощью высокоразрешающего спектрометра Shamrock sr-303i со встроенной охлаждаемой камерой DV420A-OE, обеспечивающей спектральное разрешение 0,15 нм, и лазерного модуля LuxxMaster LML-785.0RD-04. Диапазон сканирования длин волн от 190 нм до 1200 нм; разрешение камеры 1024*255 пикселей, мощность лазера 50-500 мВт.

Исследованы особенности спектров комбинационного для костных имплантов, изготовленных по различным протоколам деминерализации. Установлено, что процесс деминерализации характеризуется различием на волновых числах 428, 585, 960, 1065, 1243 и 1555 см⁻¹, соответствующих значимым для качества имплантата компонентам: гидроксипатиту и коллагену (амид I и амид II). Спектроскопия комбинационного рассеяния может быть использована для оценки качества костных имплантатов в процессе их обработки.

Проведён двумерный анализ введённых оптических коэффициентов, позволяющих оценить качество костных имплантатов, изготовленных по различным протоколам деминерализации с использованием ультразвука.

Литература

1. I.A. Kirilova. "Demineralized bone graft as a stimulator of bone formation: current concepts," Spine Surgery, number 3, 105-110 (2004).
2. G.N. Berchenko. "Bone grafts in traumatology and orthopedics" Biomaterials, №9, 4-5 (2008).
3. P.E. Timchenko. et al. "Spectral analysis of allogeneic hydroxyapatite powders" J. Phys.: Conf. Ser. 784 012060 (2017).

Инженерно-физические технологии для биомедицины
**ИК-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛЬБУМИНА С Fe (III)**

***Хисамова Г.И.¹, Троценко И.В.¹, Плотникова Л.В.¹,
Успенская М.В.¹, Поляничко А.М.², Гарифуллин А.Д.³,
Волошин С.В.³***

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,

2 Санкт-Петербургский государственный университет,

*3 Российский научно-исследовательский институт гематологии и трансфузиологии, Санкт-Петербург, Россия
Студент, guz.xisamowa@yandex.ru, ljusja@mail.ru*

Всего в организме человека находится три-четыре грамма железа. Причем большая его часть (3,5 мг) связана и переносится белками плазмы крови: гемоглобином (68% железа всего организма), ферритином (27% от всего железа) и трансферрином (0,1% от всего железа). Однако известно, что иногда происходит неспецифическое связывание катионов железа с другими транспортными белками. В частности, с альбумином. Этот процесс наблюдается при «перегрузке» организма железом, т.е. высоким уровнем насыщения трансферрина (основного переносчика железа в плазме).

Ввиду малоизученности взаимодействия альбуминов с катионами железа в данной работе было проведено ИК-спектрометрическое исследование их комплексообразования. Измерения осуществлялись на ИК-Фурье спектрометре Bruker Tensor 37.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛАПАНОВ СЕРДЦА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИХ ДЕЦЕЛЛЮЛЯРИЗАЦИИ

***Шалковская П.Ю.¹, Тимченко Е.В.¹, Тимченко П.Е.¹,
Волова Л.Т.², Долгушкин Д.А.², Трапезников Д.С.¹***

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет), Самара

² Институт экспериментальной медицины и биотехнологий (СамГ-МУ), Самара

конт. тел+79170365341, e-mail: pshalkovskaya@mail.ru

Проблема лечения болезней клапанов сердца у людей является приоритетной задачей современной медицины. Заболевания клапанов являются одной из основных причин болезней сердца и нередко приводят к смерти пациента [1, 2]. Один из методов создания имплантатов для замещения патологически измененных клапанов сердца – децеллюляризация нативных тканей [3].

В качестве материала исследования использованы нативные и децеллюляризованные аортальные и митральные клапаны половозрелых баранов. Децеллюляризацию проводили согласно протоколу, предоставленному профессором А. Лихтенбергом (Дюссельдорф, Германия). Образцы исследования были изготовлены по технологии «Лиопласт»® (ТУ-9398-001-01963143-2004).

Спектральные характеристики образцов изучали с помощью экспериментального стенда, включающего в себя высокоразрешающий цифровой спектрометр Shamrock sr-303i с встроенной охлаждаемой камерой DV420A-0E, волоконно-оптический зонд для спектроскопии комбинационного рассеяния RPB785, совмещённый с лазерным модулем LuxxMaster LML-785.0RB-04 (с регулируемой мощностью до 500 мВт, длина волны 785 нм).

В результате проведенных исследований получены следующие выводы:

- В процессе децеллюляризации клапанов сердца выявлено незначительное уменьшение интенсивности на волновых числах 1440см^{-1} , 1062см^{-1} , соответствующие липидам и гликозаминогликанам, а также уменьшение интенсивности на волновых числах 812

Инженерно-физические технологии для биомедицины см^{-1} и 1340 см^{-1} , соответствующих фосфодиэфирной связи РНК и нуклеиновых кислот (ДНК);

- Проведен двумерный анализ, позволивший сравнить изменения основных компонентов нативных образцов и образцов, подвергнутых децеллюляризации.

Литература

1. О.С. Данилина. Комплекс суточного мониторинга гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы человека. Вестник Пензенского государственного университета. Т.11. №3. С.114–117 (2015).

2. J. Lampropulos. Most Important Outcomes Research Papers on Valvular Heart Disease. Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes Topic Review. Vol.5. Issue 6. P.95-103 (2012).

3. А.В. Лаврешин. Децеллюляризация аортальных аллографтов и их морфологическая оценка. Гены и клетки. Том.9. №1. С.64-71 (2014).

Инженерно-физические технологии для биомедицины

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТКАНОГО
ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ИНСУЛИНОСОДЕРЖАЩЕГО БИОСОВМЕСТИМОГО
КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ**

Шариков Р.В.

Московский Физико-Технический Институт (государственный университет), Москва

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», Москва

+7-906-084-25-69, romanpb4@gmail.com

В данной работе исследован процесс получения нетканых волокнистых материалов на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) методом электроформования, а также их свойства. Такие материалы на основе ПЭТФ применяются в областях промышленности, а также используются в биомедицинских разработках.

Полученный материал предполагается использовать для создания внутреннего слоя инсулиносодержащего биосовместимого контейнера, предназначенной для лечения сахарного диабета 1-го типа. [1, 2]

Для получения волокнистой структуры в ходе работы был использован метод электроформования, который приводит к образованию волокон под действием электростатических сил постоянного внешнего электрического поля на заряженную струю полимерного раствора.

Были произведены реологические исследования растворов полимера на основе ПЭТФ в гексафторизопропанол (ГФИП) с электропроводной добавкой и без нее. По результатам электрореологических исследований растворов ПЭТФ в ГФИП с концентрациями в них полимера от 1% до 12 % определена концентрация кроссовера, более 6 %, а также разработаны режимы получения нетканых волокнистых материалов на основе растворов с концентрациями 6 %, 9 % и 12 %.

Для устранения дефектов волокон увеличивали электропроводность с использованием добавки – тетрабутиламмоний йодид

Инженерно-физические технологии для биомедицины (ТБАЙ). Электропроводность таких растворов варьировалась от 2,5 до 120 мкСм/см.

Для получения волокнистой структуры из полимерного раствора на основе ПЭТФ также варьировались такие параметры формирования, как напряжение, расстояние от капилляра до осадительного электрода, расход полимерного раствора.

В ходе эксперимента были получены нетканые волокнистые материалы, а также проведены исследования их структурных и механических свойств. Некоторые структурные параметры представлены в таблице 1.

Проведенные клеточные исследования совместно с лабораторией генетики стволовых клеток «Медико-генетического научного центра» установили, что материалы являются не токсичными и имеют хорошие антиадгезионные свойства.

Сделан вывод о возможности использования материала на основе ПЭТФ для создания инсулиносодержащего биосовместимого контейнера.

Работа выполнена на оборудовании ресурсных центров Курчатовского комплекса НБИКС-технологий. Автор выражает благодарность своему научному руководителю Тенчуру Т.Х.

Таблица 1. Структурные параметры образцов на основе ПЭТФ.

№ образца	Диаметр волокна	Плотность образца, г/см ³	Плотность упаковки, %	Макс поры, мкм
1	0,61±0,17 мкм	0,17 г/см ³	12,1 %	2,3 мкм
2	0,16±0,05 мкм	0,25 г/см ³	17,9 %	2,5 мкм
3	0,21±0,06 мкм	0,20 г/см ³	14,5 %	2,3 мкм
4	1,66±0,33 мкм	0,18 г/см ³	13,1 %	7,5 мкм

Литература

1. Chen S. H. et al. Effect of TheraCyte-encapsulated parathyroid cells on lumbar fusion in a rat model // Eur. Spine J. -Sep. 21(9). - P. 1734-1739. - 2012.

2. Bruin et al. Maturation and function of human embryonic stem cell-derived pancreatic progenitors in macroencapsulation devices following transplant into mice // Diabetologia. -- Sep. 56(9). - P. 1987-1998. - 2013.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТО-ДИПОЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА УДЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ АНСАМБЛЕМ КЛАСТЕРОВ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Шершнев Р.В.¹, Ермаков С.В.¹, Усов Н.А.^{1,2}

¹НИЯУ МИФИ, Москва

²ИЗМИРАН, Троицк, Москва

конт. тел. (910) 5977651, e-mail: RVShershnev@yandex.ru

Одной из центральных проблем современных исследований по магнитной гипертермии [1] является анализ влияния сильного магнито- дипольного взаимодействия на интенсивность поглощения энергии переменного магнитного поля ансамблем магнитных наночастиц. В данной работе с помощью численного решения стохастического уравнения Ландау- Лифшица вычисляется удельное поглощение энергии переменного магнитного поля ансамблем кластеров наночастиц магнетита, широко используемых в биомедицинских исследованиях. В развиваемом подходе принимаются во внимание как тепловые флуктуации магнитных моментов наночастиц, так и влияние сильного магнито- дипольного взаимодействия между наночастицами плотного кластера на его магнитные характеристики. Показано, что интенсивность магнито- дипольного взаимодействия определяется плотностью заполнения кластера $\eta = N_p V / V_{cl}$ где N_p есть среднее число магнитных наночастиц в типичном кластере ансамбля, V есть объем наночастицы, а V_{cl} есть объем квази- сферического кластера. Рис. 1 показывает удельное поглощение энергии переменного магнитного поля с амплитудой $H = 100$ Э и частотой $f = 400$ кГц ансамблем случайных кластеров наночастиц магнетита с различной плотностью заполнения в интервале $0.005 \leq \eta < 0.4$. Как видно из Рис. 1, для разреженного кластера наночастиц магнетита удельное поглощение энергии может достигать значений порядка 250 – 300 Вт на грамм вещества. Однако с увеличением параметра η удельное поглощение энергии существенно уменьшается. Зависимость удельного поглощения энергии от среднего диаметра наночастиц, характерная для ансамбля слабо взаимодействующих магнитных наночастиц [2], сохраняется и при увеличении параметра η , но становится менее выраженной. В рабо-

Инженерно-физические технологии для биомедицины
те показано также, что наличие корреляций в пространственном
распределении направлений легких осей анизотропии отдельных
наночастиц кластера слабо влияет на удельное поглощение энергии
кластером в переменном магнитном поле.

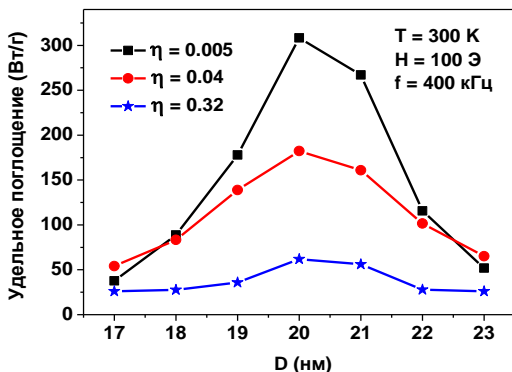


Рис. 1. Удельное поглощение энергии ансамблем кластеров наночастиц магнетита с различной средней плотностью η в зависимости от среднего диаметра наночастиц D .

Литература

1. Ф. Е. А. Périgo, G. Hemery, O. Sandre, D. Ortega, E. Garaio, F. Plazaola, and F. J. Teran. Fundamentals and advances in magnetic hyperthermia. Applied Physics Review. Vol. 2, P.041302 (2015).
2. N. A. Usov. Low frequency hysteresis loops of superparamagnetic nanoparticles with uniaxial anisotropy. Journal of Applied Physics. Vol. 107, P.123909 (2010).

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИИ ГРЕБЕНЧАТЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Яковлев И.А., Акулиничев С.В.

*Институт ядерных исследований РАН, г. Троицк
yakovlev@med.inr.ru*

Протонная лучевая терапия является одной из перспективных радиационных технологий лечения онкологических заболеваний. По способу подведения дозы к очагу различают методы сканирования тонким пучком и пассивного рассеяния протонов. Считается, что первый подход позволяет достичь более качественного лечения, однако существует ряд случаев, когда может быть востребован вариант с рассеянием пучка. В нашем институте развивается именно последний метод.

Техника формирования дозового распределения за счет пассивного рассеяния протонов предполагает установку различных формирующих устройств на пути пучка для модификации энергетического и пространственного распределений. Одним из таких устройств являются гребенчатые фильтры [1], конструкция которых представляет собой набор пластин-поглотителей различной формы, толщины и ширины (рис 1).

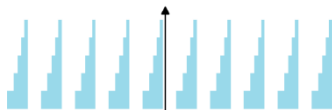


Рис.1. Пример сечения гребенчатого фильтра

Для вычисления характеристик подобных систем формирования нами разработана программа FilterCalc, использующая аналитическую модель расчета для подбора параметров геометрии. Отдельный модуль этой программы отвечает за проверку результата с использованием метода Монте-Карло, для чего к программе подключен пакет программ SRNA [2]. Система FilterCalc позволяет как автоматически, так и вручную изменять соотношение вкладов всех компонент гребенчатого фильтра для получения оптимального результата.

Инженерно-физические технологии для биомедицины

На основе проведенных расчетов нами сконструированы и изготовлены на станках с ЧПУ формирующие устройства, которые были протестированы в ходе сеанса работы линейного ускорителя протонов ИЯИ РАН. Глубинные кривые дозовых распределений в центре формируемых полей, соответствующие различным фильтрам, представлены на рисунках 2-3.

Флуктуация дозы в области плато модифицированного пика Брэгга для лучших результатов составила $<5\%$, что соответствует требованиям к равномерности терапевтического пучка. Однако в полученных экспериментальных данных зафиксированы некоторые отклонения от предварительных результатов вычислений. Это могло быть вызвано упрощением модели падающего пучка и отсутствием в расчетной геометрии некоторых элементов реальной системы формирования пучка. В дальнейшем предполагается внести соответствующие корректировки при расчете и изготовлении формирующих устройств.

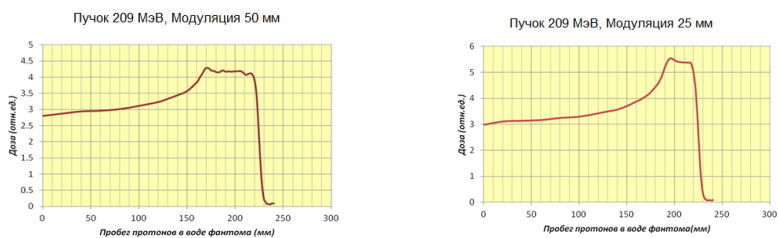


Рис. 2. Глубинные дозовые кривые пучка протонов 209 МэВ для гр. фильтров с шириной модуляции 50 мм (слева) и 25 мм (справа)

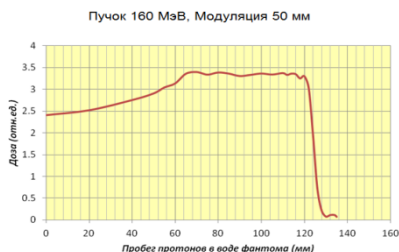


Рис. 3. Глубинная дозовая кривая пучка протонов 160 МэВ для гр. фильтра с шириной модуляции 50 мм

Литература

Инженерно-физические технологии для биомедицины

1. С.В. Акулиничев, В.Н. Васильев и др. «Application of the INR proton linac for development of methods of radiotherapy and nuclear medicine», ВАИТ. 2013. № 6 (88)

2. R. D. Ilic «Proton Therapy Monte Carlo SRNA-VOX Code» Nuclear Technology & Radiation Protection 2012, Vol. 27, № 4

**Электроника, автоматика,
спинтроника, нанотехнологии**

ИМПУЛЬСНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДАЛЬНОМЕР НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ

Антонова А.М., Каплин В.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+79852896546, frau.antonova.alexandra@yandex.ru

В настоящее время развиваются технологии лазерных дальномеров (далее ЛИДАР), например, в связи с реализациями идей измерения расстояния до стационарных объектов с высокой точностью

Одной из альтернативных реализаций ЛИДАРа является использование в нем датчика лазерного излучения кремниевого фотоумножителя Si-ФЭУ[1]. Si-ФЭУ представляет собой фотодетектор из упорядоченной матрицы p-n-переходов, работающих в ограниченном гейгеровском режиме. Плюсами Si-ФЭУ являются чувствительность к единичным фотонам, способность измерять интенсивность света, отличное амплитудное разрешение, нечувствительность к магнитным полям до 7Тл и высокое временное разрешение.

Опытная экспериментальная лабораторной установки ЛИДАРа (схема представлена на рис.1) состоит из:

- регистрирующего модуля (1) с Si-ФЭУ, узкополосным фильтром, широкополосным 1ГГц усилителем с $K=100$, местом для нейтральных фильтров. Конструкция сделана из p1a пластика;
- объектива (2);
- лазера(3), который светит на экран(4) в область оптической оси.

Преимуществами ЛИДАРОВ с Si-ФЭУ является высокое быстродействие, ЛИДАР на его основе выигрывает в чувствительности[2]. Система способна показывать хорошие временные параметры, позволяющие для стационарных объектов получать координатное разрешение до 1 мм даже при регистрации всего нескольких фотонов в импульсе. На рис.2 представлен амплитудный спектр с Si-ФЭУ при регистрации в среднем около трех фото-электронов, а

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии на рис.3 представлен временной спектр, полученный при регистрации импульсов от лазера с длительностью импульса 30 пс.

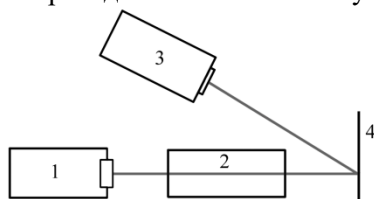


Рис. 1. Схема экспериментальной лабораторной установки ЛИДАРа.

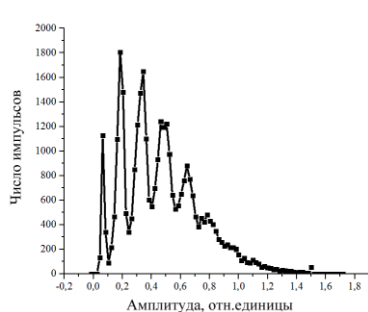


Рис. 2 Амплитудный спектр модуля с Si-ФЭУ.

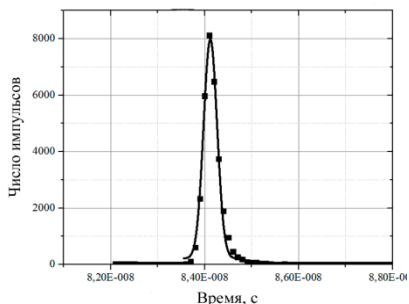


Рис.3 Временное разрешение модуля с Si-ФЭУ.

Аналогичные системы могли бы применяться для создания быстродействующих матричных 3-D ЛИДАРОВ [3].

Литература

1. Agishev R., et al. About the potential of lidars with different photodetectors under daytime sky radiation. EPJ Web of Conference. Vol. 119. P.25009 (2016).
2. Agishev R., et al. Lidar with SiPM: Some capabilities and limitations in real environment. Optics & Laser Technology. V. 49. P. 86–90 (2013).
3. Stettner, R., et al. Three dimensional flash lidar focal planes and time dependent imaging. International Symposium on Spectral Sensing Research, Bar Harbor, Maine (2006).

АВТОНОМНОЕ ПИТАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ – КАК ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Ахметова А.Р.^{1,2}, Мураевлев В.К.²

¹ КарГТУ, город Караганда

² КарГТУ, город Караганда

8(700)9214851., e-mail: niy_sya237@mail.ru

Одной из актуальных задач для операторов сотовой связи, на сегодняшний день, является повышение энергоэффективности подсистемы базовых станций. Хотя энергопотребление отдельной базовой станции невелико и составляет в среднем 3-7 кВт, затраты на энергоснабжение составляют 50-60% от всех операционных затрат, связанных с эксплуатацией станции. Подсистема базовых станций насчитывает тысячи базовых станций, поэтому снижение энергозатрат открывает значительные возможности для снижения себестоимости связи.

В настоящее время уровень фактического проникновения сотовой связи среди взрослого населения Республики Казахстан близок к 100%, т.е. этап экстенсивного развития (т.е. развития за счет быстрого роста абонентской базы) завершен. Дальнейшее развитие рынка сотовой связи происходит за счет расширения пакета услуг (в первую очередь, за счет услуг передачи данных) и снижения их стоимости. В отдельное направление выделяется обеспечение сотовой связи на территориях с малой плотностью населения, вдоль автотрасс и железных дорог.

В таких условиях важной задачей становится снижение операционных затрат на эксплуатацию сети, в которых наиболее значительная часть приходится на электроснабжение (40-50% от общих затрат на эксплуатацию системы базовых станций). Для базовых станций, размещенных в труднодоступных и удаленных местах, доля этих затрат еще выше, т.к. требуется либо строить протяженные линии электропередач, либо использовать автономные источники энергии (обычно дизельные генераторы).

Энергопотребление конкретной базовой станции сильно зависит от состава оборудования. Грубо базовую станцию можно предста-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии вить следующим образом: в помещении (контейнере) на стойках располагается основное оборудование станции (радиомодули, цифровые модули и т.п.), его нормальная работа обеспечивается вспомогательным оборудованием: системой питания (включающей также блок бесперебойного питания с аккумуляторами) и система климат-контроля. В зависимости от числа радиомодулей максимальное энергопотребление базовой станции стандарта GSM составляет от 2-3 кВт (1 радимодуль) до 5-6 кВт (6 радиомодулей) [1].

Энергопотребление базовой станции зависит также от ряда внешних факторов. Колебания температуры наружного воздуха приводят к изменению нагрузки на систему охлаждения. Амплитуда колебаний энергопотребления при этом соответствует мощности кондиционера, входящего в систему охлаждения (от 0.8 до 2 кВт). Пик энергопотребления приходится на солнечные летние дни. Система энергоснабжения должна обеспечивать необходимый запас мощности для прохождения этого пика. Энергопотребление слабо зависит от способа размещения станции (контейнер, помещение) [2]. В случае современных станций, оборудованных системами энергосбережения, потребляемая мощность зависит также от числа активных абонентов.

Выделяются два основных, хотя и тесно взаимосвязанных, направления: снижение энергопотребления базовой станции и использование альтернативных источников электроэнергии. По мере снижения энергопотребления базовой станции, применение альтернативных источников энергии становится все более оправданным, однако в целом ниша их применения остается сильно ограничена.

Альтернативный источник энергии — способ, устройство или сооружение, позволяющее получать электрическую энергию (или другой требуемый вид энергии) из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений и заменяющее собой традиционные источник энергии. Соответственно, альтернативная энергетика включает различные группы технологий: солнечная энергетика (солнечные коллекторы, фотоэлектрические элементы), ветроэнергетика, нетрадиционная гидроэнергетика (микро ГЭС, приливные ГЭС и т.д.), биотопливо, геотермальная энергетика. В последнее десятилетие альтернативной энергетике уделяется много внимания, многие страны имеют проекты разви-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии тия альтернативной энергетики. При этом себестоимость получаемой энергии, зачастую не позволяет напрямую конкурировать с традиционной энергетикой. (Причины: малая пространственная плотность энергии, непостоянный во времени выход энергии, географические привязки).

Применение альтернативных источников энергии в системе энергоснабжения базовой станции обладает определенной спецификой. Во-первых, выдаваемая мощность должна находиться в диапазоне 2-5 кВт в зависимости от состава оборудования станции. Во-вторых, система энергоснабжения должна быть способна длительное время работать без участия человека и требовать минимального обслуживания, и, наконец, местоположение станции не может привязываться к положению источника энергии. На мой взгляд, этим требованиям отвечает использование фотоэлектрических элементов (солнечные батареи) совместно с ветрогенераторами.

Ветровые энергетические установки выпускаются серийно (преимущественно зарубежными производителями). Основная сложность использования ветрогенераторов состоит в непостоянстве выдаваемой ими мощности. Более того, ветрогенераторы могут работать только, если сила ветра находится в определенном диапазоне [3]. Непостоянство компенсируется за счет использования аккумуляторной батареи или иного (дополнительного) источника энергии. Следует отметить, что аккумуляторная батарея должна удовлетворять повышенным требованиям к числу циклов перезарядки. [4].

Фотоэлектрические элементы. Как и в случае с ветрогенераторами, эффективность использования солнечных панелей сильно зависит от погодных условий. Следует отметить, что пик мощности солнечных панелей совпадает с пиком потребления энергии системой охлаждения БС. Существует много различных типов солнечных панелей: многослойные и однослойные на основе арсенида галлия, на основе монокристаллического и поликристаллического кремния, тонкопленочные СФЭТ (приведены в порядке убывания КПД и стоимости).

Совместное использование ветрогенераторов и фотоэлектрических элементов является наилучшим решением для автономного питания базовых станций сетей сотовой связи (рис. 1.). В такой си-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии стеме оборудование компенсации колебаний мощности делается общим, а сами колебания сглаживаются. Система подобного не зависит полностью от работы ветрогенератора, и аккумуляторы также заряжаются от солнечной панели.

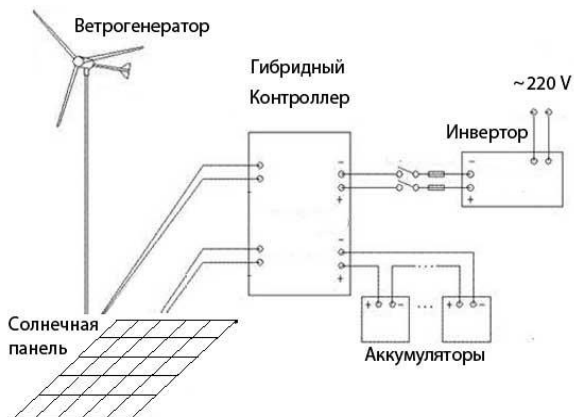


Рис. 1. Гибридная схема подключения ветрогенератора и фотоэлектрических элементов

Использование таких моделей позволяет оценить себестоимость энергии, получаемой при помощи гибридной системы, и ее зависимость от климатических условий, состава гибридной системы, цен на энергоносители, что позволяет выбрать оптимальное решение для конкретного случая. Однако наличие подобных средств не исключает риски, связанные с неправильной оценкой параметров системы, не снимает необходимость проведения анализа климатических факторов и создания служб по обслуживанию соответствующих установок.

Литература

1.Е. П. Вишневский, Салин М.Ю. Естественное охлаждение на базовых станциях. ИКС №4. С.-85. (2011)

2.С. Lubrittoю Telecommunication power system: energy saving, renewable sources and environmental monitoring. Trends in Telecommunications Technologies. InTech. P. 145-164 (2010).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

3. В. Н. Миханюк, Б. П. Коробко, И. Е. Марончук. Отчет о НИР. О комплектовании базовых станций сотовой связи системами автономного электрообеспечения (2007).

4. Энергосберегающие технологии на практике. URL: <http://habrahabr.ru/company/beeline/blog/154423>.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ ТРАНСМУТАЦИИ
В ИССЛЕДОВАНИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЙ
ТИПА MnS В СТАЛЯХ**

***Белозерова А.Р.^{1,2}, Белозеров С.В.¹,
Дружинин К.П.², Щеколдин В.В.²***

¹ АО «ГНЦ НИАР», Димитровград (Россия)

² ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград (Россия)

8(84235)65096., binom.alice2013@yandex.ru; lnni@niiar.ru

Изучение влияния процессов сегрегации на основе радиационно–индуцированной нестабильности осадений MnS и подчиненного ему влияния ядерной трансмутации на микроструктурные изменения материалов конструкций за время эксплуатации энергетических и исследовательских реакторов представляет собой важную научно-техническую задачу.

Ранее выполненные расчётные исследования ядерной трансмутации в сталях, используемых для различных изделий реакторной техники, показали, что степень влияния эффектов ядерной трансмутации на изменение структурной стабильности находится в пределах ресурса эксплуатации [1]. Однако в сочетании с необратимыми изменениями микроструктуры вследствие процессов миграции и сегрегации на границе зерен, трансмутационные эффекты могут оказаться факторами, способствующими ограничению эксплуатационных характеристик.

Реализована информационная система для моделирования детерминированных процессов ядерной трансмутации в конструкционных материалах при облучении от источников нейтронов [2]. Информационная система выполнена в виде многостраничного сайта и находится в свободном доступе для пользователей интернет-ресурсов. Встроенный конструктор позволяет моделировать схемы нуклидных превращений, по которым система автоматически проводит расчёт изменений нуклидного состава материала при облучении. Встроенная база данных (БД) ядерных взаимодействий нейтронов с атомами вещества реализована на основе всесторонней ядерной библиотеки данных FENDL-3.1 [3] от МАГАТЭ для инте-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
группированных приложений и справочных данных по нейтронно-физическим характеристикам источников быстрых нейтронов.

Цель работы – провести оценку степени нестабильности выделений типа MnS в сталях при реакторном облучении на основе расчётов содержания марганца и серы средствами информационной системы.

В общей постановке задача расчета трансмутаций [4] сводится к решению задачи Коши для системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами размерности n :

$$\frac{dX(t)}{dt} = A \cdot X(t) \quad (1)$$

с начальными условиями для вектора нуклидного состава

$$X(0) = X_0 \quad (2)$$

где $X(t)$ – вектор переменных x_i размерности n , $X \in R^n$, A – матрица скоростей реакций размерности $n \times n$, все координаты x_i вектора $X(t)$ неотрицательны, x_i – концентрация ядер нуклида i . В системе координат R^n матрица системы рассматривается как матрица оператора $A: R^n \rightarrow R^n$.

Если A – диагональный оператор, тогда вычисление e^A проще всего проводить в собственном базисе и решение уравнения (1) с начальным условием (2) есть

$$X(t) = e^{tA} X_0, t \in R \quad (3)$$

Литература

1. A.R. Belozerova, G.A. Shimanskii, S.V. Belozerov, Nuclear Transmutation In Steels // The Physics of Metals and Metallography, 2009, Vol. 107, No. 5, pp. 492–501. <http://elibrary.ru/item.asp?id=13615448>

2. Информационная система “Ядерная трансмутация” — Режим доступа: <http://nucleartransmutation.somee.com>. Дата обращения: 16.03.2017.

3. FENDL-3.1b: Fusion Evaluated Nuclear Data Library Ver.3.1b Released on 1 July 2016. — Режим доступа: <https://www-nds.iaea.org/fendl/index.html>. Дата обращения: 16.03.2017.

4. Белозёрова А.Р. Регулярные выражения в расчётах ядерной трансмутации // ВАНТ Серия: Математическое моделирование физических процессов. Выпуск 3. С.71-78, 2012.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОКСИДА ГРАФЕНА С НАНОЧАСТИЦАМИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Бурцева Е.К., Неустроев Е.П., Ноговицына М.В.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

г. Якутск

+79248680254, burtseva94@mail.ru

Создание новых композиционных материалов на основе наночастиц (НЧ) перспективно в силу того, что уникальные свойства НЧ, помещенных в различные матрицы сохраняются и даже усиливаются при этом. Наиболее перспективными областями применения материалов на основе оксида графена (ОГ) и наночастиц благородных металлов являются катализ, топливные элементы, химические сенсоры и биологические приложения.

В работе проведено исследование влияния наночастиц золота и серебра на электрические свойства оксида графена, полученного модифицированным методом Хаммерса. Из измерений методами электронной и атомной силовой микроскопии установлены размеры наночастиц, которые лежат в диапазоне от 10 до 20 нм для золота, и от единиц нм до нескольких сот нм для серебра. [1]

Для синтеза наночастиц золота использован цитратный метод. Отличительной особенностью этого метода является то, что цитрат-анион одновременно выступает в роли стабилизатора и восстановителя. Этот метод получения наночастиц золота, применим и к получению наночастиц серебра. Но, так как серебро более активный металл, чем золото, то синтез наночастиц серебра происходит более сложно из-за способности серебра к быстрому окислению и агрегации. [2]

Таким образом, введение наночастиц Au и Ag в ОГ приводит к увеличению электропроводности на порядок по сравнению с исходными образцами при термообработках до 250С. В последующем с увеличением температуры эта проводимость уменьшается и стремится к значению для ОГ без НЧ. Наблюдаемый эффект проявляет зависимость от содержания наночастиц в ОГ. [3]

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Литература:

1. Сигов А. С., Арсентьев П.А. и др., Получение и исследования наноструктур, лабораторный практикум по нанотехнологиям, М., 2008.

2. Чернозатонский Л. А., Сорокин П.Б., Артюх А.А. Новые наноструктуры на основе графена: физико- химические свойства и приложения. Успехи химии 83 (3), 2014, с.251 – 279.

3. G. Liu, Y. Wang, X. Pu, Y. Jiang, L. Cheng, Z. Jiao, One-step synthesis of high conductivity silver nanoparticle-reduced graphene oxide composite films by electron beam irradiation, Applied Surface Science (2015)

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАКАЛИВАНИЯ ЗАГОТОВОК ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

Володин В.С., Толоконский А.О.

НИЯУ МИФИ, Москва
89160043950, aincrad32@gmail.com

Лопатки турбин газотурбинных двигателей, работающих при температурах до 800°C, являются одной из самых высоконагруженных деталей, поэтому к жаропрочным сплавам для них предъявляются особенно высокие требования. Для промышленного производства жаропрочных сплавов при термической обработке очень важна точность поддержания температуры. При производстве сложнелегированных сплавов погрешность не должна превышать ± 2 °C. Для решения этой задачи было разработано программное обеспечение системы термостатирования, структурная схема которой представлена на рисунке 1 [1], [2].

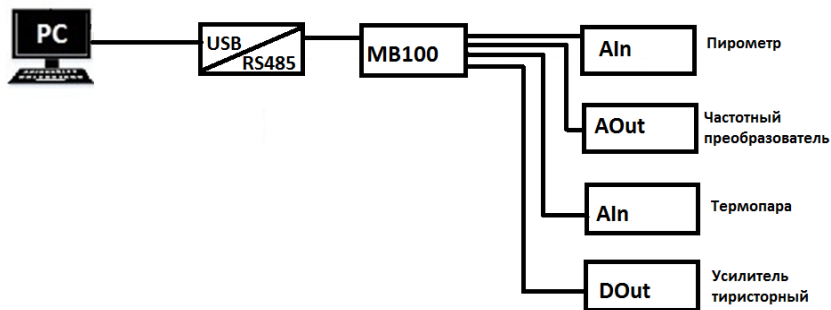


Рис.1. Структурная схема системы термостатирования

Регулирование температуры лопаток осуществляется посредством двух каналов регулятора MB100 – один используется для охлаждения вентилятором через частотный преобразователь (аналоговый выход), а другой (с выходом на ШИМ) для нагрева с помощью ТЭН (дискретный выход). Для контроля температуры на аналоговые входы MB100 подключены пирометр и платиновая термопара.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Для непосредственного взаимодействия оператора с системой была разработана мнемосхема, представленная на рисунке 2.

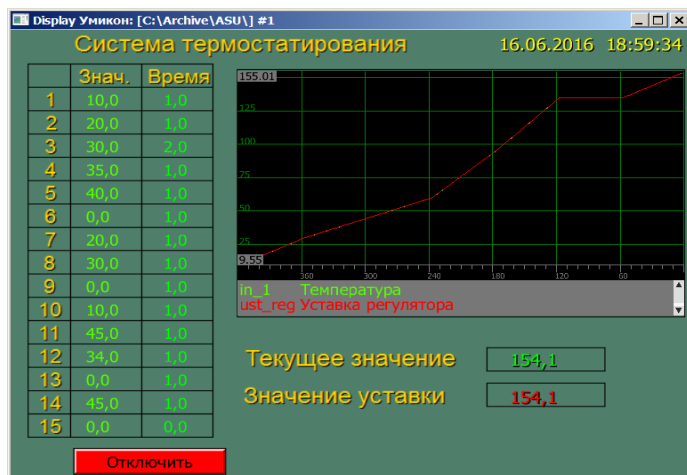


Рис.2. Мнемосхема управления системой

Массивы значений уставок для термостатирования и соответствующие им времена выдержки хранятся в БДРВ и передаются в управляющую программу. Регулятор анализирует изменение величины уставки – если оно растёт, то задействуется контур ПИД-регулирования, отвечающий за нагрев лопатки, в противном случае – контур, отвечающий за её охлаждение. Тестирование полученной системы показало её работоспособность в пределах требуемой точности.

Литература

1. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОвого
СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

Гавриков А.А.¹, Смирнов В.И.¹, Шорин А.М.¹

¹ *Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им.
В. А. Котельникова РАН.
a.gavrikoff@gmail.com*

Мощные MOSFET и IGBT-транзисторы составляют основу силовой электроники. Современные транзисторы способны коммутировать токи в несколько сотен ампер, величина рассеиваемой в них мощности может достигать 1 кВт. Работа в таких режимах может вызвать сильный перегрев кристалла транзистора с последующими негативными последствиями. Это требует контроля качества отвода тепла от активной области кристалла (*p-n*-перехода) к корпусу транзистора и далее через радиатор в окружающую среду.

В данной работе для измерения теплового импеданса мощных MOSFET и IGBT-транзисторов предложен новый оригинальный метод [1], в котором влияние тренда температуры корпуса в процессе измерения теплового импеданса существенно снижено. В отличие от других методов, объект разогревается модулированной по гармоническому закону мощностью. Определение компонент теплового сопротивления основано на анализе зависимости модуля $Z_{th}(f)$ и фазы $\varphi(f)$ теплового импеданса, а также его вещественной части $Re Z_{th}(f)$ от частоты модуляции греющей мощности. Компоненты теплового сопротивления проявляются в виде пологих участков или точек перегиба на частотной зависимости $Z_{th}(f)$ и $Re Z_{th}(f)$, а также экстремумов на частотной зависимости фазы $\varphi(f)$. Данный метод вычисления амплитуды переменной составляющей температуры, позволяет определить значение $T_1(f)$ с высокой точностью, что обусловлено большим объемом выборки при дискретном преобразовании Фурье ($N \approx 1500$). Как следствие, это дает возможность проводить измерения при относительно небольших греющих токах, поскольку амплитуды колебаний температуры перехода на уровне 1 С вполне достаточно для определения $Z_{th}(f)$ с достаточной точностью.

Для определения компонент теплового сопротивления, включая компоненту «переход-корпус», проводились измерения зависимо-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

сти модуля $Z_{th}(f)$ и фазы $\varphi(f)$ теплового импеданса, а также его вещественной части $\text{Re } Z_{th}(f)$ от частоты модуляции греющей мощности [2]. Для выявления особенностей $\text{Re } Z_{th}(f)$ проводилось вычисление производной $d\text{Re } Z_{th}/df$ и построение зависимости $(d\text{Re } Z_{th}/df)^{-1}$ от теплового сопротивления R_{th} . Компоненты теплового сопротивления определяются по положению максимумов относительно оси абсцисс. Два максимума соответствуют компонентам теплового сопротивления «переход-корпус» и «переход-радиатор». Их значения равны соответственно 0,91 и 1,02 К/Вт.

Проведенные исследования показали, что в отличие от стандартных методов измерения теплового импеданса, в которых нагрев транзисторов осуществляют однократным импульсом или последовательностью импульсов греющего тока, в модуляционном методе влияние тренда температуры корпуса на результаты измерения существенно снижено. При этом процесс измерения теплового импеданса может осуществляться при относительно небольших греющих токах, поскольку для обеспечения высокой точности измерения теплового импеданса амплитуда переменной составляющей температуры перехода, определяемая дискретным Фурье-преобразованием при большом объеме выборки, может составлять величину меньше 1 С.

Литература

1. V. Smirnov, V. Sergeev, A. Gavrikov. Apparatus for Measurement of Thermal Impedance of High-Power Light-Emitting Diodes and LED Assemblies // IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 63, NO. 6, JUNE 2016

2. V. I. Smirnov, V. A. Sergeev, A. A. Gavrikov “Способ измерения теплового сопротивления переход-корпус мощных МДП-транзисторов”, Патент РФ №2572794, 2016.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**ПОЛУЧЕНИЕ ЛЕНТ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА Mn_2FeX
МЕТОДОМ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ**

***Гавриков И.С., Карпенков Д.Ю., Лянге М.В., Середина М.А.,
Ховайло В.В.***

*Национальный исследовательский технологический университет "МИ-
СиС", Москва
+7-919-770-7388, gava.is@yandex.ru*

Открытие сплавов Гейслера привело к разделению их на отдельные, активно развивающиеся области, в которых изучают различные физические свойства. В направлениях спинтроники подобные сплавы используются в качестве материалов для электронных устройств, основанных на эффектах спинового токопереноса [1]. Однако материалы для них должны обладать рядом требований: иметь малые геометрические размеры и при этом сохранять определенную кристаллическую структуру для проявления свойств высокой спин поляризации. Теоретически, учеными было предсказано, что сплавы Mn_2FeAl , Mn_2FeGa , Mn_2FeSn могут соответствовать всем выше перечисленным требованиям, но к настоящему моменту так и не были исследованы экспериментально.

Нами была принята попытка получения данных сплавов в виде быстрозакаленных лент. Данный метод, по нашему мнению, является наиболее перспективным, он позволяет контролировать толщину полученных лент, которая способна достигать порядка 10^{-6} м, и создавать высокий градиент температур, с помощью которого можно управлять параметрами структуры.

Разливка проводилась на установке Melt Spinner SC в инертной атмосфере аргона. Расплавленный металл выдавливался из тигля под избыточным давлением порядка $0,2 \cdot 10^5$ Па и непрерывно набрызгивался на охлаждаемый медный барабан диаметром 22 см, ширина зазора между тиглем и барабаном составляла 200 мкм, угловая скорость барабана была равна 20 м/с. Исходя из результатов термогравиметрического анализа, разливка осуществлялась при температуре 1450 °С. Полученные образцы представлены на рисунке 1.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Составы Mn_2FeAl (рис. 1а) и Mn_2FeGa (рис. 1б) полностью оправдали ожидания по геометрическим параметрам, чего нельзя сказать о третьем составе Mn_2FeSn (рис. 1в), где сплав получился в виде чипсов, нежели лент.

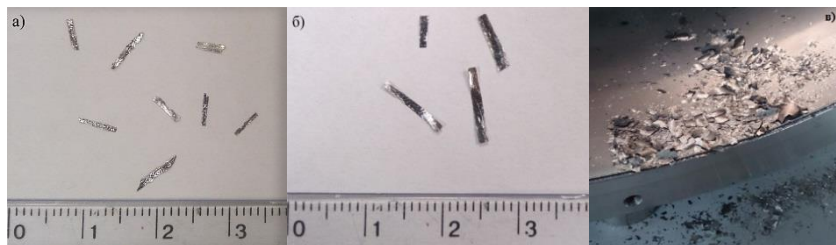


Рис.1. Внешний вид образцов состава: а) Mn_2FeAl
б) Mn_2FeGa в) Mn_2FeSn

По результатам сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Tescan Vega 3, полученные ленты являются однофазными.

Рентгеноструктурный анализ, проведенный на дифрактометре Дифрей 401, показал, что быстрозакаленные ленты состава Mn_2FeGa имеют гранецентрированную кубическую кристаллическую структуру с параметром решетки $a = 0,3733$ нм, что хорошо согласуется с литературными данными. Ленты состава Mn_2FeAl обладают примитивной кубической структурой с периодом решетки $a = 0,6346$ нм, что не соответствует теоретическим расчетам.

По результатам проведенной работы, заданные параметры в методе получения быстрой закалки подошли лишь для состава Mn_2FeGa , однако дальнейшими планами является их корректировка для каждого из составов.

Литература

1. A.G. Petukhov, A.N. Chantis, and D.O. Demchenko. Resonant Enhancement of Tunneling Magnetoresistance in Double-Barrier Magnetic Heterostructures. Physical Review Letters. Vol.89. P.107205 (2002).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК
НИХРОМА И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Горячко А.И.¹, Бузько В.Ю.^{1,2}, Мироненко А.А.¹, Васютина М.П.¹

¹ Кубанский государственный университет, Краснодар

*² Лаборатория молекулярного моделирования химических процессов и соединений ЗАО РМЦ "Югтехинформ", Краснодар
8-918-4808858., Alexandr_g_i@mail.ru*

На сегодняшний день существует потребность в тонкослойных металлических магнитных пленках, способных обладать прозрачностью в видимом диапазоне, отсекают излучение ближнего УФ-диапазона и характеризоваться эффективным поглощением паразитных электромагнитных излучений высоких и сверхвысоких частот. Такие пленки могут применяться в качестве относительно прозрачных защитных покрытий для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) микроэлектронной техники, устройств связи и передачи информации. Как показывает имеющийся опыт, магнитные наноразмерные магнитные пленки ферромагнитных металлов (Fe, Co, Ni) и их бинарных сплавов к сожалению характеризуются плохой устойчивостью по отношению к окислению кислородом воздуха и парами воды и без дополнительных защитных покрытий из благородных металлов не подходят для этой цели.

Нами была рассмотрена применимость магнетронного метода с аргоновой плазмой для напыления пленок магнитного нихрома марки X15H60 и магнитной нержавеющей стали марки 40X13.

Обнаружено, что наноразмерные покрытия нихрома и нержавеющей стали 40X13 толщиной до 75 нм на боросиликатном стекле характеризуются хорошей устойчивостью к окислению воздухом до 300⁰С, обладают удовлетворительной прозрачностью в видимом диапазоне, эффективно отсекают излучение ближнего УФ-диапазона и имеют выраженные магнитные и экранирующие характеристики. Однако магнитные характеристики наноразмерных пленок нихрома заметно выше магнитных характеристик пленок нержавеющей стали 40X13 при одинаковой толщине. По видимому это связано с тем фактом что в процессе магнетронного напыления

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
большая доля магнитной аустенитной фазы в нержавеющей стали 40X13 разрушается.

Выполненные измерения электрической проводимости полученных наноразмерных пленок нихрома и нержавеющей стали 40X13 на подложках боросиликатного стекла толщиной 0,15 показали сильную зависимость проводимости от толщины металлического слоя (рисунок 1).

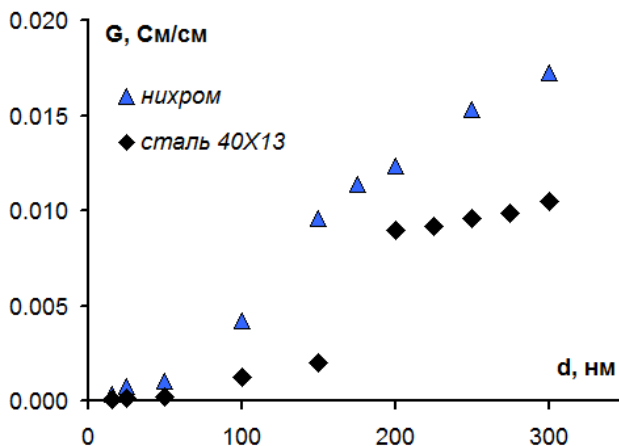


Рис.1. Проводимость наноразмерных пленок нихрома X15H60 и нержавеющей стали 40X13

Электрическая проводимость наноразмерных магнитных пленок нихрома заметно выше, чем для пленок нержавеющей стали 40X13 как на подложках из боросиликатного стекла, так и на подложках из ситалла. Переход от подложек из боросиликатного к ситаллу приводит к снижению проводимости получаемых наноразмерных пленок нихрома и нержавеющей стали 40X13 в 2,2-1,7 раза в зависимости от толщины металлической пленки.

На основании проведенного исследования можно рекомендовать наноразмерные пленки нихрома X15H60 в качестве основы полупрозрачных магнитных покрытий для обеспечения ЭМС.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Гусев А.В.¹

¹ НТИ НИЯУ МИФИ, г. Новоуральск
конт. тел: (34370)93746., e-mail: antongusev88@gmail.com

Эффективность работы современных металлообрабатывающих систем во многом определяется режимами резания. Выбор эффективного режима особенно актуален на начальной стадии запуска изделий в производство (период освоения).

Целью работы является создание метода автоматического определения режимов резания самой системой управления станка.

Для достижения поставленной цели решалась задача выявления информативных параметров стружкообразования, а также корреляционных связей и спектральных характеристик процесса стружкообразования с вибросигналами в технологической системе.

Основанием для описания процесса резания методами вероятностного анализа случайных процессов и поведения динамических систем при случайных воздействиях [1] являются выполненные ранее исследования [2] по изучению физических явлений процесса резания.

Упругая динамическая система - станок, инструмент, заготовка с некоторым допущением рассматривается как линейная система с одним входом и постоянными параметрами (для данного режима резания), рисунок 1.

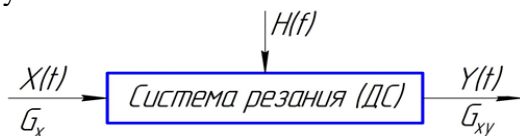


Рис. 1. Линейная система с одним входом

Контроль процесса резания осуществляется по следующему алгоритму: На разных скоростях резания получены осциллограммы напряжений сигналов с вибропреобразователя. Далее, полученные данные, согласно формуле преобразуются с помощью быстрого

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии преобразования Фурье. Затем из всего спектра выделяется диапазон частот стружкообразования по максимальному пику.

Затем производится расчет спектральной плотности мощности виброускорения G_y согласно формуле[1]:

$$G_y(f) = 2\alpha \left[\frac{1}{\alpha^2 + 4\pi^2(f + f_0)^2} + \frac{1}{\alpha^2 + 4\pi^2(f - f_0)^2} \right] \quad (1)$$

Через передаточную функцию системы (в нашем случае $H=1$) находится спектральная плотность на входе системы:

$$G_x(f) = \frac{G_y}{|H(f)|^2} \Rightarrow G_x \approx G_y \quad (2)$$

Определяем значение Δx , согласно:

$$G_x = \frac{\Delta x^2}{\Delta f} \Rightarrow \Delta x = \sqrt{G_x(f) \cdot \Delta f} \quad (3)$$

Вычисленное значение Δx сравнивается с величиной толщины срезаемого слоя – a . Изменение (подбор) скорости резания производят то тех пор, когда будет выполняться условие: $\Delta x/a=1$, т.е. $a=\Delta x$.

Нашими исследованиями (изучение деформационных параметров стружкообразования, результаты износа лезвий)[3] показано, что при выполнении данного условия мы имеем искомый эффективный режим резания.

Литература

1. Бендат Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсол.- Мир 1983-312 с., ил.
2. Гусев А.В. О связи деформационных параметров стружкообразования с характеристиками колебаний при резании / А.В. Гусев, В. В Закураев, А. Г. Ничков // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Тольятти: – 2015. – № 3-1. – С.52–59.
3. Гусев А. В. Процесс стружкообразования и характеристики износа инструмента при точении конструкционных сталей / А.В. Гусев, В. В Закураев // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск: - 2016. - №11. – С. 24-36.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО
МИКРОСКОПА НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО
РЕГУЛЯТОРА С УСИЛИТЕЛЕМ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ
ПАРАМЕТРАМИ**

Довгополая Е.А., Масленников В.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», город
Москва*

тел. 8 916 115 87 67, e-mail: e.a.dovg@yandex.ru

Развитие нанотехнологий невозможно без соответствующей модернизации сопутствующих контрольно-измерительных приборов. Одними из ключевых инструментов являются сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) и нанотвердомеры, качество и производительность которых во многом определяются электроникой систем управления, включающей в себя сложную совокупность систем автоматического регулирования (САР), прецизионных измерительных систем и системы сбора данных. Успех проектирования напрямую зависит от наличия адекватных методов расчета, поскольку основная проблема задачи синтеза заключается в том, что обеспечить нужный переходный процесс могут многие системы автоматического управления. Из анализа [1, 2] следует, что ведущие мировые специалисты в рассматриваемой области выделяют несколько подходов к решению задачи увеличения быстродействия системы управления наноперемещениями, при этом четких критериев выявления оптимума нет. Таким образом, свою актуальность сохраняет необходимость разработки технических решений по повышению быстродействия современных прецизионных приборов наномасштабного разрешения, а также создания теоретической базы для математического описания происходящих физических процессов.

Целью данного исследования является унификация САР, способствующих уменьшению времени сканирования СЗМ при сохранении качества изображения за счет более оптимального подбора параметров регулятора, путем их разработки на основе метода, изложенного в [3].

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Следуя принятой логике разработки систем автоматического регулирования, близких к оптимальным, для прецизионных приборов наномасштабного разрешения необходимо разработать регулятор, обеспечивающий в замкнутой системе квазиапериодический переходный процесс. Более того, решение должно быть унифицированным. Обычно для исследования поведения САР СЗМ ограничиваются передаточной функцией петли регулирования не выше третьего порядка [4]. Данный случай подробно рассмотрен в [3], где была предложена и апробирована методика, основанная на приближенном определении добротности корней кубического характеристического полинома. Это позволило добиться существенного улучшения качественных характеристик СЗМ. Тем не менее, при практической реализации разработанных технических решений возможны сложности в том случае, если объект управления окажется неминимально-фазовой системой. Тогда корректному описанию соответствует передаточная функция петли регулирования более высокого порядка. Учитывая особенности систем автоматического регулирования, доминирующим полюсом должен являться действительный. Поэтому предлагается на основе ограничений, полученных исходя из простых достаточных условий устойчивости уравнений высокого порядка [5], понизить порядок модели САР и использовать разработанный в [3] метод. Таким образом были построены математические модели вплоть до пятого порядка с последующим понижением степени характеристического уравнения до третьей. Разработанная в итоге САР сделана путем каскадирования PID-регулятора из [3] и усилителя с изменяемыми параметрами. Полученная система отвечает предъявляемым требованиям к ее функционированию. Развитие подобного подхода позволит создать универсальный регулятор и упростить процедуру разработки системы, близкой к оптимальной. Кроме того, описанный способ понижения порядка открывает возможность стандартизации решений. Это не только эффективно с точки зрения ускорения процесса разработки, но и экономически более целесообразно.

Литература

1. Teo Y.R.; Yong Y.K.; Fleming A.J. A review of scanning methods and control implications for scanning probe microscopy. 2016 American Control Conference (ACC). 7377, Jan. 2016. ISSN: 9781467386821.

2. Wang G.; Chen G.; Bai F. High-speed and precision control of a piezoelectric positioner with hysteresis, resonance and disturbance compensation. *Microsystem Technologies*. 22, 10, 2499, Oct. 2016. ISSN: 09467076.

3. Maslennikov V.V.; Meshcheryakov V.V.; Dovgopolaya E.A. Methods of analysis of automatic control systems obeying a mathematical model with cubic characteristic equation. «Automation and remote control», Vol. 77, № 12, 2016, p. 2149-2157.

4. Meshtcheryakov, A.V.; Meshtcheryakov V.V. Scan speed control for tapping mode SPM. 2012 *Nanoscale Research Letters*. 7:121.

5. Масленников В.В. Гипотеза о существовании простого аналитического достаточного условия устойчивости. *Автоматика и телемеханика*. 1984, № 2, с. 160 – 161.

ПРОБЛЕМА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРЕ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДЛОЖКОЙ

Жиленков А.А.

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург
+7-921-305-59-07, zhilenkovanton@gmail.com*

Актуальность. Нитриды ряда элементов третьей группы, представляющие такие III-N материалы как AlN, InN и GaN, претендуют сегодня на такую же фундаментальную роль, какую в своё время сыграл кремний. Только с 2000 года технология выращивания кристаллов III-N группы вышла на уровень широкого признания как фундаментальной наукой, так и промышленностью, что привело к созданию многомиллиардного долларового рынка. И это несмотря на достаточно низкий уровень развития технологии производства приборов на основе III-N материалов. Прогресс, произошедший в последнее десятилетие, требует сегодня решения основной проблемы, сдерживающей дальнейшее развитие данной технологии, – обеспечения выращивания III-N структур необходимого качества. Для этого необходимо решить задачи анализа и оптимизации процессов в установках эпитаксиального роста, и, как следствие, оптимизации их конструкций.

Цель. Представить результаты анализа проблемы оптимизации процессов выращивания III-N материалов в реакторах газофазной эпитаксии индукционного нагрева с вращающейся подложкой.

Практическая значимость. Автором был исследован ряд промышленных реакторов газофазной эпитаксии индукционного нагрева с вращающимся подложкодержателем. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований позволил выявить целый ряд недостатков промышленных установок, отражающихся, в конечном счёте, на качестве выращиваемых структур. К основной проблеме относится значительная неравномерность распределения теплового поля на поверхности подложкодержателя и, как следствие, подложки. Неравномерность распределения температур (рис. 1) вызывает появление высокого процента дислокаций и не-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии однородности оптических свойств выращиваемых на одной подложке структур [1].

Проанализированы причины возникновения указанных неоднородностей. Установлено, что связаны они в первую очередь с неоптимальной конфигурацией потока несущего газа и индуктора. Даны выводы по возможным путям преодоления указанных проблем.

Результаты исследования предлагается использовать в организации процесса повышения эффективности указанных реакторов, что позволит повысить качество выращиваемых структур и сократить время их роста [2].

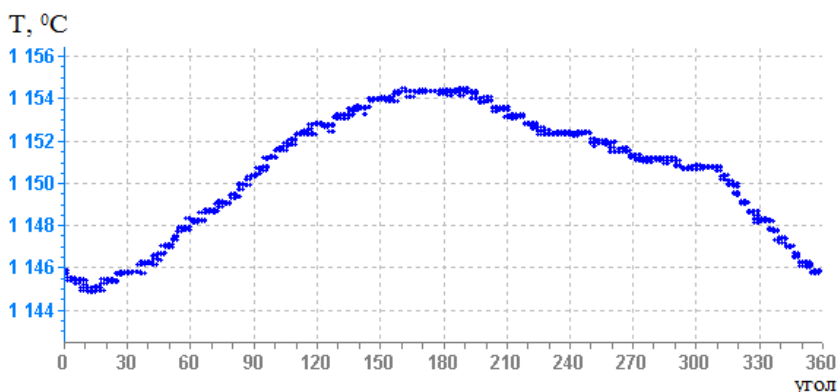


Рис. 1. Неравномерность распределения температуры по радиусу подложки (в исследованном случае не должна превышать 1°C)

Литература

1. D. G. Chtchekine, L. P. Fu, G. D. Gilliland, Y. Chen, S. E. Ralph, K. K. Bajaj, Y. Bu, M. C. Lin, F. T. Bacalzo, S. R. Stock. Properties of low-pressure chemical vapor epitaxial GaN films grown using hydrazoic acid (HN₃). J. Appl. Phys. Vol.81. P.2197-2207 (1997).

2. A. Zhilenkov. Improving the efficiency of automatic control systems of power quality of stand-alone power systems. EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. Vol.6. Issue 9(78). P.10-16 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ ПОЛУ-ГЕЙСЛЕРА СОСТАВА $\text{FeNb}_{0,8}\text{Ti}_{0,2}\text{Sb}$

Зуева В.Ю.¹, Воронин А.И.¹, Ховайло В.В.¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва
+7(910) 462-19-56., zueva@misis.ru

На сегодняшний день проблема эффективного использования энергии привлекает много внимания. Одним из решений этой проблемы являются термоэлектрические материалы, которые позволяют напрямую преобразовывать тепловую энергию в электрическую.

Основные усилия сфокусированы на поиске материала с высокой термоэлектрической эффективностью. Самыми лучшими на данный момент являются сплавы на основе халькогенидов висмута и сурьмы, которые применимы в области низких температур, другим же материалам пока не удавалось приблизиться к таким же значениям. Сплавы полу-Гейслера имеют огромный потенциал для этого и применимы в области средних температур до 1000 К.

Целью данной работы является оптимизация способов получения сплавов полу-Гейслера состава $\text{FeNb}_{0,8}\text{Ti}_{0,2}\text{Sb}$.

Необходимым качеством термоэлектрического материала выступает наличие комплекса физических свойств, обеспечивающих приемлемый для данной задачи КПД преобразования. Термоэлектрический материал должен обладать высокой термоЭДС, электропроводностью и малой теплопроводностью, которая достигается за счет рассеивания фононов на границах зерен, возникающего в результате наноструктурирования [1].

В литературных источниках наиболее часто встречается метод получения сплавов полу-Гейслера путем левитационной плавки с последующим механическим диспергированием и компактированием [2, 3].

В данной работе рассмотрен процесс приготовления исследуемого термоэлектрического материала несколькими методами. Помимо основного метода получения был применен метод высокотемпературного самораспространяющегося синтеза, благодаря которому удается сэкономить трудовые и временные ресурсы.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

После синтеза образцов был проведен рентгенофазовый анализ, где получена основная фаза, но также можно увидеть незначительное количество примесной фазы, что видно из рисунка 1.

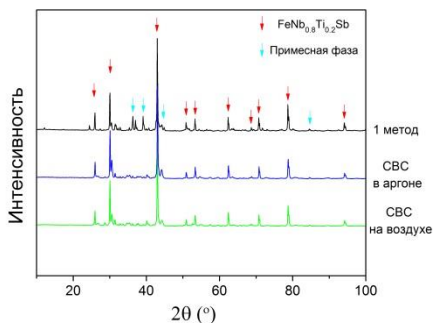


Рис.1. Дифрактограмма FeNb_{0.8}Ti_{0.2}Sb

В результате выполнения работы ожидается оптимизация технологии получения сплавов полу-Гейслера состава FeNb_{0.8}Ti_{0.2}Sb с целью удаления вторичной фазы, что приведет к значительному увеличению термоэлектрической эффективности в области температур до 1000 К.

Литература

1. Термоэлектрическое охлаждение: Текст лекций / Л.П. Булат, М.В. Ведерников, А.П. Вялов и др. // под общ. ред. Л.П. Булата.– СПб.: СПбГУИИПТ, 2002.
2. High Efficiency Half-Heusler Thermoelectric Materials for Energy Harvesting / T. Zhu, C. Fu and H. Xie // Material views – 2015. – V. 65. – 1500588.
3. C. Fu, S. Bai, Y. Liu, Y. Tang, L. Chen and X. Zhao / Realizing high figure of merit in heavy-band p-type half-Heusler thermoelectric materials // Journal of Nature Communications. – 2015.

Иванова В. В.¹, Шахматов В. С.^{1,2}

¹ ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

² Калужский филиал "РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева", г. Калуга,
конт. тел.: +79107084460; e-mail: ivanova-vasilina@yandex.ru

Интенсивные исследования свойств углеродных нанотрубок (далее УНТ) начались с работ [1,2]. УНТ обладают уникальными физическими свойствами: электрическими, магнитными и оптическими [3,4], которые используются в различных областях техники, медицины и биологии.

Теоретические исследования УНТ начались с описания их структуры и симметрии. Было показано, что структура УНТ органически связана со структурой графена, работы [5, 6]. Для изучения свойств УНТ были рассчитаны фоновые дисперсионные зависимости для графена (Рис. 1) с использованием силовых констант, работа [4].

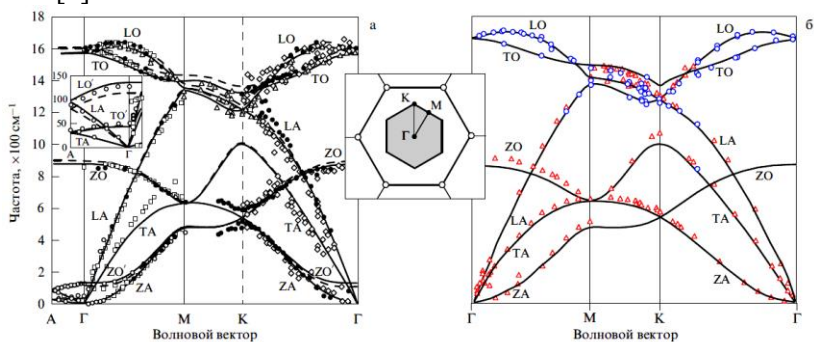
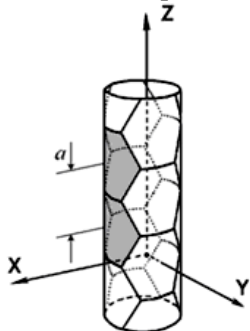


Рис. 1. Фоновые дисперсионные зависимости для графена

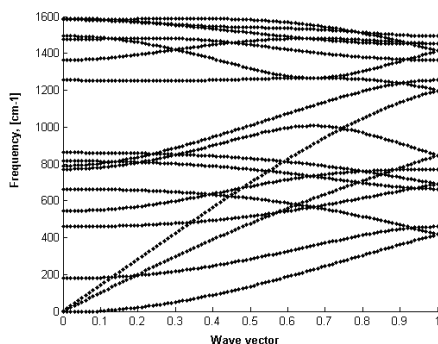
В настоящей работе методом кратной зоны Бриллюэна рассчитаны фоновые дисперсионные зависимости некоторых УНТ и построены векторы поляризации оптических фононов, одна из зависимостей представлена на (Рис. 2)

Используя тот факт, что неприводимые представления группы симметрии углеродной нанотрубки (3,3) совпадают с известными неприводимыми представлениями группы волнового вектора про-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии странственной группы, мы провели симметричный анализ фононов этой УНТ в центре зоны Бриллюэна.



Углеродная нанотрубка (2,2) [5].



По оси абсцисс отложен волновой вектор в относительных единицах. По оси ординат - частота в см^{-1} .

Рис. 2. Фононные дисперсионные зависимости для УНТ (2,2)

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что для УНТ разного типа с небольшим диаметром можно точно определить векторы поляризации некоторых фононов. Подобный симметричный анализ полезен как для интерпретации экспериментальных данных, так и для проверки надежности теоретических моделей

Литература

1. S. Iijima, *Nature* **354**, 56 (1991).
2. T. W. Ebbesen and P. M. Ajayan, *Nature (London)* **358**, 220 (1992).
3. R. Saito, M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus. *Physical properties of carbon nanotubes*. World Scientific Publishing, 1998.
4. *Carbon nanotubes*. Ed. M. Endo, S. Iijima, M.S. Dresselhaus. Pergamon, 1996.
5. В.Л. Аксенов, Ю.А. Осипьян, В.С. Шахматов. Группы симметрии углеродных нанотрубок. Письма в ЭЧАЯ, №4, стр.5, (2000).
6. M.V. Avramenko, S.B. Rochal, Yu.I. Yuzyuk. Symmetry of the carbon nanotube modes and their origin from the phonon branches of graphene. *cond-mat*. 1207.6238 (2011).

КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Игнатьев В.С¹

¹ *КарГТУ, Караганда*

+77076223036, s_ignat2@mail.ru

Актуальность данного материала обусловлена активным развитием современных измерительных приборов и комплексов в виду все большего применения микропроцессорного управления процессами измерения и контроля.

Цель - разработка измерительного усилителя, состоящего из блоков аттенюатора, усилителя и буферов-ограничителей с цифровым управлением.

Практическая значимость работы заключается в разработанной схеме измерительного усилителя, построенной на недорогой и доступной элементной базе, которая может быть применена во множестве задач по контролю и измерению заданных величин.

Принципиальная схема узла показана на рисунке 1. Входной аттенюатор реализован на микросхеме DD1- AD7377arz100 с буфером-ограничителем на DA1 - LF356. Цепи защиты не показаны, так как они находятся в предыдущем узле коммутатора каналов. AD7376 представляет собой цифровой потенциометр на 128 положений, управляемый по трёхпроводной шине SPI [1]. Измеряемое напряжение подаётся на пин А (1). Выходное напряжение снимается с пина W, пин В подключён к общему проводу для реализации делителя напряжения. Входной сигнал должен лежать в промежутке 0-27V(+0,7V).

Коэффициент ослабления вычисляется по формуле 1:

$$U_w = U_a \frac{D}{128} \quad (1)$$

Блок усилителя собран на ОУ LF356 (DA2) и 572ПА1(DD4), который включён как управляемая кодом матрица резисторов R-2R в цепь ОС DA2. Коэффициент усиления задаётся 10-ю битами информации D0-D9. D9 всегда равен логической единице. Выходной сигнал усилителя ограничен DA3 на уровне 4.9-5 вольт для согласования с измерительными входами АЦП.

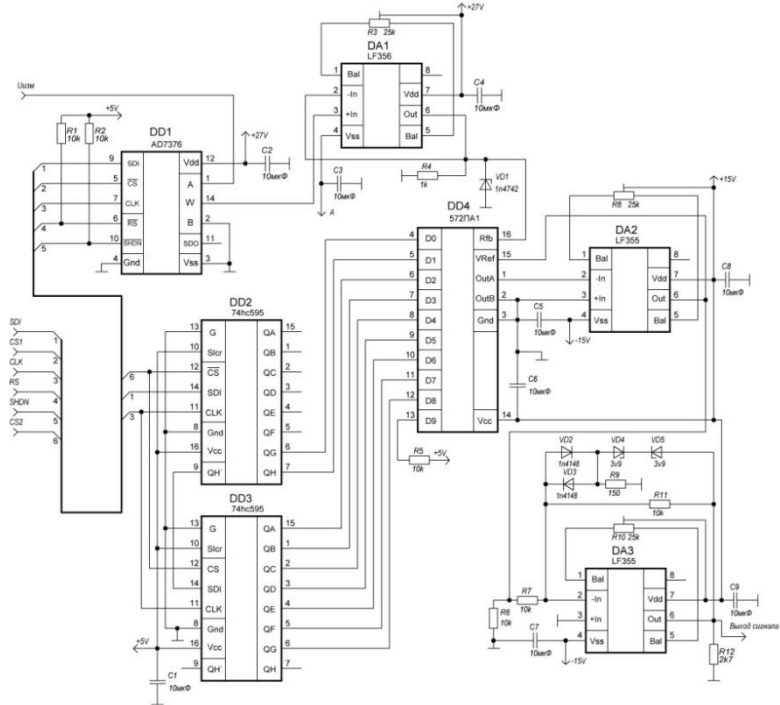


Рис.1. Принципиальная схема комбинированного измерительного усилителя.

Для управления К. усиления по шине SPI применяются два сдвиговых регистра 74HC595 (DD2,DD3). Коэффициент усиления вычисляется по формуле 2 [2]:
$$K_u = -\frac{1}{\sum_i^{10} d_i 2^{-i}} \quad (2)$$

При этом, минимальный K_u равен 1, максимальный - 1024.

Литература

1. Пушкарев М. Цифровые потенциометры. «Компоненты и технологии», 2006, вып. 5.
2. Т. В. Мирина, Н.В.Мирин. «Функциональные электронные узлы измерительных и диагностических систем», «Флинта», 2012 г.

ФАЗОВАЯ ДИНАМИКА В АНСАМБЛЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ВИХРЕВЫХ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Каткова О.С., Сафин А.Р., Капранов М.В., Удалов Н.Н.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
+7-926-394-23-65, arnellemorte@gmail.com

Вихревые колебания намагниченности в ферромагнитных наноструктурах под действием спин-поляризованного тока вызывают в настоящее время большой интерес [1], [2]. В первую очередь это связано с потенциальными приложениями таких структур в области телекоммуникаций в качестве задающих СВЧ-генераторов. В литературе их принято называть «вихревые спин-трансферные наноосцилляторы» (ВСТНО). Основными недостатками таких осцилляторов является низкая выходная мощность генерируемых колебаний порядка единиц и долей микроватт. Поэтому важной является задача синхронизации и сложения мощностей ВСТНО. Для определения условий синхронизма в ансамбле взаимосвязанных осцилляторов необходимо определить условия фазовой синхронизации и устойчивости соответствующего стационарного режима. В данной работе исследуется фазовая динамика в двумерном ансамбле ВСТНО.

Математической моделью взаимосвязанных ВСТНО является система связанных уравнений Тиля [1]-[3] для координат вектора вихря в плоскости образца \mathbf{X}_i , которое запишем в виде:

$$G \left(\mathbf{e}_z \times \frac{d\mathbf{X}_i}{dt} \right) - k(\mathbf{X}_i) \mathbf{X}_i - D_i \frac{d\mathbf{X}_i}{dt} - \mathbf{F}_{st,i}(\mathbf{X}_i) - \mathbf{F}_{int}(\mathbf{X}_j) \Big|_{j=1..N}^{j \neq i} = 0,$$

где G - гироконстанта, D_i - константы затухания, $k(\mathbf{X}_i)$ - нелинейная функция \mathbf{X}_i , характеризующая энергию вихря [1], $\mathbf{F}_{st,i}$ - силы, связанные с переносом спинового момента и \mathbf{F}_{int} силы взаимодействия i -ого вихря со всеми остальными элементами ансамбля (число элементов равно N). От системы уравнений Тиля перейдем к фазовому приближению. Для этого будем предполагать, что каждый из осцилляторов находится в возбужденном состоянии и запас по самовозбуждению достаточно большой. Тогда можно

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии считать, что амплитуды колебаний осцилляторов устанавливаются быстрее, чем фазы (выход на предельный цикл происходит быстрее) и, в приближении, можно считать, что $|\mathbf{X}_i(t)| = \lim_{t \rightarrow \infty} |\mathbf{X}_i(t)| = X_{0i}$. В таком приближении система уравнений для фаз θ_i каждого ВСТНО примет вид

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_{ij} \cdot \sin(\theta_j - \theta_i),$$

где ω_i - парциальные частоты каждого осциллятора, λ_{ij} - параметры связи i -ого осциллятора с j -ым, убывающие по мере удаления от него i -ого, т.е. $\lambda_{ij} \propto 1/d_{ij}$, где d_{ij} - расстояние между ВСТНО.

Анализ полученной системы фазовых уравнений показывает, что наряду со стационарными режимами равных фаз в данной системе наблюдаются сложные хаотические режимы и т.н. «химерные» состояния, при которых часть осцилляторов засинхронизированы по фазе, а часть работают в хаотическом режиме. Для сложения мощностей необходимо, чтобы неидентичность в размерах ВСТНО была минимальной (порядка единиц *нм* при диаметре образцов в сотни *нм*).

Результаты были получены в рамках гранта Президента для молодых кандидатов наук № МК-7026.2016.8.

Литература

1. Y. Gaididei, V. Kravchuk, D. Sheka. Magnetic vortex dynamics induced by an electrical current. Intern. J. Quantum. Chem. V. 110. P. 83-97 (2009).

2. П.А. Стремоухов, А.Р. Сафин, Н.Н. Удалов. Рабочие характеристики микроволнового вихревого наногенератора. Вестник МЭИ. № 6. С. 96-100 (2016).

3. V. Flovik, F. Macia, E. Wahlstrom. Describing synchronization and topological excitations in arrays of magnetic spin torque oscillators through the Kuramoto model. Scientific Reports. Vol. 6. P. 32528 (2016).

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ InSe

Кибирев И.А.^{1,2}, Матецкий А.В.², Зотов А.В.^{1,2,3}, Саранин А.А.^{1,2}

¹ДВФУ, Владивосток

²ИАПУ ДВО РАН, Владивосток

³ВГУЭС, Владивосток.

+79147963377, vanovlad@gmail.com

Известно, что электронные свойства материалов значительным образом зависят от их размерности. Помимо широко изученных квантоворазмерных эффектов могут наблюдаться эффекты связанные с изменением симметрии кристалла. В качестве примеров можно назвать появление состояний с дираковским законом дисперсии в однослойном графите и переход непрямозонный – прямозонный полупроводник в однослойном дисульфиде молибдена. Характерным для указанных выше примеров является Ван-дер-Ваальсовский тип связи между слоями в одном кристаллографическом направлении, что позволяет относительно легко изолировать и выращивать отдельные слои. Подобные эффекты возможны и в некоторых других материалах. В частности, для тонких пленок ряда халькогенидов предсказан переход Лифшица, при котором параболическая форма валентной зоны меняется на форму «мексиканская шляпа» [1].

В данной работе на поверхности Si(111) были сформированы тонкие пленки InSe толщиной 1-6 слоев, где каждый слой InSe связан с соседним Ван-дер-Ваальсовой связью и состоит из 4 атомных слоев (далее ЧС), а именно: Se-In-In-Se. Атомная структура пленок была изучена методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), а электронная структура - методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС). Как показано на Рис. 1, для покрытий от 3 ЧС наблюдается обычная параболическая форма зоны в точке Г. Для покрытий толщиной в 2 ЧС и 1 ЧС действительно наблюдается изменение формы зоны в точке Г на форму «мексиканская шляпа».

Ранее было показано [3], что подобная форма зон может способствовать улучшению показателей термоэлектрических элемен-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии тово, что делает перспективным использование тонких пленок с такими свойствами в будущих приборах.

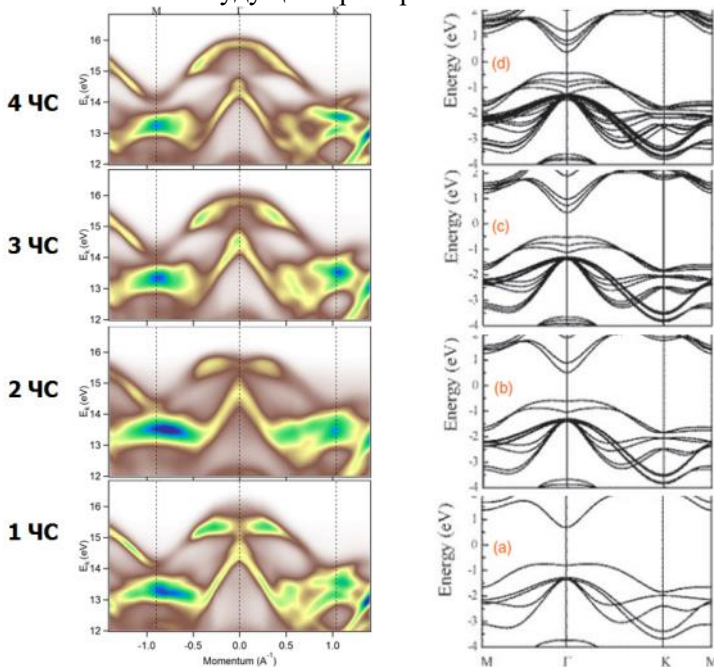


Рис.1. Сравнение экспериментально полученной и расчетной [2] электронной структуры InSe различной толщины (1-4 ЧС).

Литература

1. Zolyomi V., Drummond N. D., and Fal'ko V. I., Electrons and phonons in single layers of hexagonal indium chalcogenides from ab initio calculations, *Physical Review B* 9, 205416 (2014)
2. Chong S., Hui X., Bo Xu, Yidong X., Jiang Y., and Zhiguo L. Ab initio study of carrier mobility of few-layer InSe, *Applied Physics Express* 9, 035203 (2016)
3. Darshana W., Ferdows Z., and Roger K. Lake. Electronic and thermoelectric properties of van der Waals materials with ring-shaped valence bands, *Journal of Applied Physics* 118, 075101 (2015)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СЕНСОРОВ ГАЗА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНОГО НАНОКОМПОЗИТА Co/ПАН

Коноваленко С.П.¹, Бедная Т.А.²

¹ Таганрогский институт им. А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)», Таганрог

² Политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «ДГТУ», Таганрог
+7 (929)82-00-769, e-mail: svetlana_s12@mail.ru

Создание приборов для детектирования газов в воздушной среде является одной из важнейших задач современной электроники. Кроме того, основное требование для дальнейшего развития электроники в этой области – создание энергоэффективных материалов, обладающих хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды.

Ввиду специфических свойств, проявляющихся при переходе веществ в наноразмерное состояние, функциональные наноматериалы вызывают все больший интерес, в том числе, получение металлоуглеродных кобальтсодержащих нанокompозитов, диспергированных в углеродную матрицу на основе ИК-пиролизованного полиакрилонитрила (ПАН), и исследование структурных характеристик синтезированного материала. Комплекс свойств металлоуглеродных нанокompозитов определяется не только специфической электронной структурой полисопряженной системы, но и природой металла.

На рисунке 1 представлена технологическая схема синтеза кобальтсодержащего ПАН. Полученные пленки отжигали в различных временных и температурных режимах в камере ИК-отжига [1-2].

Меняя концентрацию модифицирующей добавки и условия синтеза тонких пленок (температуру и время первого и второго этапа ИК-отжига), получали пленки с различными электрофизическими свойствами (сопротивление пленок $R=10^4 \div 10^{11}$ Ом) и различной толщины ($d=70 \div 300$ нм).

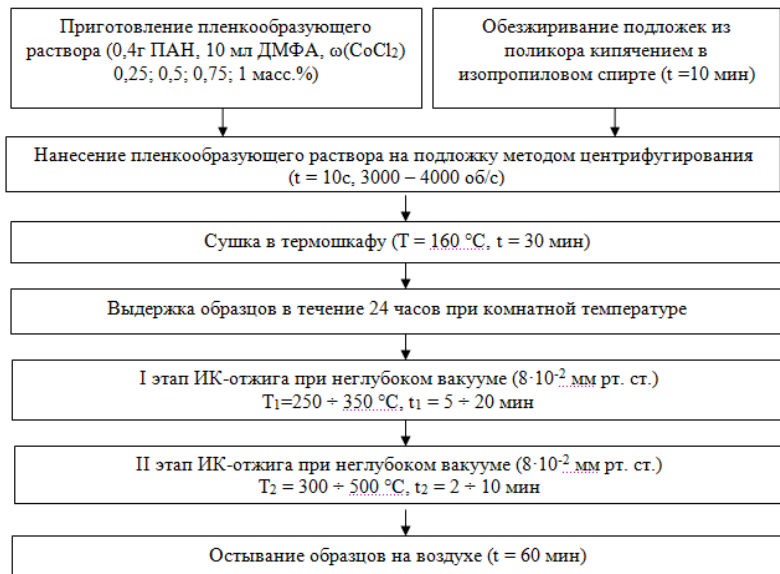


Рис. 1. Схема синтеза тонких пленок кобальтсодержащего ПАН

Литература

1. Т. А.Бедная, С. П. Коноваленко, Т. В. Семенистая, В. В. Петров, А. Н. Королев. Изготовление газочувствительных элементов сенсора диоксид азота и хлора на основе кобальтсодержащего полиакрилонитрила. Известия высших учебных заведений. Электроника. № 4(96). С. 66 (2012).
2. G.P. Karpacheva, K. A. Bagdasarova, G. N. Bondarenko, L. M. Zemtsov, D. G. Muratov, N. S. Perov. Co–Carbon Nanocomposites Based on IR-Pyrolyzed Polyacrylonitrile Polymer Science. Vol. 51. № 11-12. P. 1297 (2009).

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НОВЫХ СТРУКТУРНЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ГРАФЕНА, СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ ЦЕПОЧЕК КАРБИНА

Коченгин А.Е.¹, Беленков Е.А.¹

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск
+7(351)7997117, kochengin.ae@gmail.com

Созданию наноэлектронных устройств только на основе графена препятствует отсутствие в его электронной структуре запрещенной зоны на уровне энергии Ферми. Поэтому в электронных устройствах графеновые слои комбинируют с другими материалами. Однако, кроме общеизвестного гексагонального графена возможно существование других полиморфных разновидностей [1], которые вероятно могут иметь полупроводниковые свойства.

Модельно построить структуру новых полиморфов графена можно в результате сшивки карбиновых цепочек [2]. При помощи этой модельной схемы были построены семнадцать структурных разновидностей графеновых слоев из которых четыре новых структуры из атомов в двух кристаллографически различных состоянии и одиннадцать полиморфов из атомов в трех состояниях. Расчет структуры новых полиморфов графена был выполнен методами теории функционала плотности в градиентном приближении.

В результате расчетов установлено возможность устойчивого существования пятнадцати новых полиморфных разновидностей графена, состоящих из углеродных атомов в двух (рис.1) или трех различных кристаллографических позициях. Кристаллические решетки семи структурных разновидностей графена прямоугольные и еще восьми косоугольные. Число атомов в элементарных ячейках графеновых слоев изменяется от 2 до 12. Удельная разностная энергия ΔE_{total} , вычисленная для негексагональных полиморфов относительно графена L_6 варьируется в диапазоне от 0.3 до 1.55 эВ/ат., а энергия сублимации E_{sub} – в диапазоне 6.25 до 7.48 эВ/ат. Энергия сублимации для полиморфов L_{4-6-8a} , L_{4-6-8b} , L_{4-6-8c} , L_{4-6-8e} и L_{4-6-8f} оказалась выше значений сублимационной энергии основных полиморфов графена (L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12}), но ниже чем энергия атомизации гексагонального графена. Ширина запрещенной зоны для

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
восьми полиморфов нулевая, а для остальных составляет от 0.13 до
0.59 эВ.

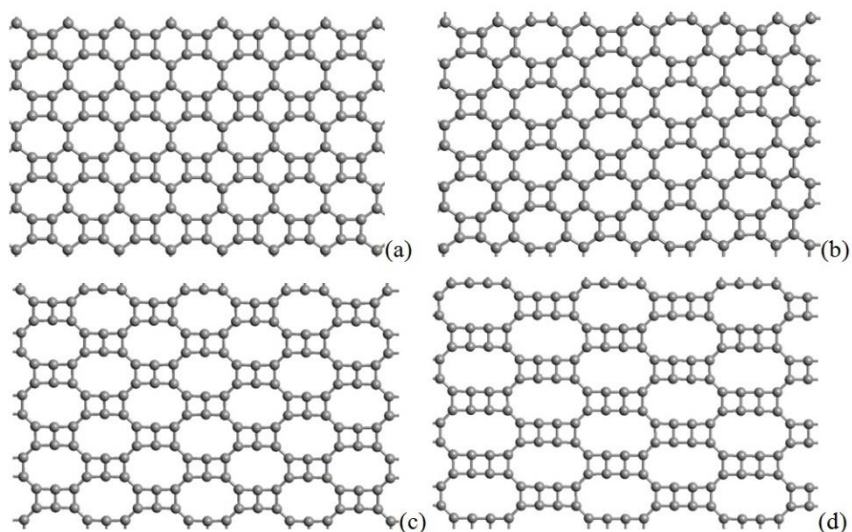


Рис.1. Графеновые слои из атомов в двух различных атомных позиций: (a) L_{4-6-8a} ; (b) L_{4-6-8b} ; (c) L_{4-10} ; (d) L_{4-12} .

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ.

Литература

1. Е.А. Беленков, А.Е. Коченгин. Структура и электронные свойства кристаллов, состоящих из графеновых слоев L_6 , L_{4-8} , L_{3-12} и L_{4-6-12} . ФТТ. Т.57. №10. С.2071-2078 (2015).
2. А.Е. Коченгин, Е.А. Беленков. Новые полиморфные разновидности графена, сформированные из карбиновых цепочек. Перспективные материалы. Т.2. С.5-13 (2017).

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕТОНАЦИОННЫХ НАНОАЛМАЗОВ

Кулешова А.В., Губин С.А., Маклашова И.В., Закаилова Е.И.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва.*

89854556445, nastyakuleshova94@gmail.com

Наночастицы углерода по своим физико-химическим свойствам занимают промежуточное положение между большой молекулой и твердым телом. Сочетание необычных физико-химических свойств наночастиц углерода привлекает к ним интерес как к уникальным объектам фундаментальных исследований. Для определения наиболее перспективных направлений использования нанодисперсных алмазов необходимо исследование их термодинамических свойств.

Целью работы является исследование термической и окислительной стабильности, теплофизических и термодинамических свойств наноалмазов детонационного синтеза, образованных в продуктах детонации взрывчатой смеси тротил/гексоген 50/50.

Были проведены исследования алмазного порошка «ДНА – СПН» в интервале температур 30 – 1490°C методом синхронного термического анализа в среде аргона и воздуха. После термообработки проводился анализ микроструктуры пробы порошка методом растровой электронной микроскопии, а также исследование фазового состава образца методом рентгеноструктурного анализа.

При нагреве ДНА в активной среде воздуха возможны окисление и деструкция (аморфизация и графитизация) [1]. Процесс окисления ДНА начинается при температуре выше 500°C.

По методу Киссинджера была определена энергия активации процесса окисления ДНА $E_a = 195,6$ кДж/моль, полученный результат сопоставим с литературными данными [2, 3].

При нагреве в инертной среде явных признаков окисления образца не наблюдалось. Заметные структурные изменения до 600°C полностью отсутствуют. Рентгеноструктурный анализ образцов выявил, что после термической обработки порошка ДНА – СПН до температуры 900°C было обнаружено появление фазы графита, которой не было в исходном образце.

Проведенные исследования свойств наноалмазов детонационно-го синтеза показали, при нагреве выше 900°C возможны структурные изменения наноалмаза – его аморфизация и частичная графитизация. Аморфная углеродная фаза имеет графитоподобную структуру.

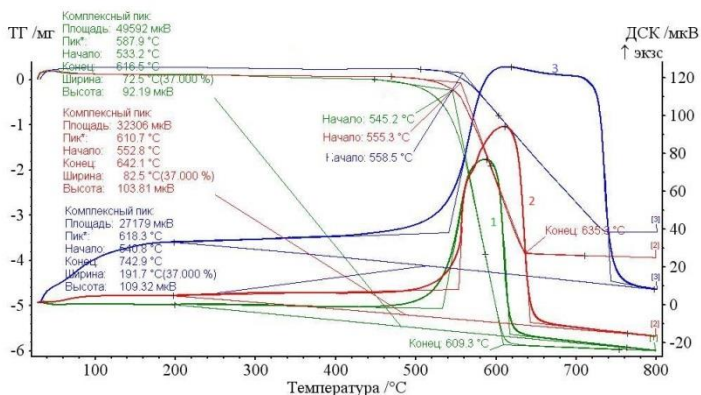


Рис. 1. Термограммы окисления ДНА в воздухе диапазоне 25-800°C при скоростях нагрева: 1- $v_1=10$ К/мин, 2- $v_2=20$ К/мин, 3- $v_3=50$ К/мин

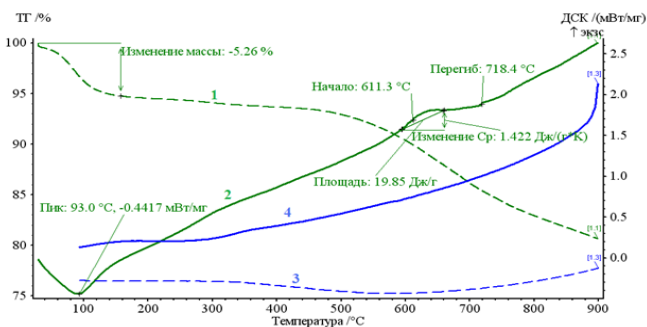


Рис. 2. Термограмма графитизации ДНА, нагрев в аргоне до 900°C, скорость нагрева $v=10$ К/мин, с охлаждением: 1 – ТГ нагрева, 2 – ДСК нагрева, 3 – ТГ охлаждения, 4 – ДСК охлаждения.

Литература

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

1. Xu NS, Chen J, Deng SZ. Effect of heat treatment on the properties of nano-diamond under oxygen and argon ambient // *Diamond and Related Materials*. 11. 2002. Pp. 249–56.

2. Кулакова И. И. Химия поверхности наноалмазов // *Физика твёрдого тела*. 2004. Т. 46. 4. С. 621-628.

3. Новиков Н. В., Богатырева Г. П. Наноалмазы статического и детонационного синтеза и перспективы их применения // *Сверхтвёрдые материалы*. 2008. 2. С. 3-12.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

**РАСЧЕТ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В
ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ С
МАГНИТОЖИДКОСТНЫМ СЕНСОРОМ**

Макимова Е.А., Грицюк С.Н.

БИТИ НИЯУ МИФИ, г. Балаково
+79372537262, kate6081@yandex.ru

Гидроэлектрический преобразователь расхода с магнито­жид­костным сенсором (ГЭПР с МЖС) представляет собой разъемный корпус цилиндрической формы, выполненный из оргстекла мини­мальной толщины. В корпусе преобразователя жестко крепится магнито­жид­костный сенсор – тонкостенная оболочка из эластич­ной резины, заполненная магнитной жидкостью. На корпусе ГЭПР закреплены электромагнитные катушки, с которых снимается токо­вый сигнал [1].

От характера воздействия потока жидкости на МЖС, зависят многие факторы, влияющие на качество работы устройства: дол­говечность оболочки сенсора; чувствительность МЖС к изменению скорости потока; сопротивление сенсора потоку жидкости при ре­гулировании расхода [1]. Целью работы является расчет скорости течения жидкости в цилиндрической проточной части гидроэлек­трического преобразователя расхода жидкости с магнито­жид­костным сенсором.

Распределение скоростей в сечении эллиптической трубы при­нимает вид [2]:

$$v_y = \frac{\Delta p}{2\mu l} \left(\frac{a^2 b^2}{a^2 + b^2} \right) \left(1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{z^2}{b^2} \right) \quad (1)$$

Максимальная по сечению скорость на оси эллиптической тру­бы:

$$v_y = v_{y\max} \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \quad (2)$$

Для дальнейшего определения скорости проводится расчет об­текания сферической оболочки, в которую заключена магнитная

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
жидкость с учетом профиля скорости в цилиндрической проточной части.

В результате, получена тангенциальная составляющая скорости:

$$V_{\theta} = -V_{\infty} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{R} \right)^3 \right] \sin \theta \quad (3)$$

где : V_{∞} - скорость потока жидкости, м/с; a – радиус сферы обтекания, мм; R – расстояние от центра сферы до точки, где ведется расчет скорости, мм; $\theta = 0, \pi$.

Радиальная составляющая скорости:

$$V_R = V_{\infty} \left[1 - \left(\frac{a}{R} \right)^3 \right] \cos \theta \quad (4)$$

С учётом размеров проточной части преобразователя расхода определяются тангенциальная и радиальная составляющие скорости (рис. 1).

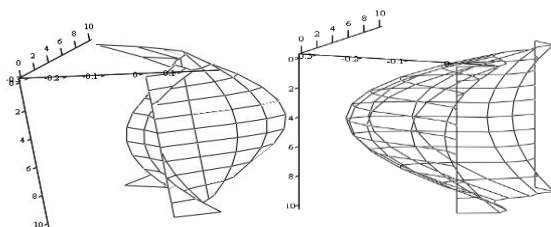


Рис. 1. Тангенциальная и радиальная составляющие скорости.

Таким образом, в результате определены тангенциальная и радиальная составляющие скорости течения жидкости в цилиндрической проточной части гидроэлектрического преобразователя расхода с магнитожидкостным сенсором и построены расчетные зависимости.

Литература

1. С.Н. Грицюк. Магнитожидкостный измеритель расхода диэлектрических жидкостей. Сб. докл. VIII Междунар. научн. конф. «Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей». (СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУ. 2006).

2. С.Н. Грицюк. Измерение расхода диэлектрических сред с помощью магнитожидкостных преобразователей. Сб. научн. труд. 12 Междунар. Плесской конф. по магнитным жидкостям. (Россия: Плес. 2006).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ
СТАННАТА КАЛЬЦИЯ, АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Марьина У.А., Марьин А.П., Воробьев В.А.

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
8-919-736-83-05, ulyana-ne@mail.ru*

На современном этапе развития науки и техники поиск новых люминесцентных материалов является актуальной научной задачей. В последние годы активно исследуются не только стоксовы и антистоксовы люминофоры, излучающие в видимом диапазоне спектра, но и люминофоры, излучающие в ближней и средней ИК-областях электромагнитного спектра.

При исследовании люминесцентной структуры на основе станната кальция CaSnO_3 , легированной ионами некоторых редкоземельных элементов (РЗЭ), была обнаружена люминесценция в видимой области спектра и ИК-люминесценция, не известная ранее [1].

Структура CaSnO_3 была получена твердофазным методом. Для этого были опробованы различные режимы синтеза и подобраны наиболее оптимальные температурно-временные параметры прокаливания [2]. Синтез осуществлялся в окислительной атмосфере при температуре 1250°C в течение 18 часов. В качестве активаторов использовались следующие РЗЭ: Yb, Er, Ho, Tm.

В ходе исследований ИК-люминесценция обнаружена в одноактиваторных структурах: $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+}$ (максимум соответствует длине волны 998 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны 960 нм), $\text{CaSnO}_3:\text{Er}^{3+}$ (максимум соответствует длине волны 1550 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны 811 нм), $\text{CaSnO}_3:\text{Tm}^{3+}$ (максимум соответствует длине волны 1780 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны 811 нм).

Получены также двухактиваторные люминесцентные структуры: $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Er}^{3+}$ (максимум соответствует длине волны 1550 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны 960 нм), $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Ho}^{3+}$ (максимумы соответствуют длинам волн 1190 и 2000 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии 960 нм), $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$ (максимумы соответствуют длинам волн 800 и 1780 нм при возбуждении образцов лазером с длиной волны 960 нм).

Для всех перечисленных выше люминесцентных составов установлены наиболее оптимальные значения концентраций активаторов, при которых наблюдается наибольшая интенсивность ИК-люминесценции [3].

Дополнительно было изучено влияние плавней и их концентраций на оптико-физические свойства люминесцентных структур. Установлено, что плавень SnCl_2 (3 % от массы) улучшает диффузию компонентов в твердом растворе, тем самым снижая температуру плавления и ускоряя процесс формирования фазы CaSnO_3 .

Введение плавней Na_2CO_3 , NaCl , Li_2CO_3 , LiCl повышает интенсивность люминесценции. Наилучшие результаты получены при использовании плавня Na_2CO_3 .

Синтез и исследование люминесцентных свойств новых ИК-люминофоров на основе станната кальция, а также станнатов других щелочноземельных металлов, будет предметом наших дальнейших исследований, поскольку эта тема имеет научную и практическую значимость.

Литература

1. У.А. Марьина, В.А. Воробьев. Исследование люминесцентных свойств станната кальция CaSnO_3 , активированного ионами редкоземельных металлов. Вестник СКФУ. №4 (55). С.36-41 (2016).
2. У.А. Марьина, В.А. Воробьев. Особенности синтеза перовскитоподобных структур типа MSnO_3 ($\text{M}=\text{Ba},\text{Sr},\text{Ca}$) и исследование их люминесцентных свойств. Вестник СКФУ. №1 (52). С.7-13 (2016).
3. У.А. Марьина, В.А. Воробьев, А.П. Марьин. Влияние концентрации примеси Yb и типа плавня на люминесцентные свойства $\text{CaSnO}_3:\text{Yb}$. Научные исследования и разработки молодых ученых: материалы XIV Международной молодежной научно-практической конференции, г. Новосибирск, 31 октября, 9 ноября (2016).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОСЛОЙНЫХ
АВТОЭМИССИОННЫХ ЯЧЕЕК ПЛАНАРНОГО ТИПА**

Масленникова И.С.¹, Комаров Д.А.^{1,2}, Масленников С.П.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва

² АО “НПП “Торий”, Москва

(495)788-56-99 доб.92-65, maslennira@yandex.ru

Использование автоэмиссионных источников электронов является одним из перспективных направлений в современной вакуумной электронике. Область применения таких источников весьма широка - вакуумные СВЧ приборы, рентгеновские источники, источники света, плоские дисплейные экраны и т.д.

Среди основных преимуществ автоэмиссионных структур можно выделить их мгновенную готовность к работе и управляемость при относительно малых величинах напряжений. В мощных СВЧ приборах со стандартными термоэмиссионными катодами используются управляющие импульсы напряжения с амплитудами в несколько киловольт, в то время как автокатоды позволяют перейти к управлению при напряжениях в сотни вольт. Это может существенно снизить энергопотребление и габариты используемых источников питания.

Целью данной работы является исследование характеристик многослойных автоэмиссионных ячеек планарного типа [1], выявление ограничений импульсных режимов управления автокатодами в составе мощных электровакуумных приборов. В проведенном цикле экспериментов были исследованы образцы ячеек, в которых применялись эмитирующие структуры с площадью 0,2–1,0 мм².

Полученные результаты позволили выявить характерные особенности режимов управления эмиссионными ячейками, проявляющиеся, в частности, в затягивании нарастания тока эмиссии и формировании коротких бросков емкостного тока на фронтах импульсов управляющего напряжения.

Работа ячеек сопровождалась локальными электрическими разрядами, которые фиксировались по характерным выбросам на осциллограммах импульсных сигналов. Под воздействием разрядных

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии явлений происходила деградация эмитирующих структур, которая сопровождалась резкими изменениями эмиссионных свойств ячеек и приводила к их выходу из строя.

Стабильность характеристик автоэмиссионных ячеек улучшалась при использовании в схемах управления высокоомных балластных сопротивлений ($>10^4$ Ом), что связано со снижением мощности локальных разрядов. Эти результаты указывают на то, что при создании автоэмиссионных катодов для мощных приборов микросекундного диапазона отдельные ячейки единой эмитирующей структуры должны иметь собственные балластные сопротивления.

Исследования временной стабильности параметров ячеек показали, что во время первых часов работы в результате формовки эмиссионного катода его ток снижается, а вольтамперные характеристики смещаются в область повышенных напряжений. Последующая работа ячеек происходила в стабильном режиме и сопровождалась постепенным ростом эмиссионного тока, что связано с процессами установления равновесного состояния между адсорбцией и десорбцией остаточных газов [2].

Полученные результаты показывают, что для длительной и стабильной работы автоэмиссионных структур в составе вакуумных СВЧ приборов необходимо обеспечение условий работы катода при средней плотности токоотбора не более $\sim 0,1$ А/см² [2].

Литература

1. С.П. Морев, Н.П. Абаньшин, Б.И. Горфинкель и др. Электронно-оптические системы с автоэмиссионными катодными матрицами планарного типа для мощных СВЧ приборов. Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 4. С. 399-408
2. С.П. Масленников, Н.П. Абаньшин, Б.И. Горфинкель и др. Стабильность тока многослойных гетерогенных углеродсодержащих автоэмиссионных катодно-сеточных устройств. Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61. № 10. С. 1004-1009

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**sd-ЭЛЕКТРОННЫЙ СПИНОВЫЙ РЕЗОНАНС В
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Некрасов М.А.¹, Сафин А.Р.¹, Вилков Е.А.², Чигарев С.Г.²

¹ *Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва*

² *ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино*

+7-916-029-12-54, juvefan95@yandex.ru

В последнее время возрос активный интерес к генерации и детектированию электромагнитных волн терагерцового (ТГц) диапазона частот [1]-[2]. Перспективным является использование спиновой инжекции в магнитных переходах, которая приводит к инверсной заселенности спиновых энергетических подзон. Был получен ряд экспериментальных результатов по генерации ТГц-волн в структурах типа «ферро или антиферро-магнитная пленка - металлический стержень» [2]. На сегодняшний день важной является задача детектирования ТГц волн в таких переходах. В данной работе рассматривается математическая модель и условия возникновения резонанса в магнитных переходах за счет sd-обменного взаимодействия между электронами проводимости и магнитной решетки [2],[3].

Рассмотрим модель, в которой плоско поляризованная электромагнитная волна падает на пленку ферромагнитного материала, в который инжектируются спины из соседнего слоя ферромагнетика – инжектора. Если толщина пленки мала, то на электроны проводимости действует однородное переменное магнитное поле $\mathbf{H}(t) = \mathbf{H}_0 \cos(\omega_0 t)$. Намагниченность $\mathbf{m}(t)$ электронов проводимости описываем уравнением прецессии следующего вида [2],[3]:

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{J}}{\partial x} + \gamma \alpha [\mathbf{m} \times \mathbf{M}] + \gamma [\mathbf{m} \times \mathbf{H}] + \frac{\mathbf{m} - \mathbf{m}'}{\tau} = 0,$$

где $\mathbf{J} = \mathbf{J}(\mathbf{m})$ - плотность потока намагниченности носителей тока. γ - гиромагнитное отношение, α - безразмерная константа sd-обмена, \mathbf{m}' - равновесная намагниченность электронов, τ - время спиновой релаксации.

Выбрана система координат, в которой плоскость yz совпадает с плоскостью пленки, ось z параллельна легкой оси анизотропии и

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
направлению намагниченности решетки \mathbf{M} , а электромагнитная волна падает в направлении распространения электронов проводимости (ось x), так что $\mathbf{H}(t) = \{0, H_y(t), H_z(t)\}$.

Если частота ЭМ-волны ω_0 сравнима с частотой sd-обмена $\Omega = \gamma\alpha M$, то она на несколько порядков превосходит частоту ферромагнитного резонанса пленки. Намагниченность решетки не успевает меняться во времени с частотой ω_0 и сохраняет исходное положение, а намагниченность электронов $\mathbf{m}(t)$ прецессирует вокруг вектора \mathbf{M} с частотой ω_0 , что приводит к резонансному поглощению ЭМ волны на частоте, близкой к Ω .

Полученные численные результаты моделирования для типичных параметров показывают возможность применения резонансного эффекта для определения характера поляризации ЭМ-волны. Данный эффект может быть использован для частотной фильтрации и детектирования ТГц-сигналов.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №8.8109.2017/БЧ.

Литература

1. A. Kadigrobov, Z. Ivanov, T. Claeson, R. Shekhter, M. Jonson. Giant lasing effect in magnetic nanoconductors. *Europhys. Lett.* Vol.67. No.6. P.948 (2004).

2. Ю.В. Гуляев, П.Е. Зильберман, Г.М. Михайлов, С.Г. Чигарев. Генерация терагерцовых волн током в магнитных переходах. Письма в ЖЭТФ. Т.98. Вып.11. С.837-847 (2013).

3. Ю.В. Гуляев, Е.А. Вилков, П.Е. Зильберман, А.И. Панас. Sd-обменный электронный спиновый резонанс в ферромагнитном металле. Письма в ЖЭТФ. Т.100. Вып.3. С.194-196 (2014).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МНОГОБАРЬЕРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Панченко В.А.¹⁾, Мустафаев Г.А.¹⁾, Черкесова Н.В.¹⁾,
Мустафаев А.Г.²⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет»,
Нальчик

²⁾ ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного
хозяйства», Махачкала
arslan_mustafaev@mail.ru

Методами компьютерного и приборно-технологического моделирования проведено исследование структур и характеристик резонансно-туннельных диодов для субгармонических смесителей (СГС) [1-3]. В качестве активного элемента СГС рассматривался резонансно-туннельный диод (РТД), имеющий антисимметричную ВАХ [4].

Варьируя параметры структуры, величину внешнего напряжения можно получить зависимости коэффициентов прохождения двухбарьерной структуры от энергии электрона, и при подаче внешнего напряжения.

Данная модель может быть распространена на гетероструктуры состоящие из большего числа квантовых ям и барьеров использоваться для анализа других полупроводниковых гетероструктур на основе соединений $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$ и более сложных тройных и четверных. Моделирование позволяет для конкретной гетероструктуры (задан материал, толщины слоев барьеров и квантовых ям) рассчитать оптимальную первоначальную энергию частицы, т. е. оптимальную концентрацию примеси в области контактов к структуре, и получить значение внешнего напряжения, соответствующее условию резонансного туннелирования электронов.

Вариация состава и ширины барьеров позволяет определить их оптимальные значения для осуществления туннелирования электронов из левого контакта в правый при внешнем напряжении менее 0,1 В, т. е. получить максимально возможное значение коэффициента прохождения структуры.

Несимметричная конструкция предотвращает туннелирование

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
 электронов из правого барьера в левый при смене полярности входного напряжения, т. е. обеспечивает вентиляльные свойства структуры. Была определена структура прибора (рис.1). Путем надлежащего выбора толщины спейсера и параметров квантовой ямы, можно оптимизировать ВАХ диодов для субгармонических смесителей, в частности увеличить крутизну и пиковый ток диодов.

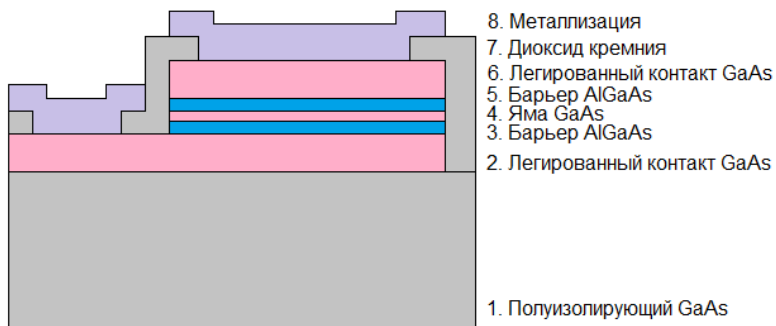


Рис. 1. Структура прибора

Разработанная структура может быть использована при выпрямлении переменного тока с амплитудой напряжения менее 0,1 В, что соответствует типичному уровню напряжений в антенных устройствах.

Литература

1. Т. Андо, А. Фаулер, Ф.Стерн. Электронные свойства двумерных систем. (М.: Мир, 1985).
2. А.Б. Пашковский. Четность и резкое расширение резонансных уровней в трехбарьерных структурах. Письма в ЖЭТФ, Т.82, № 4, С.228-233 (2005).
3. W.Y. Liu, D.P. Steenson. Investigation of subharmonic mixer based on a quantum barrier device. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, V.48, P.757-763 (2002).
4. Н.В. Алкеев. Анализ шумовых и динамических свойств субгармонического смесителя на резонансно-туннельном диоде. Радиотехника и электроника. Т.49, №10, С.1258-1263 (2004).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
КВАНТОВАЯ ЯМА НОВОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Пех П.Л., Силин А.П.

ФИАН, Москва
8-926-402-81-79, *pavel.pekh@phystech.edu*

Графен является перспективным материалом для будущей электроники [1], подвижность носителей в графене может достигать $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ [2]. В данной работе мы исследуем энергетический спектр связанных состояний в планарном двойном гетеропереходе, составленном из бесщелевых графенов с равными работами выхода, но разными скоростями Ферми. Как показывают эксперименты [3], скорость Ферми графена существенно зависят от того на какую подложку он нанесен. В частности, мы предлагаем делать исследуемые структуры путем нанесения листа графена на композитную подложку, составленную из трех разных диэлектрических материалов.

Электроны вблизи долины К описываются уравнением Дирака [4]

$$\hat{H}\psi = v \sigma_r \psi = E\psi$$

где v -скорость Ферми, σ -сигма-матрицы Паули, r -оператор импульса, E -энергия, ψ -огигающая спинорная волновая функция носителей, профиль скорости Ферми

$$v = \begin{cases} v_a, x < -d/2, \\ v_b, -d/2 < x < d/2, \\ v_c, x > d/2. \end{cases}$$

Движение вдоль оси y свободно, поэтому решение спектрального уравнения имеет вид $\psi(x, y) = \psi(x, k)e^{iky}$ бегущей волны с импульсом k . При следующем выборе соотношений между скоростями Ферми $v_a/v_b = a > 1$, $v_c/v_b = c > 1$, $v_c/v_a \geq 1$ реализуется случай квантовой ямы нового типа. Движущейся электрон находится в эффективной квантовой яме, зависящей от импульса k , у которой $(v_a - v_b)k$ -левый барьер, $(v_c - v_b)k$ -правый барьер.

Решая уравнение Дирака, можно получить, что спектр $E = \pm v_b k \sqrt{z(k)}$, где $\cos(2kd\sqrt{z-1}) = \frac{A-B}{z(a-1)(c-1)}$, $A = ac + z^2 - z(a + c)$, $B = (z-1)\sqrt{a^2 - z}\sqrt{c^2 - z}$. На Рис. 1 представлены решения дисперсионного уравнения для симметричной и асимметричной квантовых ям нового типа.

В симметричной квантовой яме основное состояние существует всегда, а в асимметричной - только начиная с конечного импульса

$k_0 = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{a^2-c}{a(a-c)}\right)}{2d\sqrt{a^2-1}}$. Поэтому подобного рода гетероструктуры можно использовать для фильтрации сигналов по импульсам. Асимптотическое поведение при больших импульсах в обоих случаях совпадает.

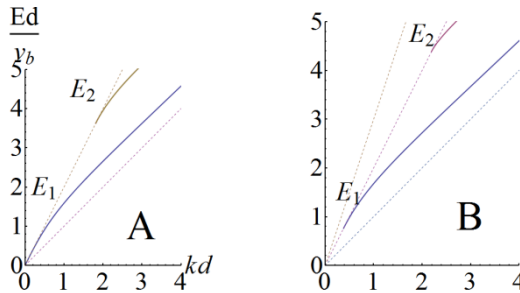


Рис.1. Энергетический спектр разных квантовых ям нового типа. Сплошными линиями обозначена зависимость Ed/v_b от kd для нескольких уровней. Пунктирными линиями обозначены следующие кривые: kd , akd и ckd . А $a=c=2$. В $a=2, c=3$.

Литература

1. X. Li, H. Wang, et.al. Room-temperature all-semiconducting sub-10-nm graphene nanoribbon field-effect transistors. Phys. Rev. Lett., 100, 206803 (2008).
2. Z. Jiang, M. Klima, et.al. Ultrahigh electron mobility in suspend graphene. Solid St. Commun., 146, 351 (2009).
3. C. Hwang, D.A. Siegel, et.al. Fermi velocity engineering in graphene by substrate modification. Scientific Reports, 2, 590 (2012).
4. П.В. Ратников, А.П. Силин. Размерное квантование в графеновых планарных гетероструктурах: псевдоспиновое расщепление энергетического спектра, приграничные состояния и экситоны. ЖЭТФ, 141, 582 (2012).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ W-ДИАПАЗОНА**

Плоских А.Э.¹, Каретникова.Т.А.¹

¹ СГУ имени Н.Г.Чернышевского, г.Саратов
конт. тел: 89276256408, e-mail: andreyploskih@gmail.com

В данном докладе представлено исследование геометрических и электродинамических параметров замедляющих систем (ЗС) типа сдвоенной гребенки в прямоугольном волноводе с плоским электронным пучком [1]. Авторы данной работы представляют разработку подобных приборов в диапазоне 95-110 ГГц. Практическая ценность работы заключается в возможности использования данного прибора как в качестве ЛБВ-усилителя W-диапазона, так и входной секции для умножителя частоты (Рис.1) с выходной секцией G-диапазона (0.2 ТГц) [2]. Проведена оптимизация геометрических параметров для электронного пучка с напряжением 20 кВ и рассчитаны основные электродинамические характеристики ЗС.

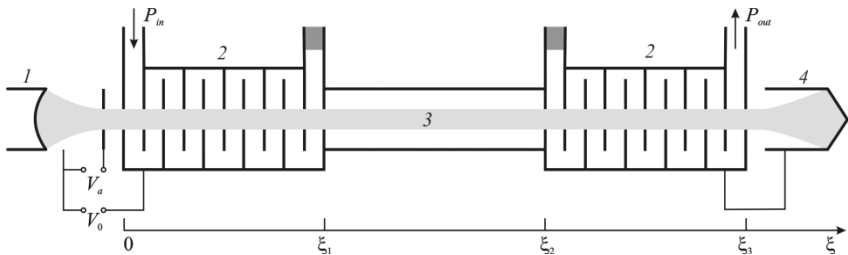


Рис.1. Схема секционированного усилителя. 1 — электронная пушка, 2 — замедляющая система, 3 — электронный пучок, 4 — коллектор

Литература

1. Ryskin N.M., Rozhnev A.G., Karetnikova T.A., et al. // Radiophys. Quantum Electron. 2014. Vol. 56, No. 8-9. p. 542.
2. Т.А. Каретникова, А.Г. Рожнёв, Н.М. Рыскин, К.В. Белов. // Материалы конференции АПЭП 2016, г.Саратов. Т.1. С. 58-61.

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИК- УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

***Полохин А.А.¹, Герасименко А.Ю.¹, Дудин А.А.¹,
Ичкидидзе Л.П.¹, Кицюк Е.П.³, Орлов А.П.², Павлов А.А.²,
Шаман Ю.П.³***

¹ *Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва*

² *Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, Москва*

³ *НПК «Технологический центр», Москва*

+79261003238, a.a.polohin@gmail.com

На сегодняшний день оптическое излучение широко применяется во всех сферах жизни. В данном случае особо важным становится контроль используемого излучения с помощью детекторов излучения. Все существующие на данный момент детекторы по принципу работы можно разделить на два основных типа: фототермические и фотоэлектрические [1]. Каждый из данных типов обладает своими недостатками, которые можно избежать, используя технологию углеродных нанотрубок (УНТ).

Разработан матричный детектор на основе УНТ, состоящий из 16 чувствительных элементов, выполненных на единой полупроводниковой подложке (Рис.1а). Каждый чувствительный элемент содержит 10000 чувствительных ячеек, расположенных в виде квадрата 100х100, с расстоянием между ними 5 мкм.

Основной топологией чувствительных ячеек является двухэлектродная система [2], то есть ячейки представляют собой отверстия, проходящие через слой металлизации и диэлектрика к полупроводнику, от которого массив УНТ прорастает к верхнему слою (Рис.1б). Основой всей структуры является подложка из монокристаллического кремния. Верхний слой – алюминиевая металлизация. Под металлизацией находится следующий слой – диэлектрический, выполненный из термически окисленного кремния, толщиной 0,5 мкм.

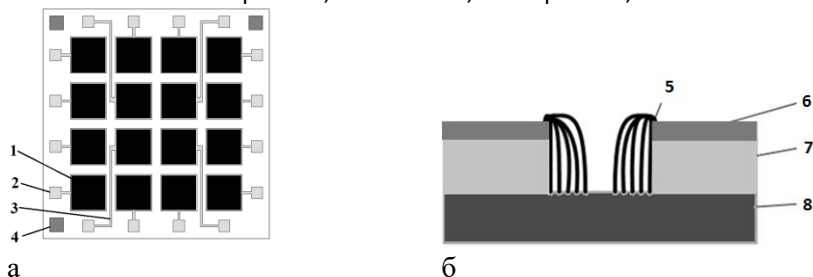


Рис. 1. Топологии матричного детектора на основе массива УНТ (а) и чувствительной ячейки (б):

1 – чувствительный элемент, 2 – контактная площадка чувствительного элемента, 3 – контактная металлизация, 4 – контактное окно кремневой подложки, 5 – углеродные нанотрубки, 6 – верхний слой (металлизация), 7 – оксид кремния (изолятор), 8 – кремневая подложка

Параметры матричного детектора на основе УНТ, такие как рабочий диапазон длин волн, быстродействие и чувствительность, были исследованы с помощью экспериментальной установки. Рабочий диапазон длин волн (зависимость фотоЭДС всех 16 чувствительных элементов матричного детектора от длины волны падающего излучения) составил 400-1200 нм. Быстродействие не превысило 30 мкс. Кривые зависимости фотоЭДС чувствительных элементов от мощности падающего лазерного излучения имели нелинейный характер, что может свидетельствовать о процессе насыщения, происходящим в матричном детекторе.

Матричный детектор на основе УНТ по мере развития и совершенствования технологии должен обеспечить более высокие параметры, чем у ныне существующих полупроводниковых детекторов.

Литература

1. J.D. Vincent, J. Vampola, J. Pierce. Fundamentals of Infrared and Visible Detector Operation and Testing, (Hoboken, Wiley, 2015)

2. E.V. Blagov, A.Yu. Gerasimenko, A.A. Dudin, L.P. Ichkitidze, E.P. Kitsyuk, A.P. Orlov, A.A. Pavlov, A.A. Polohin, Yu.P. Shaman. Development of New Sensitive Broadband Elements of Sensors Based on Carbon Nanotubes. Biomed. Eng. Vol. 49. Issue 5. P. 25-28 (2016)

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ НАНОСПУТНИК КЛАССА CanSat
ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНИХ СЛОЕВ
АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

Саечников И.В.¹, Саечников А.В.²

*^{1,2}Белорусский государственный университет, факультет радиофизики и компьютерных технологий, Минск.
+375291822093, saetchnikovivan@gmail.com.*

Одной из основных экологических проблем человечества на текущем этапе развития является проблема разрушения озонового слоя, сопровождающееся уменьшением концентрации озона и, в первую очередь, повышением концентрации в атмосфере углекислого, угарного газов и метана. Предлагаемый аппарат класса CanSat был разработан для проведения периодических замеров параметров состава атмосферы и контроля за состоянием земного покрова.

Кроме управляющей, приемо-передающей систем и системы питания [1, 2], установлена функциональная нагрузка, с помощью которой идет отслеживание изменений следующих показателей атмосферы: концентрация озона, метана, угарного, углекислого газа, интенсивность ультрафиолетового излучения. Функциональная нагрузка дополнена платформой с камерами, выполняющими съемку в четырех спектральных диапазонах. При создании корпуса аппарата использовались технологии 3D печати.

Во время тестовых запусков на высоты до 1 км была подтверждена бесперебойность работы служебных систем и стабильность записи показателей концентрации газов и мультиспектральных изображений поверхности Земли на съемный носитель памяти аппарата. На основе записанной информации с датчиков газов, давления и температуры производился расчет концентрации газов и строились вертикальные профили концентраций контролируемых компонент атмосферы. Для построения карт вегетационных индексов (Рис.2) производилась обработка мультиспектральных и геопозиционных данных для расчета вегетационного индекса NDVI с привязкой к координатам земной поверхности. Программные компоненты обработки данных были разработаны в среде Matlab.

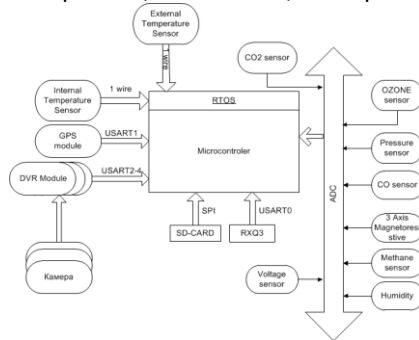


Рис.1 Общая принципиальная схема наноспутника.

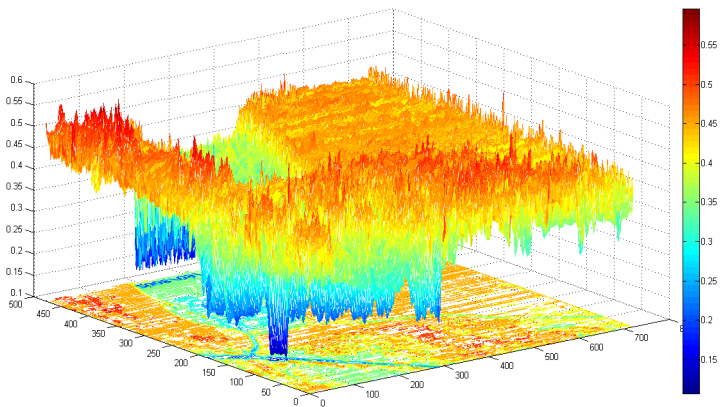


Рис.2 Карта вегетационных индексов поверхности Земли

Предлагаемое решение обеспечивает возможность многозадачного использования, и может использоваться в экологических, метеорологических, научных, а также образовательных целях.

Литература

1. Christopher Damaren, James R. Forbes. Spacecraft Dynamics And Control: An Introduction (2013).Wiley. 588 p.
2. Pratap Misra and Per Enge Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance Revised Second Edition (2011). Ganga-Jamuna Press.590 p.

ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАССИВОВ СО НАНОПРОВОЛОК ОТ ФОРМЫ СИГНАЛА И ЧАСТОТЫ ТОКА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

Самардак А. Ю.¹, Самардак А. С.¹, Чеботкевич Л. А.¹,
F. Nasirpour²

¹Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток

²Faculty of Materials Engineering, Sahand University of Technology,
Tabriz, Iran

Тел.: +79149702383, e-mail: lsamardak@gmail.com

Массивы высокоупорядоченных нанопроволок привлекают особое внимание исследователей в связи с их выдающимися магнитными и структурными свойствами и являются перспективным материалом для создания носителей информации высокой плотности и широкого спектра других устройств [1].

Исследуемые проволоки электроосаждались в пористые матрицы Al_2O_3 , диаметр пор в которых составлял 2 нм, их длина - порядка 2 мкм. Электролит 0.1 моль/л $CoSO_4$, 7H₂O и 0.5 моль/л борной кислоты. Проволоки получались переменным током синусоидальной и треугольной формы сигнала с частотой 200, 400, 800 и 1000 Гц, при постоянном напряжении $V=15$ В.

Образцы были исследованы на вибрационном магнитометре LakeShore VSM методом кривых перемагничивания первого порядка (FORC) [2], данные были обработаны с помощью программного пакета FORCinel [3]. На рисунке 1 представлены FORC-диаграммы полученных образцов. С увеличением частоты переменного синусоидального тока с 200 до 400 Гц (рисунок 1 (а, б)) наблюдается уменьшение распределения полей коэрцитивности, и увеличивается распределение полей взаимодействия, что можно связать с заполнением пор, увеличением однородности и длины нанопроволок. При увеличении частоты до 1000 Гц (рисунок 1, в) FORC-диаграмма представляет классическую дуговую картину, характерную для хорошо взаимодействующих гомогенных нанопроволок.

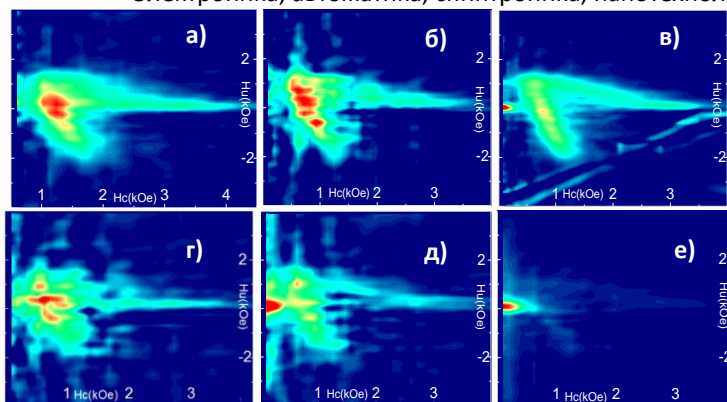


Рис. 1. FORC-диаграммы образцов а) sin, 200 Гц, б) sin, 400 Гц, в) sin, 1000 Гц, г) triang., 400 Гц, д) triang., 800 Гц, е) triang., 1000 Гц.

FORC-диаграммы образцов, полученных треугольной формой сигнала при частотах 400 и 800 Гц (рисунок 1 (г, д)), представляют собой разрозненную многопиковую структуру, что позволяет сделать предположение о неоднородности полученных проволок. При увеличении частоты до 1000 Гц (рисунок 1 (е)) распределение приобретает структуру с низкими полями взаимодействия и коэрцитивных сил, что может быть связано с нарастанием на поверхности образца Co плёнки.

Литература

1. A. Ramazani, «Optimized microstructure and magnetic properties in arrays of ac electrodeposited Co nanowires induced by the continuous and pulse electrodeposition,» *J. Phys. D: Appl. Phys.*, т. 40, pp. 5533-5536, 2007.
2. C.R Pike, «Characterizing interactions in fine magnetic particle systems using first order reversal curves,» *Journal of Applied Physics*, т. 85, № 9, pp. 6660-6667, 1999.
3. R. J. Harrison, «FORCinel: An improved algorithm for calculating first-order reversal curve distributions using locally weighted regression smoothing,» *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q05016, doi:10.1029/2008GC001987., 2008.

**МАГНИТНЫЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА И ЭФФЕКТ
ХОЛЛА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ ЛЕНТ СПЛАВА**

ГЕЙСЛЕРА $\text{Fe}_{43,5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{15}\text{Ni}_{7,5}$

Середина М.А., Лянге М.В., Карпенков Д.Ю., Ховайло В.В.

Национальный Исследовательский Технологический Университет

"МИСиС", Москва

+7 (925) 318-61-44, nmseredina@gmail.com

Среди сплавов Гейслера большой интерес для практического использования представляют такие, где X и Y – переходные 3d-элементы от Ti до Ni, а Z – s-, p-элементы третьего периода таблицы Менделеева. Эти сплавы могут применяться для магнитооптической записи и ярким примером может послужить система Fe_2MnAl . Первопринципные расчеты электронной структуры указывают на отсутствие у нее электронов со спином \downarrow и очень малое количество электронов со спином \uparrow вблизи поверхности Ферми [1], что в совокупности со слабой зависимостью сопротивления от температуры позволяет считать Fe_2MnAl представителем полуметаллов. Однако, сплав имеет температуру Кюри $T_C \sim 150$ К [2], которая является недостаточной для широкого практического применения. Намагниченность данного сплава также плохо выходит на насыщение. Как известно, электронная структура сплавов Гейслера зависит от стехиометрии и наличия легирующих элементов. С учетом того, что система $\text{Fe}_2\text{MnAl}(\text{Ni})$ показала хорошие сверхпластичные свойства [3], что также очень важно для практических применений, нами было принято решение использовать Ni как допирующий элемент и исследовать магнитные, транспортные свойства и эффект Холла быстро закаленных лент $\text{Fe}_{43,5}\text{Mn}_{34}\text{Al}_{15}\text{Ni}_{7,5}$.

Образцы в виде лент были получены методом быстрой закалки из расплава (методом спиннингования). Средний размер зерен в лентах был около 5 мкм, а толщина лент была около 50 мкм.

Исследование микроструктуры показало, что образцы двухфазные. Преимущественная фаза α ОЦК занимает 88% от общего объема, а фаза γ' ГЦК занимает соответственно 12%. Параметры решеток составляют 0.2912 нм и 0.3669 нм соответственно, в то время

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии как недопированный сплав Fe_2MnAl был однофазным по типу упорядочения A2 с параметром решетки 0.5836 нм [2].

Кривые намагниченности имеют типичный характер для ферромагнитных материалов, они показывают, что полученный сплав достигает насыщения в малых полях в широком температурном диапазоне, исключение составляет температура 350 К, при которой выход на насыщение происходит плохо. Значение намагниченности насыщения составляет $92 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ при 10 К.

Интерес представляет аномальное поведение удельного электросопротивления. Оно также слабо меняется от температуры, как и в сплаве Fe_2MnAl , однако T_C имеет значение много больше 350 К, что значительно выше T_C родительского состава. При температуре ~ 200 К происходит резкая смена хода удельного электросопротивления с полупроводникового на металлический.

С целью дальнейшего определения коэффициентов аномального и нормального эффектов Холла были сняты кривые Холловского сопротивления. Значения холловского сопротивления увеличиваются с понижением температуры от $2.1\cdot 10^{-6}$ Ом·см до $3.1\cdot 10^{-6}$ Ом·см в полях насыщения. Кривые также имеют характер типичный для ферромагнитных материалов и говорят о преимущественной роли дырочной проводимости сплава. Вычисленные графическим методом коэффициенты аномального и нормального эффектов Холла имеют значения порядка 10^{-2} и 10^{-3} соответственно.

Литература

1. S. Sharma, S.K. Pandey. Effect of on-site Coulomb interaction (U) on the electronic and magnetic properties of Fe_2MnSi , Fe_2MnAl and Co_2MnGe . *J. Magn. Magn. Mater.* Vol. 403. Issue 1. P. 1-7 (2016).

2. Н. Коуров, В. Марченков, А. Королев, Л. Сташкова, С. Емельянова и Х. Вебер. Особенности свойств полуметаллических ферромагнитных сплавов Гейслера: Fe_2MnAl , Fe_2MnSi и Co_2MnAl . *Физика твердого тела* 57 4, 684 (2015).

3. T. Otori, K. Ando, M. Okano, X. Xu, Y. Tanaka, I. Ohnuma, R. Kainuma and K. Ishida. Superelastic Effect in Polycrystalline Ferrous Alloys. *Science*. Vol. 333. Issue 6038. P. 68-71 (2011).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОСТЕРЖНЕЙ ОКСИДА ЦИНКА

Скоморохов А.А., Маковский М.М., Куркин А.М.,
Бондаренко Е.А., Михнев Л.В.

*ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь
8(903)441-64-83, askomorohov@mail.ru*

Структуры на основе ZnO привлекают большое внимание благодаря наличию уникальных электрических и оптических свойств. Благодаря большой энергии связи экситона (60 мэВ) оксид цинка перспективен для генерации излучения в ближнем ультрафиолете (УФ) при температурах, достигающих 550 К. Целью настоящей работы явилось изучение влияния температуры отжига на люминесценцию наностержней ZnO.

Наностержни оксида цинка получали, золь-гель методом на стеклянных подложках с затравочным слоем. Далее образцы отжигали при температурах 160, 200, 250, 300, 350, 400 и 450°C в течение часа. Установлено, что полученные наностержни обладают гексагональной формой, преимущественное направление роста близкое к нормальному. При этом у образцов преобладает кристаллическая ориентация (002), характерная для наностолбиков ZnO.

Как показали результаты исследования люминесценции наностержней ZnO, в их спектре излучения (измерения проводились при комнатной температуре) преобладают экситонное (380нм), зеленое (520 нм) и красное (600 нм) свечение.

На рисунке 1 показано влияние температуры отжига на интенсивность полос видимой и экситонной люминесценции.

Наиболее интенсивная УФ люминесценция наблюдается при температуре отжига 400°C, когда интенсивность видимого свечения минимальна. Наиболее интенсивная видимая люминесценция наблюдается у неотожженного образца 25 °С. В этом случае велика концентрация вакансий цинка и кислорода, а, следовательно, увеличивается вероятность образования центров $V_{Zn} - V_O$, на наличие которых указывалось в работе [1]. Снижение интенсивности видимой люминесценции при температуре отжига 250°C может быть связано с уменьшением концентрации поверхностных дефектов за

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
счет десорбции гидрокси- и аквакомплексов цинка с поверхности наностержней.

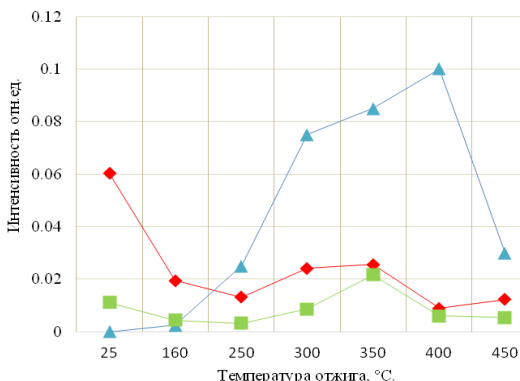


Рис.1. Влияние температуры отжига на интенсивность фотолюминесценции наностержней оксида цинка: синий цвет - экситонная люминесценция (максимум 380 нм), зеленый - полоса свечения с максимумом 520 нм, красный - с максимумом 600 нм

Дальнейший рост интенсивности свечения при отжиге до 350 °C связан с ростом концентрации ассоциированных центров люминесценции за счет увеличения концентрации вакансий цинка в объеме стержней. Падение интенсивности как экситонной так и видимой люминесценции при температурах отжига более 400 °C, по-видимому, происходит в результате формирования большого количества безизлучательных центров, в результате роста количества дефектов, обладающих высокой энергией активации и комплексов с их участием.

Литература

1. R. Vidya, P. Ravindran, H. Fjellvag and other Energetics of intrinsic defects and their complexes in ZnO investigated by density functional calculations PHYSICAL REVIEW B Vol.83, P.045206 (2011)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФТОРИРОВАНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА В ПЛАЗМЕ SF₆

Соловьев Б.Д.

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск*

Конт. тел.: +79992451327

E-mail: Solovevbogdan@gmail.com

Целью данной работы является исследование воздействия обработки в плазме SF₆ на структурные и электрические свойства оксида графена. Введение атомов фтора в структуру оксида графена (ОГ) за счет сильных связей С-Ф повышает его окислительную и тепловую стабильность до температур 400 °С [1], что имеет немаловажное значение при создании наноэлектронных приборов. Фторированный ОГ представляет интерес для биологических приложений в качестве биосенсоров, контрастных центров в МРТ и УЗИ [2]. В работе фторирование ОГ, полученного модифицированным методом Хаммерса, проведено в плазме SF₆ в диапазоне мощностей от 100 до 350 Вт, длительностью до 10 мин при скорости потока газа от 50 до 100 см³/мин. Электрические характеристики измерялись двухзондовым методом. Для генерации плазмы использованы индукционные и емкостные генераторы. Измерения спектров комбинационного рассеяния («Интегра Спектра», НТ МДТ) не показали увеличения пика D, относительно линии G, что означает отсутствие заметного дефектообразования на поверхности ОГ. Из исследований методом энергодисперсионного анализа («INCA Energy», Oxford Instruments) обнаружено, что содержание фтора на поверхности ОГ увеличивается пропорционально мощности плазмы, также, как и при увеличении времени обработки. Измерения электрических параметров («Eсорia 5000 HMS») показали постепенное возрастание сопротивлений в зависимости от времени экспозиции образцов в плазме. На рисунке 1 показано, что это увеличение содержания фтора идет как относительно количества кислорода, так и углерода. Предположительно, это обусловлено тем, что при воздействии плазмы происходит формирование С – F связей с

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
углеродной матрицей ОГ и удаление гидроксильных и эпоксидных групп. В работе проводится обсуждение полученных результатов.

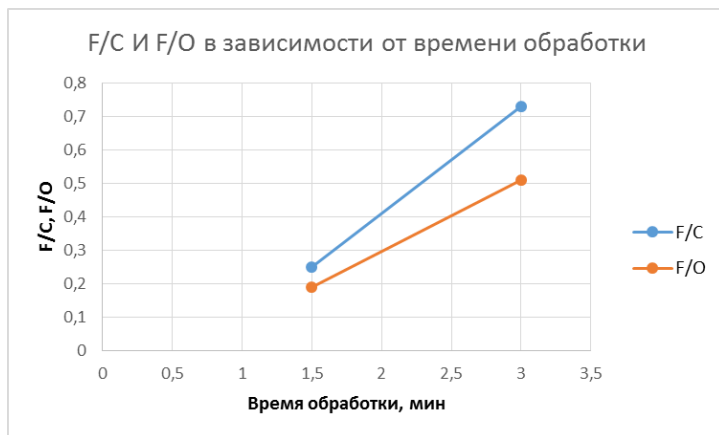


Рис.1. Зависимость F/C и F/O от времени обработки в плазме SF₆.

Литература

1. Mathkar A., Narayanan T.N., Alemany L.B, Cox P., Nguyen P., Gao G., P. Chang, R. Romero-Aburto, Mani S. A., and P. M. Ajayan. Synthesis of Fluorinated Graphene Oxide and its Amphiphobic Properties. Part. Syst. Charact., 30, 266–272. (2013)
2. R. Romero-Aburto, Y. Wang, W. C. Lee, K. K. Manga, P. K. Ang, J. Lu, Y. P. Liu, C. T. Lim, K. P. Loh. Fluorinated Graphene for Promoting Neuro-Induction of Stem Cells. Adv. Mater., 24 (31), p.4285-4290 (2012)

НАНОКРИСТАЛЛЫ GaSb ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ ТВЁРДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ И ВСТРОЕННЫЕ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ

Е.Ю. Субботин^a, М.В. Боженко^a, Е.А. Чусовитин^a,
Д.Л. Горошко^{a, b}, С.А. Доценко^{a, b}, С.В. Чусовитина^a,
А.В. Шевлягин^a, Н.Г. Галкин^{a, b}, А.К. Гутаковский^{c, d}

^a Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, ул. Радио 5,
690041 Владивосток, Россия

^b Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных
наук, ул. Суханова 8, 690950 Владивосток, Россия

^c Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, СО РАН, пр. ак.
Лаврентьева 13, 630090 Новосибирск, Россия

^d Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, 630090
Новосибирск, Россия

Автор-докладчик: Е.Ю. Субботин, +7-914-795-04-51, jons712@mail.ru

Развитие современных кремниевых интегральных схем (ИС) столкнулось с проблемами низкой производительности и потерями в металлических межсоединениях. Возможным решением является переход на оптические межсоединения [1]. Поскольку сам по себе кремний не может эффективно излучать свет в окнах прозрачности кварцевого оптоволокна (0.8 – 1.67 мкм) и поглощать его на длине волны более 1.1 мкм, то на поверхности кремния необходимо сформировать тонкий слой, или массив нанокристаллов прямозонного материала с подходящей шириной запрещенной зоны. Одним из таких материалов является антимонид галлия (GaSb).

Есть две основные проблемы при гетероэпитаксии GaSb на кремниевой подложке: (I) в отличие от кремния GaSb имеет полярную кристаллическую решетку; (II) кремний и GaSb имеют большое несоответствие кристаллических решеток (около 12.6%), что приводит к образованию большого количества дефектов. Ожидается, что формирование GaSb в виде нанокристаллов (НК) размером менее 50 нм вместо сплошной пленки GaSb поможет решить эту проблему, поэтому целью данной работы стало создание встроенных в кремний НК GaSb. Нанокристаллы были сформированы методом твердофазной эпитаксии (ТФЭ) в сочетании с отжигом при температуре 200 – 500 °С, а встраивание в кремний осуществлялось

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии методом молекулярно-лучевой эпитаксии при температурах 300 – 500 °С.

На основании данных ПЭМ, можно сделать вывод о том, что применённый метод роста покрывающего слоя Si позволяет полностью встроить НК GaSb (рис. 1). Чтобы показать возможность увеличения количества слоёв НК GaSb была сформирована двухслойная кремниевая гетероструктура, которая представляет собой монокристаллические слои кремния с встроенными НК GaSb. Несоответствие кристаллических решеток НК GaSb и Si было почти полностью релаксировано за счёт краевых дислокаций, образовавшихся по всему периметру НК.

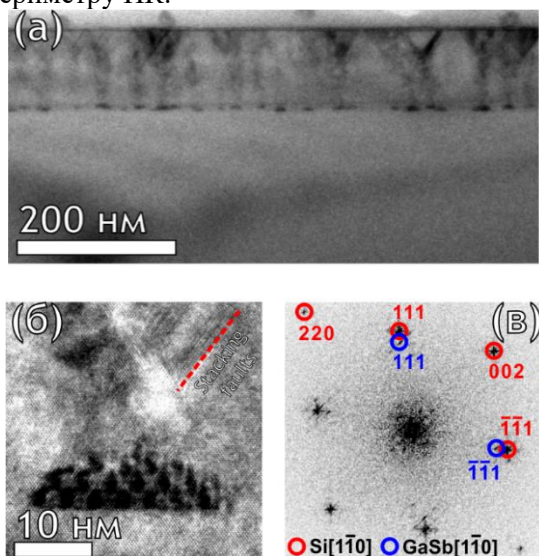


Рис. 1. Обзорное ПЭМ изображение поперечного сечения однослойного образца (а) и изображение ПЭМВР выбранного НК GaSb (б) с соответствующей картиной БПФ (в).

Работа была выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 17-52-52013 МНТ_а и № 16-29-03240 офи-м). Исследования ПЭМВР были проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования "Наноструктуры".

Литература

[1] D.A.V. Miller, Proc. IEEE Spec. Issue Silicon Photonics 97 PP. 1166–1185 (2009).

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Тряпышко А. В., Минин С. И.

*Российская Федерация, Обнинский институт атомной энергетики ИАТЭ
НИЯУ МИФИ
Stoolik@gmail.com, 920 6175170.*

Керамические материалы на основе оксида алюминия благодаря высоким показателям свойств находят применение в самых разнообразных областях техники. Одна из них - атомная энергетика, испытывающая в настоящее время потребность в крупногабаритных изоляторах проходов для атомных электростанций. Крупногабаритные высокопрочные керамические изоляторы для металлокерамических узлов проходов среднего напряжения должны отвечать требованиям повышенной механической и электрической прочности, герметичности в условиях термоциклических, химических и радиационных нагрузок. В связи с этим керамика, используемая для их изготовления, должна обладать высоким уровнем механических и электрофизических свойств [1].

Для оценки прочностных свойств керамики используются величины предела прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ и изгибе $\sigma_{изг}$, причем прочность конструкционной и инструментальной керамики чаще оценивается пределом прочности при изгибе [2]. Для определения целостности керамики, необходимо ее контролировать неразрушающими методами контроля. Ультразвуковой метод контроля позволяет определять наличие несплошностей в керамике. В керамических изделиях могут образовываться несплошности (трещины), если внутренние напряжения складываются с эксплуатационными. Для определения внутренних напряжений в керамических изделиях предложен метод акустоупругости.

По зависимости скорости и затухания ультразвуковых волн в материале определяются упругостные и прочностные характеристики [3]. Измерение скорости продольных и поперечных волн в керамических изделиях дает возможность получить численные значения модулей упругости [4]. Предложено также определение

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии напряжений в керамических изделиях по предварительной калибровке ультразвукового устройства на настроечном стенде, позволяющем создавать напряженные состояния в изделии. Измеряя скорость распространения продольных и поперечных ультразвуковых волн, а также их амплитуду на настроечном стенде, можно построить графики соответствия изменения этих величин от напряжений.

В ходе работы, при помощи ультразвуковых методов контроля, была исследована зависимость таких величин, как скорость продольной и поперечной волн и их затухания от приложенной нагрузки. Увеличение нагрузки на образец производилось при помощи струбицы. На рисунке 1 представлены результаты измерения для продольной ультразвуковой волны.

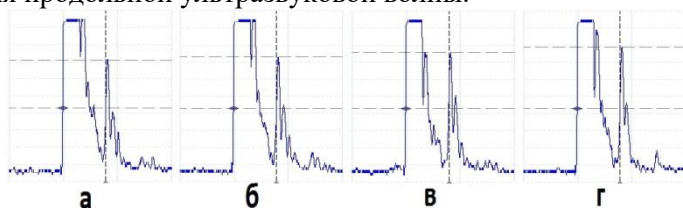


Рисунок 1. Изменение характеристик продольной ультразвуковой волны при изменении нагрузки; а – без приложенной нагрузки; б – при повороте рукоятки струбицы на 90 градусов; в – при повороте рукоятки струбицы на 180 градусов; г - при повороте рукоятки струбицы на 270 градусов.

Как видно из рисунка, при увеличении нагрузки на образец увеличивается амплитуда сигнала. Также было зафиксировано незначительное увеличение времени прихода, что свидетельствует об уменьшении скорости волны.

Литература

- 1 – Балкевич В. Л. Техническая керамика: Учеб. Пособие для вузов — 2-е изд. М.: Стройиздат, 1984. 256 стр.
- 2 - Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. М.: ГПУ, 2004. 75 с.
- 3 – Энгельбрехт Ю.К., Нигул У.К. Нелинейные волны деформации. М.: Наука, 1981;
- 4 – Бобренко В.М., Вангели М.С., Куценко А.Н. Акустическая тензометрия. Кишинев, Штиинца, 1991.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**ХАРАКТЕРИСТИКИ БИМЕДИЦИНСКИХ НАНОРОБОТОВ
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР**

Туфиков Е.В.¹, Бузько В.Ю.^{1,2}, Чуйко Г.Ю.^{1,3}

¹ Кубанский государственный университет, Краснодар

² Лаборатория молекулярного моделирования химических процессов и соединений ЗАО РМЦ "Югтехинформ", Краснодар

*³ Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар
8-961-5286663, tufikov@bk.ru*

С развитием нанотехнологий становится возможным создание функциональных наноразмерных биомедицинских устройств (нанороботов) для транспорта и инъекции лекарственных веществ к атакованным вирусами или бактериями клеткам. Несмотря на обилие различных представлений как могут выглядеть биомедицинские нанороботы, практически часть этих представлений лишена базиса современной структурной химии. Нами были рассмотрены различные варианты структур биомедицинских нанороботов на основе практически существующих и достаточно хорошо изученных экспериментальными и теоретическими расчетными методами углеродных наноструктур типа алмазных нанокристаллитов, углеродных нанотрубок и алмазных нанонитей.

Моделирование основных узлов и структуры нанороботов производилось нами методом молекулярной механики с использованием силового поля ММ+. Нами было обнаружено, что минимальный размер устройства типа наносприца состоящего из наноразмерной алмазной тригональной пирамиды с центральным каналом и углеродной нанотрубки диаметром 0,7-0,8 нм как наноконтейнера, пригодного для инъекции одной малой молекулы лекарственного вещества, составляет около 420-430 атомов углерода и соответственно имеет длину около 3,3-3,4 нм. В свою очередь минимальный размер устройства типа наносприца, состоящего из наноразмерной алмазной тригональной пирамиды с центральным каналом и углеродной нанотрубки диаметром 1,0-1,1 нм как наноконтейнера, пригодного для инъекции десяти малых молекул лекарственных веществ, составляет около 1100-1150 атомов углерода и соответственно имеет длину около 9,4-9,5 нм.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

В качестве органов движения биомедицинских нанороботов на основе рассмотренных углеродных наноструктур в виде наношприца нами были рассмотрены алмазные нанонити как аналоги жгутиков у простейших микроорганизмов. Посредством метода молекулярной динамики нами обнаружено, что минимальный размер алмазной нанонити, необходимой для осуществления движения наношприца через комбинацию вращательно-колебательных движений псевдожгутика, составляет около 240 атомов углерода и имеет длину около 0,5 нм. Тем не менее, по результатам моделирования оказывается, что наиболее оптимальным вариантом для движения такого наноробота в водной среде является вращение длинного спиралевидного жгутика на основе алмазной нанонити размером около 750-800 атомов углерода и длиной около 2,5 нм в скрученном состоянии. Это приводит к минимальному размеру наноробота для доставки 10 малых молекул лекарственных веществ около 1850-1950 атомов углерода с максимальным диаметром 1,3-1,35 нм и средней длиной около 11,9-12,0 нм.

Далее нами были рассмотрены структуры биомедицинских нанороботов с количеством органов движения до 8 единиц. Обнаружено, что для малых нанороботов максимальное число жгутиковых органов движения на основе алмазных нанонитей не должно превышать 4 единиц, поскольку при большем числе жгутиков наблюдается их межмолекулярные взаимодействия при движении в жидкости, что дает неоптимальные характеристики конверсии вращательно-колебательных движений псевдожгутиков в поступательные перемещение наноробота. Согласно результатам проведенного моделирования, наиболее оптимальные структуры углеродных нанороботов на основе наношприца состоящего из наноразмерной алмазной тригональной пирамиды с центральным каналом и углеродной нанотрубки должны иметь 3-4 псевдожгутика на основе алмазных нанонитей.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО НИЗКОНАПОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ РАСХОДОВ

Фролов М.В.¹, Фролова М.А.¹

¹*БИТИ НИЯУ МИФИ, г. Балаково
+79271566594, frolov_mikhail_95@inbox.ru*

Автоматизация производственных процессов является существенным условием повышения производительности труда и улучшения качества производства. Одними из важнейших параметров, которые подвергаются автоматизированному контролю, являются скорость и объём рабочих жидкостей, что приводит к необходимости повсеместного внедрения и совершенствования систем автоматического контроля, регулирования и управления потоками технологических жидкостей.

При внедрении в производство импульсного способа подачи возникает задача измерения объёма жидкости в единичном импульсе.

Анализ существующих и используемых в настоящее время преобразователей импульсного расхода позволил сделать вывод, что в основном при измерении импульсного расхода измеряют средний расход жидкости. Для мгновенного же измерения в основном используют преобразователи импульсного расхода, принцип действия которых основан на гидродинамических методах и преобразователи импульсного расхода с непрерывно движущимся телом. Однако они не удовлетворяют требованиям быстродействия, предъявляемых к рассматриваемым системам автоматического управления, а сверхбыстродействующие ультразвуковые преобразователи импульсного расхода не могут быть использованы на трубопроводах малого диаметра. Положительные результаты получены при использовании для измерения импульсных расходов гидроэлектрического поляризованного преобразователя импульсных расходов (ПНПИР). Он должен отвечать ряду требований: проточная часть преобразователя расхода должна обладать минимальным гидравлическим сопротивлением; форма электродов не должна создавать дополнительного гидравлического сопротивления потоку и

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии не способствовать образованию униполярного заряда; поляризация рабочей среды должна осуществляться во всём объёме преобразователя; конструкция ПНПИР должна быть технологичной [1].

Получим, что проточная часть должна повторять форму подводящего трубопровода, а, следовательно, иметь цилиндрическую форму, причём ось цилиндра должна быть параллельна усреднённому вектору скорости течения жидкости. Электроды ПНПИР не должны создавать дополнительного гидравлического сопротивления и в тоже время должны обеспечивать поляризацию жидкости во всём объёме ПНПИР. В связи с этим были выбраны электроды в виде цилиндрических полуколец. С целью исключения образования униполярного заряда напряжённость электростатического поля в межэлектродном промежутке не превышает 10^6 - 10^7 В/м.

В такой конструкции плотность полного потока ПНПИР определяется двумя составляющими: током проводимости, величина которого не зависит от скорости течения жидкости и потоком поляризации, величина которого пропорциональна скорости движения жидкости в межэлектродном промежутке.

Для рассматриваемой формы проточной части и расположения электродов ПНПИР можно отметить, что наибольший интерес представляет составляющая полного тока J_y . С учётом, что: $V_x=0$, $V_y=0$, $E_x=0$, составляющая J_y уравнения полного тока может быть представлена в следующем виде:

$$j_i = p_e b_a E_i + P_y \frac{\partial V_z}{\partial z} + V_z \frac{\partial P_y}{\partial z};$$

где J_y – проекция вектора полярного тока на ось y , А/м²;

P_y – проекция вектора поляризации на ось y , Кл/м;

V_z – проекция вектора скорости на ось z , м/сек.

Данное уравнение является математической моделью ПНПИР.

Литература

Фролова М. А. Управление подачей технологических жидкостей в автоматизированном оборудовании на базе поляризационного низконапорного преобразователя импульсных расходов: дис.канд.техн.наук. СГТУ, Саратов, 2000.

Чубарова А.Н.¹

¹ Самарский национальный исследовательский университет
им. С.П. Королева, Самара
+79033085424, alenchubarova@gmail.com

Тема работы находится в рамках одного из приоритетных направлений развития науки и технологий в России — нанофизика и наноэлектроника. Низкоразмерные полупроводниковые структуры — основа многих научных открытий. Среди них квантование проводимости, кулоновская блокада и др. Такие структуры нашли широкое применение на практике. На их основе созданы полупроводниковые лазеры, фотоприемники, оптические модуляторы, нанотранзисторы разной конфигурации и многие другие устройства. Поэтому описание транспорта электронов в квантовой нити является крайне важной задачей.

Цель работы: исследование проводимости квантовой нити в баллистическом режиме методом ассоциативных алгебр [1], [2] с учетом рассеяния электронов на неоднородностях стенок нити.

Для расчета проводимости используется формула Ландауэра.

Как известно, баллистическая проводимость квантуется. Ее зависимость от приложенного потенциала имеет вид лестницы, содержащей так называемые кулоновские ступеньки. В работах [3], [4] теоретически показано, что в квантовой нити нанотранзистора могут наблюдаться осцилляции кондактанса в зависимости от химического потенциала. Аналогичный эффект удастся показать и методом ассоциативных алгебр.

Литература

1. Ю.М. Широков. Сильно сингулярные потенциалы в одномерной квантовой механике. Теоретическая и математическая физика. Том 41. Стр.291-301 (1979).

2. Ю.М. Широков. Сильно сингулярные потенциалы в трехмерной квантовой механике. Теоретическая и математическая физика. Том 42. Стр.45-49 (1980).

3. V. Gudmundsson. Conductance oscillations of core-shell nanowires in transversal magnetic fields. *Physical Review B*. V.93. P. 205445 (2016).

4. N. Demarina, C. Blomers, T. Rieger, H. Luth, M. I. Lepsa, D. Grutzmacher, Th. Schapers. Flux periodic magnetoconductance oscillations in GaAs/InAs core/shell nanowires. *Physical Review B*. V.89. P. 045417 (2014).

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО СНЯТИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС ПОСЛЕ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НАКЛЕПА

Чулков Д.И., Минин С.И.

ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

Конт. тел.: 89108624049, e-mail: dichulkov@gmail.com

Для соединения между собой всех устройств и агрегатов ЯЭУ требуется большое количество трубопроводов. Общая протяженность всех трубопроводов АЭС составляет около сотни километров. Стоимость трубопроводов может достигать 10% от стоимости всей станции [1].

Трубопроводы на АЭС подвержены различным разрушающим факторам: высокое давление внутри трубопроводов, вибрации, ионизационное излучение, высокая температура и т.д. При разрушении особо ответственных трубопроводов безопасная эксплуатация атомной станции оказывается под угрозой. Для проведения дорогостоящих ремонтных работ необходима полная остановка ядерного реактора, что, в свою очередь, влечет к большим финансовым затратам.

Все выше перечисленные факторы свидетельствуют о том, что необходимо выполнять целый комплекс процедур, направленных на обеспечение увеличения надежности трубопроводов АЭС, а конкретно их сварных соединений, так как именно они, в виду особенностей технологического процесса, подвержены наибольшему разрушению из-за возникновения в них остаточных напряжения и остаточных деформаций при сварке. К тому же во время эксплуатации эксплуатационные напряжения будут складываться с остаточными напряжениями, что может привести к превышению предела прочности металла и вызвать образование трещин [2].

Цель работы: разработать автоматизированное устройство снятия остаточных напряжений в сварных соединениях трубопроводов АЭС после их выполнения методом ультразвукового наклепа.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

Суть метода состоит в том, что благодаря ультразвуковым колебаниям на торце акустического ультразвукового волновода происходит изменение кристаллической структуры металла при его пластическом деформировании. В сварном соединении это позволяет снять остаточные напряжения за счет того, что дислокациям передается энергия, необходимая для того, чтобы они вернулись в исходное состояние после деформации [3].

Для повышения производительности, а также увеличения качества снятия остаточных напряжений методом ультразвукового наклепа необходимо разработать автоматизированное устройство. Оно должно состоять из следующих элементов:

- Магнотострикционного преобразователя, с помощью которого осуществляется ультразвуковой наклеп;
- Ультразвукового генератора, для питания магнотострикционного преобразователя;
- Автономной системы охлаждения, для охлаждения магнотострикционного преобразователя;
- Механизма перемещения и шагового двигателя, для перемещения подвижной части устройства вдоль сварного соединения;
- Программируемого логического контроллера, для управления устройством;
- Ультразвукового пьезопреобразователя с частотой пропускания 20 кГц, для осуществления контроля выполнения ультразвукового наклепа;
- Направляющей, для фиксации устройства на трубопроводе.

Литература

1. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов. - Изд. 5-е. - М.: ИздАТ, 1994. - 289 с.;
2. Минин, С. И. Автоматизированная ультразвуковая система контроля напряженного состояния основного металла и сварных соединений циркуляционных трубопроводов ЯЭУ на основе эффекта акустоупругости Дис. ... канд. техн. наук : Обнинск, 2005;
3. Кудрявцев П.И. Остаточные сварочные напряжения и прочность соединений. М.: Машиностроение, 1964. — 95 с.: ил.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОСПРИНИМАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА
 ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА РАСХОДА И
 ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНЫХ СРЕД**

Шачнева Е.А.^{1,2}, Мурашкина Т.И.²

¹ ФГБОУ ВО Пензенский государственный университет, Пенза

² ФГБОУ ВО Пензенский государственный технологический университет, Пенза

+79656375890, e_shachneva@mail.ru

В настоящее время существует множество способов и установок для воспроизведения и измерения расхода жидкости [1, 2]. Но основной их недостаток в сложности технической реализации и неоправданно высокой сложности проведения экспериментов и измерений, влияние на результат измерения электромагнитных помех.

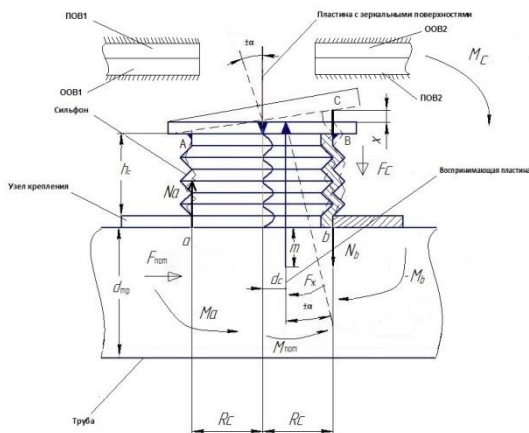


Рис.1. Упрощенная конструкция ВЭ и схема сил, действующих в узле ВЭ

В работе [3] авторы предложили новый способ и волоконно-оптический датчик (ВОД) для измерения параметров жидкостного потока. Стоит задача определения конструктивно-технологических параметров датчика и, в первую очередь, воспринимающего элемента (ВЭ) в виде пластины с отражающей поверхностью (отража-

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии тель), осуществляющего преобразование параметров потока в изменение параметров оптического сигнала [4].

На рисунке 1 представлена упрощенная конструкция ВЭ и схема сил, действующих в узле воспринимающего элемента датчика.

В качестве ВЭ выбран сильфон, но не исключена возможность использования других упругих элементов (например, полусферической мембраны).

Литература

1. Fluid Flow Measurement in Astronauts Life Support Systems / Т.И. Murashkina, Е.А. Badeeva, Е.А. Shachneva, etc.//Biomedical Engineering. – Vol. 49.- No 5.- January 2016. –pp.295-299

2. [Электр. версия: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10527-016-9552-z>]

3. Development of fiber optic sensor for fluid flow of astronauts' life-support system/ Е.А. Shachneva and Т.И. Murashkina//Journal of Physics: Conference Series 735(2016)012036. - International Conference of Young Scientists and Specialists "Optics-2015" 12–16 October 2015, St. Petersburg, Russia

4. Патент РФ 2419765. МПК G01 В 21/00. Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения / Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Серебряков Д.И., Юрова О.В. Бюл. № 15.опубл. 27.05.2011.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ СЛОЕВ ФТОРИДА ЛИТИЯ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ МЕТАЛЛОВ

Шипилова О.И., Черных А.А.

¹ *Иркутский государственный университет, Иркутск
89149007824, Ame4you@bk.ru*

В настоящее время ведутся активные исследования различных сред, содержащих металлические наночастицы с целью создания на основе данных композитов новых типов фотонных и оптоэлектронных устройств. Существующие методы получения таких сред являются достаточно сложными и затратными. В данной работе с помощью простых и недорогих методик созданы слои щелочно-галогенидных соединений, содержащие металлические наночастицы, которые, как показали проведенные измерения, обладают мемристорными и люминесцентными характеристиками.

1. Разработана простая ионно-плазменная технология синтеза композитных пленок фторида лития толщиной 200-500 нм, содержащих наночастицы меди, на основе магнетронного распыления [1]. Установлено, что вольт-амперная характеристика пленки, измеренная с помощью туннельного микроскопа, имеет пороговый характер, т.е. пленка обладает мемристорными свойствами (рис. 1).

Напряжение перехода из высокоомного состояния в низкоомное равно $0,67 \pm 0,03$ В. Сопротивление пленки в высокоомном состоянии составило $R_{off} = (2,5 \pm 0,04) \times 10^8$, Ом, в низкоомном – $R_{on} = (1,5 \pm 0,08) \times 10^7$ Ом, т.е. отношение $R_{off}/R_{on} = 17$ превышает значения, которые были измерены в аналогичных устройствах, полученных с помощью существенно более сложных и дорогих технологий [2].

2. Исследованы спектры люминесценции кристаллов LiF, облученных пучком ионов Ag с энергией 150 кэВ. Спектр люминесценции, возбуждаемой лазерным излучением с длиной волны 375 нм, при разных дозах ионного облучения изображен на рис.2. Из рисунка видно, что наряду с полосами люминесценции с максимумами при 550 и 680 нм, характерными для F_2 и F_3^+ - центров окраски, соответственно, которые образовались в тонком поверхностном

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии
 слое в результате ионного облучения, в спектре присутствует термически стабильная полоса люминесценции с максимумом на 460 нм. Полоса обусловлена формированием субнаноразмерных заряженных кластеров серебра $Ag(n^+)$, обладающих люминесцентными свойствами. При больших дозах облучения (3×10^{17} ион/см², см. врезку на рис.2), часть кластеров коагулирует в частицы наноразмерного масштаба, у которых люминесценция отсутствует, поэтому, как показано на врезке рис.2, относительный вклад излучения кластеров в суммарный спектр уменьшается.

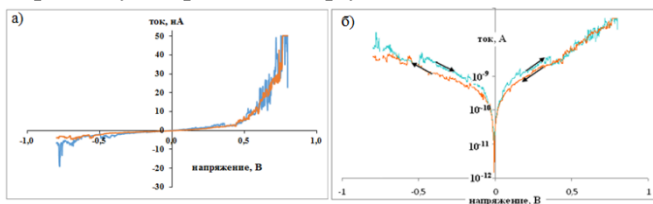


Рис.1

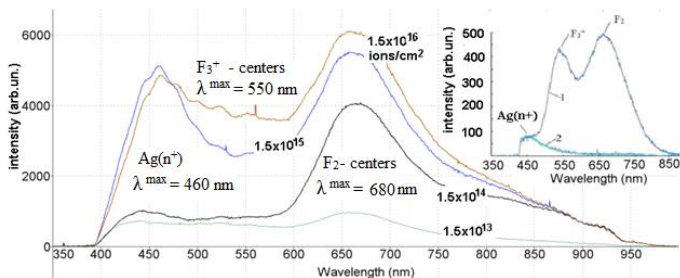


Рис.2

Литература

1. Патент на полезную модель (мемристорный переключатель) № 159146, заявка № 2015134900 от 18.08.2015. зарегистрирован 18 августа 2016.

2. Ю.В. Храповицкая и др. Письма в ЖТФ том 40. вып. 7. с. 87-95. 2014

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ СТЕКОЛ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА НАНОКРИСТАЛЛОВ

Шомахов З. В., Молоканов О. А., Кармоков А. М.

*Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик
+79280764305, shozamir@yandex.ru*

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния термодинамических условий обработки на электрофизические свойства материалов, применяемых в устройствах для регистрации изображений в ближней ИК-области длин волн.

Для визуализации изображений в ближней ИК-области используются электронно-оптические преобразователи и вторично-электронные умножители, применяемые, в частности, в приборах ночного видения. Для создания вторично-электронных умножителей широко используются специальные свинцово-силикатные стекла. Физико-химические процессы, происходящие в стекле, оказывают существенное влияние на электрофизические свойства и определяют важные для эксплуатации приборов применения характеристики.

Измерения электропроводности проводились в процессе нагрева, изотермического отжига при определенной температуре и охлаждения образца. Эксперименты проводились при двух условиях. В первом случае – в течение всего времени эксперимента через образец пропускался электрический ток одного направления, во втором случае – для исключения влияния электромассопереноса пропускали ток с переменной полярности (по ~ 2 минуты на одно измерение) [1].

При постоянном пропускании электрического тока электропроводность свинцово-силикатного стекла С87-2 со временем при всех температурах отжига уменьшается [2]. Для свинцово-силикатного стекла С78-4 и боратно-бариевого стекла С78-5 электропроводность при постоянном пропускании тока увеличивается [3,4].

Сравнение двух кривых свинцово-силикатного стекла С87-2, полученных при температуре 450 °С для постоянного и знакопеременного тока, показывает, что в процессе нагрева до температуры

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии отжига с непрерывным пропусканьем тока проводимость стекла возрастает, причем на один порядок величины больше, чем соответствующее возрастание для случая знакопеременного тока. В процессе отжига при постоянном пропусканьи тока проводимость уменьшается на $\sim 1,5$ порядка величины, а при знакопеременном пропусканьи тока наоборот увеличивается на $\sim 0,5$ порядка. При постоянном пропусканьи тока количество электричества прошедшего через образец составляло $5,6 \times 10^{-2}$ Кл. Это означает, что при постоянном пропусканьи электрического тока электроперенос оказывает существенно влияние на структуру и на электропроводность стекла.

Установлено, что время достижения фазового равновесия в стеклах зависит от количества электричества, прошедшего через образец. При постоянном пропусканьи электрического тока в одном направлении время достижения фазового равновесия увеличивается на 20–30 % по сравнению со знакопеременным пропусканьем тока. Из этого следует, что постоянное пропусканье электрического тока (перенос ионов в одном направлении) препятствует образованию новой фазы. Подобные закономерности наблюдаются во всех исследованных стеклах.

Литература

1. Шомахов З.В., Молоканов О.А., Кармоков А.М. Электропроводность свинцово-силикатного стекла в процессах нагрева и изотермического отжига // Нано- и микросистемная техника. 2011. № 7. С. 14-17.
2. Кармоков А.М., Молоканов О.А., Шомахов З.В. Массоперенос в свинцово-силикатном стекле С87-2 под воздействием электрического тока // Стекло и керамика. 2016. № 10. С. 29-31.
3. Кармоков А.М., Молоканов О.А., Шомахов З.В. Влияние электрического тока на массоперенос в свинцово-силикатном стекле С78-4 // Стекло и керамика. 2017. № 2. С. 6-8.
4. Шомахов З.В., Альмяшев В.И., Кармоков А.М., Тешев Р.Ш., Молоканов О.А., Шокаров Х.Б. Влияние температуры изотермического отжига на образование нанокристаллов в стекле С78-5 // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2011. Т. 1. № 4. С. 5-7.

Электроника, автоматика, спинтроника, нанотехнологии

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПРОВОЛОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

***Юнусова Н.Р., Каргин Н.И., Рындя С.М., Гусев А.С.,
Антоненко С.В., Тимофеев А.А.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г.Москва*

e-mail: naida.yunusova1994@mail.ru

Сочетание уникальных свойств нитрида алюминия (AlN) таких как большая ширина запрещенной зоны (6,2 эВ), высокая теплопроводность (320 Вт/м·К при 300 К), высокое значение напряженности поля пробоя (17 кВ/мм) и относительно невысокая стоимость делают его перспективным материалом для применения в приборах силовой и СВЧ электроники. Нитрид алюминия может применяться в качестве подложки при создании интегральных схем, мощных транзисторов и в качестве диэлектрических, пассивирующих и теплоотводящих слоев полупроводниковых приборов [1, 2].

В настоящее время интенсивно разрабатываются гетероструктуры для нужд микроэлектроники, связи и вычислительной техники. Особый интерес вызывают наноразмерные элементы из нанопроволок и нитевидных кристаллов.

Целью данной работы было получение образцов нанопроволок нитрида алюминия на поверхности подложек Si (100) при импульсном лазерном распылении керамической мишени AlN.

Для достижения поставленной цели проводилось распыление керамической мишени AlN стехиометрического состава с помощью эксимерного лазера KrF с длиной волны 248 нм, длительностью импульса 20 нс и частотой следования импульсов 15 Гц в условиях вакуума при остаточном давлении $10^{-5} - 10^{-6}$ Па. Далее испаренный лазером материал мишени осаждался на предварительно нагретую полупроводниковую подложку Si (100). Экспериментальные образцы нанопроволок AlN были получены в диапазоне температур 700 – 850 °С. На рис. 1 представлены РЭМ изображения образцов нанопроволок AlN, полученных при температурах подложки 700 °С (а) и 800 °С (б).

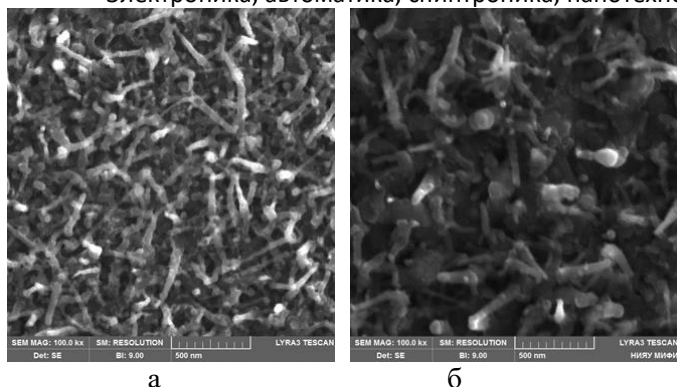


Рис.1 РЭМ изображения образцов нанопроволок AlN, осажденных при следующих температурах подложки: а – 700°С, б - 800°С.

Как видно из рис. 1 диаметр полученных проволок находится в диапазоне от 35 до 50 нм. На концах нанопроволок наблюдаются капли в виде полусферы с диаметром равным диаметру растущей проволоки. Нанопроволоки равномерно покрывают всю поверхность образца. Также происходит рост нескольких нанопроволок из одного основания, т.е. рост в виде кораллов.

Образование нанопроволок AlN скорее всего идёт по механизму пар – жидкость – кристалл (ПЖК). При распылении мишени AlN в вакууме на поверхности подложки осаждается избыточный Al, который при плавлении собирается в виде нанок капель, являющихся катализаторами роста нанопроволок. Таким образом, осуществляется самокаталитический рост нанопроволок, т.к. в качестве катализатора роста используется элемент соединения AlN.

Литература:

1. M. Hirano, K. Kato, T. Isobe and T. Hirano// Sintering and characterization of fully dense aluminium nitride ceramics /Journal of Materials Science, 1993, Vol. 28, P. 4725 – 4730.
2. Пурьинский С.З., Пebaлк Д.В., Калашников А.Ю. // Микроструктурные исследования поверхности плат из нитрида алюминия различных производителей / В мире научных открытий, 2015, № 8, С. 216 – 231.

**Ядерная физика и технологии,
теоретическая физика
и астрофизика**

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ
С УЧЕТОМ АТМОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ ПО ДАННЫМ
УСТАНОВКИ «НЕЙТРОН»**

Абдулина Ю.И., Дмитриева А.Н., Громушкин Д.М.

*Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»*

*Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия
+79857798311, abdylinaylia@mail.ru*

Тепловые нейтроны – это свободные нейтроны, кинетическая энергия которых близка к средней энергии теплового движения молекул газа при комнатной температуре (≈ 0.025 эВ). Их наличие обусловлено двумя факторами: взаимодействием космических лучей с атмосферой и верхними слоями грунта, а также выходом нейтронов, образующихся в грунте за счет естественной радиоактивности (в основном от радона через (α, n) - реакции с легкими ядрами, входящими в состав грунта). При этих реакциях образуются быстрые нейтроны, которые через некоторое время термализуются [1].

Установка «Нейтрон» состоит из 4 нейтронных детекторов. Регистрации тепловых нейтронов происходит благодаря сцинтиллятору $ZnS(Ag) + 6LiF$ (сцинтиллятор расположен в основании диффузора, выполненного в виде усеченной четырехгранной пирамиды, на вершине которой расположен фотоэлектронный умножитель ФЭУ-200), который представляет собой белый порошок в виде гранул, заламинированный в полиэтиленовую пленку (средняя толщина слоя 30 мг/см²). Реакция захвата нейтрона: $6Li + n \rightarrow T + \alpha + 4.78$ МэВ. Эффективность регистрации нейтронов таким сцинтиллятором составляет около 20%. Конструкция нейтронного детектора приведена на рис. 1. Эффективная площадь детектора составляет 0.75 м² [2,3].

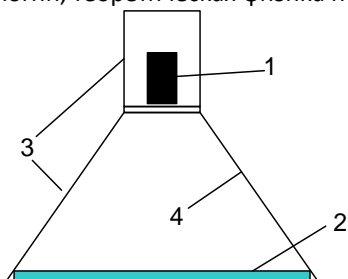


Рис. 1. Конструкция нейтронного детектора. 1 - ФЭУ-200; 2 - сцинтиллятор ZnS(Ag) + 6LiF; 3 - светозащитный корпус детектора; 4 - светоотражающее покрытие.

Детекторы установлены на разных уровнях относительно грунта от -3 м до 6 м. Это позволяет проводить измерения под разной толщиной поглотителя (бетона). Также важно расстояние от границы раздела «земля-воздух», вблизи которой есть градиент концентрации нейтронов [3]. Размещение детектора №1 в подвале делает его особенно чувствительным к вариациям концентрации радона в грунте и в бетоне. Схема размещения детекторов установки «Нейтрон» представлена на рис. 2.

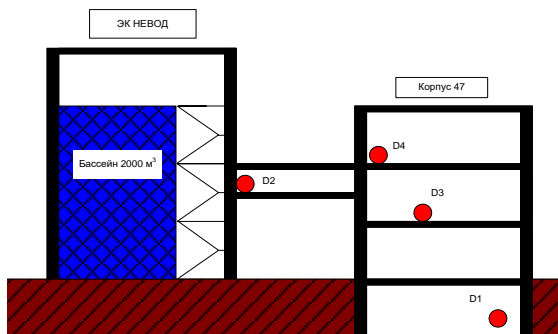


Рис. 2. Схема размещения детекторов установки «Нейтрон».

Данные с установки «Нейтрон» представляют собой суточные файлы, содержащие дату и время записи, темп счета, давление, темп счета шумовых импульсов, относительная и абсолютная влажность. Запись данных происходит один раз в пять минут. Разработана методика подготовки и обработки, данных установки,

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика позволяющие вносить поправку на барометрический эффект. Рассмотрены поведение барометрических и температурных коэффициентов, а так же влияние атмосферных эффектов на исследования вариаций тепловых нейтронов.

Литература

1. В.Д. Аллен. Регистрация нейтронов.// Под редакцией Б.В.Рыбакова, 1962, с.13-14.
2. Д.М. Громушкин, А.А. Петрухин, Ю.В. Стенькин и др. Регистрация потока тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли. // Изв. РАН. Серия физич., т. 73, № 3, 2009, с. 426-428.
3. Д.М. Громушкин, А.А. Петрухин, Ю.В. Стенькин и др. Регистрация потока тепловых нейтронов вблизи поверхности Земли. // Изв. РАН. Серия физич., т. 73, № 3, 2009, с. 425-427.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ТОНКОСТЕННЫЙ КСЕНОНОВЫЙ ГАММА-ДЕТЕКТОР С
РАБОЧИМ ОБЪЕМОМ ЧЕТЫРЕ ЛИТРА**

Абрамов А.В.¹, Власик КФ.², Дмитриенко В.В.², Шустов А.Е.²

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва

² НИЯУ МИФИ, Москва

+79652691910, abramov.mephi07a@gmail.com

Актуальность данной работы состоит в том, что впервые был описан новейший тонкостенный ксеноновый гамма-спектрометр (КГС) с рабочим объемом в четыре литра и была проверена его работоспособность в лабораторных условиях [1].

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ разных типов гамма-детекторов и выбран наилучший вариант для использования в конвейерной установке по сортировке радиоактивных отходов. Кроме того, были описаны конструктивные особенности нового КГС, методика проверки его на течь, испытания высоким напряжением, которое подается на катод и сетку [2]. После сборки и наполнения КГС проводились эксперименты, в которых источники излучения находились перпендикулярно главной оси детектора на расстояние D от детектора, в ходе которых найдены энергетические разрешения для линий разных энергий.

На основе проведенных испытаний были построены зависимости эффективности регистрации и энергетического разрешения детектора [3]. Энергетическое разрешение детектора составило 2.3% для энергии гамма-квантов $E_\gamma = 662$ кэВ, что примерно в пять раз лучше, чем у сцинтилляционного гамма-детектора NaI(Tl) [4].

Проведенный анализ результатов показал, что данный спектрометр удовлетворяет всем требованиям по использованию его в конвейерной установке для сортировки радиоактивных отходов.

Литература

1. А.Г. Духвалов. Система очистки ксенона и его смеси с водородом для использования в гамма: пояснительная записка к дипломному проекту, 2001.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

2. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Том 1. Физика атомного ядра. Учебник для вузов. (М.: Атомиздат. 1974).

3. М.А. Аникеева, К.А. Боярчук и С.Е. Улин. Обнаружение радиоактивного космического мусора с борта космического аппарата. Вопросы электромеханики. Т.126. Стр.13-18 (2012).

4. Д. Рейли, Н. Энслин, Х. Смит и С. Крейнер. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов (PANDA). Перевод и адаптация ВНИИА им. Н.Л. Духова (2005).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЁННОЙ МОЩНОСТИ ДОЗЫ В
ВОДЕ ДЛЯ НАПРАВЛЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО
ИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169 ДЛЯ
ВЫСОКОДОЗОВОЙ БРАХИТЕРАПИИ**

**С.А. Артамонов¹, И.С. Тычкин¹, Ю.Н. Анохин¹,
С.А. Чаушанский², С.В. Акулиничев².**

¹ИАТЭ НИЯУ МИФИ г. Обнинск

²ИЯИ РАН г. Троицк

Работа связана с исследованием нового направленного тросового источника на основе радионуклида иттербия-169 для применения в терапевтических аппаратах при проведении высокодозовой брахитерапии (ВДБ).

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что новый источник обладает рядом технологических и терапевтических преимуществ, а также позволяет обеспечить возможность импортозамещения дорогостоящих иридиевых ВДБ-источников при более низкой стоимости источника и лечения.

Цель работы - разработка физических основ и методов производства нового поколения источников для брахитерапии, содержащих иттербий. Источники должны быть экономически и терапевтически предпочтительнее имеющихся источников с иридием и кобальтом, должны удовлетворять требованиям по активности и допускать их применение в облегченных терапевтических аппаратах. Новые источники должны быть эффективны как в высокодозовой (HDR), так и в импульсной (PRD) брахитерапии.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**НОВЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ
ТЕПЛООТДАЧИ К СРЕДАМ В ОБЛАСТИ
СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДЪЕМНОМ
ДВИЖЕНИИ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ КАНАЛАХ**

Баисов А.М.¹, Деев В.И.¹

¹НИЯУ «МИФИ», Москва

конт. тел.: 89267001087, e-mail: baisov75@gmail.com

Разработка совершенных методов расчета теплообмена в средах с сильно изменяющимися теплофизическими свойствами – одна из ключевых научно-технических проблем, требующих своего решения при создании перспективных ядерных энергетических установок с водой сверхкритического давления [1]. Необходимо получить достаточно простое для применения в инженерной практике соотношение, которое предсказывало бы с приемлемой точностью коэффициент теплоотдачи к воде сверхкритических параметров, движущейся в каналах сложной конфигурации, не только в условиях нормального теплообмена, но также и в режимах улучшенной или ухудшенной теплоотдачи [2].

Для того чтобы решить поставленную задачу, в связи с ограниченностью опытных данных о теплоотдаче при течении воды в пучках стержней был проведен тщательный анализ результатов экспериментов с моделирующими средами (диоксид углерода, фреоны). В качестве базовой зависимости выбрана формула, предложенная в статье [3] для режимов нормального теплообмена в круглых трубах,

$$\text{Nu}_{\text{ж.н}} = 0.023 \text{Re}_{\text{ж}}^{0.8} \text{Pr}_{\text{ж}}^{0.4} \left(\frac{\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0.25} \left(\frac{\overline{c_p}}{c_{p\text{ж}}} \right)^n, \quad (1)$$

в которой влияние изменения физических свойств среды с температурой на теплоотдачу учитывается двумя поправочными множителями к известному уравнению Диттуса–Болтера для постоянных свойств.

Анализ экспериментальных данных, представленных в виде отношения чисел Нуссельта $\text{Nu}_{\text{ж.э}}$, рассчитанных по эксперимен-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика тальным данным, к числам Нуссельта $N_{ж,н}$, вычисленным по формуле (1) с использованием в качестве характерного размера гидравлического диаметра d_g , позволил сделать следующее заключение. При определении теплоотдачи в режимах улучшенного или ухудшенного теплообмена в расчетное уравнение в общем случае необходимо вводить дополнительные поправки, учитывающие воздействие на поток архимедовых сил и термического ускорения, возникающих в неизотермической среде в псевдокритической области параметров. В системах с каналами охлаждения небольшого гидравлического диаметра, что характерно для активных зон ядерных реакторов, определяющим является последний фактор (термическое ускорение). Показано, что влияние этого фактора на теплоотдачу можно учесть с помощью двух комплексных критериев, составленных из безразмерных чисел Рейнольдса $Re = Gd_g/\mu$, термического ускорения $KA = q\beta/(Gc_p)$ и относительной энтальпии $(h - h_m)/h_m$ в форме $K_m = Re^{0,5}/KA_m$ и $K_h = K_m \cdot (h - h_m)/h_m$, где индекс m означает, что параметры среды выбираются при псевдокритической температуре t_m .

В результате обработки большого массива опытных данных, полученных при движении воды и моделирующих сред в круглых трубах, кольцевых каналах и пучках стержней, был найден следующий общий вид двух поправочных функций $Y_{1,2}$ к формуле (1):

$$Y_{1,2} = 1 + a_{1,2} \exp(b_{1,2} K_h^2 + c_{1,2} K_h), \quad (2)$$

где коэффициенты $a_{1,2}$, $b_{1,2}$, $c_{1,2}$ определены по данным для режимов улучшенной (индекс 1) и ухудшенной (индекс 2) теплоотдачи и зависят от свойств теплообменной среды. Показано также, что в случае смешанных режимов теплообмена поправочный множитель Y может быть рассчитан как суперпозиция функций Y_1 и Y_2 :

$$Y = (1 - \zeta)Y_1 + \zeta Y_2, \quad (3)$$

где $\zeta = \exp(-0,5K_m^2)$ – весовой коэффициент.

Совокупность соотношений (1) – (3) позволяет рассчитывать коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении воды в каналах сложной формы (в том числе в пучках стержней) в широкой области изменения геометрических и режимных параметров, при этом

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика расхождение между результатами расчетов и экспериментов в основном не превышает $\pm 15\text{--}20\%$.

Литература

1. Перспективы разработки инновационного водоохлаждаемого ядерного реактора со сверхкритическими параметрами теплоносителя / С.Г. Калякин, П.Л. Кириллов, Ю.Д. Баранаев, А.П. Глебов, Г.П. Богословская, М.П. Никитенко, В.М. Махин, А.Н. Чуркин // Теплоэнергетика. 2014. № 8. С. 13–19.

2. Петухов Б.С. Теплообмен в однофазной среде при околокритических параметрах состояния // ТВТ. 1968. Т. 6. Вып. 4. С. 732–745.

3. Анализ соотношений для расчета нормальной теплоотдачи к потоку воды сверхкритического давления в вертикальных трубах / В.И. Деев, В.И. Рачков, В.С. Харитонов, А.Н. Чуркин // Атомная энергия. 2015. Т. 119. Вып. 3. С. 138–144.

4. Протопопов В.С. Обобщающие зависимости для местных коэффициентов теплоотдачи при турбулентном течении воды и двуокиси углерода сверхкритического давления в равномерно обогреваемых круглых трубах // ТВТ. 1977. Т. 15. Вып. 4. С. 815–821.

5. Experimental study on heat transfer of supercritical Freon flowing upward in a circular tube / S. Zhang, H. Gu, X. Cheng, Z. Xiong // Nucl. Eng. and Design. 2014. V. 280. P. 305–315.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ
КАМЕРЫ РРС40 ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ
СРЕДНЕЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

Баулин А.А.^{1,2}, Сухих Е.С.^{1,2}, Сухих Л.Г.¹ Шейно И.Н.³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

²ОГАОУЗ Томский областной онкологический диспансер, г. Томск.

*³ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва.
+7 952 182 7003, baylin1991@tpu.ru*

Развитие технологий в современном мире дают возможности исследовать и внедрять всё новые подходы и их модификации, которые соответствуют серьезным требованиям, предъявляемым к лучевой терапии. Существует возможность модификации методов лучевой терапии, используя дозодополняющие агенты, содержащие в составе ядра тяжёлых элементов ($Z \geq 53$). В данном процессе после взаимодействия фотонов с ядрами тяжелых элементов рождается большое количество характеристических фотонов рентгеновского излучения и низкоэнергетических Оже-электронов. Вторичное низкоэнергетическое излучение ионизирует близлежащие атомы, что приводит к лавинообразной реакции возникновения высокоактивных радикалов, что, в свою очередь, ведет к разрушению макромолекул ДНК и РНК, белков и различных структур клетки. Если дозодополняющий агент находится в клетке опухоли (в ядре или других критических органах клетки), то процесс может значительно увеличить вероятность гибели опухолевых клеток и при этом снизить дозовые нагрузки на здоровые ткани человека и органы [1,2,3].

Для исследования наиболее целесообразно использовать рентгеновское излучение, так как процессы фотоэффекта и комптоновского рассеивания преимущественно протекают в среднеэнергетическом диапазоне. Также, использование рентгеновской трубки позволят повысить эффективность лучевой терапии различных видов опухолей, в том числе радиорезистентных, при использовании простого оборудования.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Предлагаемый проект посвящен теоретическому и экспериментальному исследованию возможности проведения лучевой терапии злокачественных опухолей с использованием разрешенных к применению клинических источников фотонов (рентгеновских трубок) в присутствии дозодополняющих, в том числе рентгеноконтрастных агентов в опухолях.

Однако, для реализации проекта требуется подробное изучение энергетических и дозовых характеристик рентгеновской трубки. Наибольшую популярность в клинической дозиметрии получили цилиндрические (считается вторым эталоном дозиметрии) и плоскопараллельные камеры, которые отличаются не только геометрической формой, но и измеряемым диапазоном энергий ионизирующего излучения. В Томском областном онкологическом диспансере имеется рентгеновская трубка Xstrahl300, которая позволяет генерировать излучения в диапазоне напряжений трубки от 60 до 300 кВ, а так же для целей клинической дозиметрии имеется плоскопараллельная камера PPC40 по паспорту откалиброванная для измерений фотонов высоких энергии в диапазоне от ^{60}Co и цилиндрическая камера FC65-G по паспорту откалиброванная для измерений рентгеновского излучения и фотонов высоких энергии в диапазоне от ^{60}Co .

Одним из главных параметров влияющих на точность измерения дозы является чувствительный объем камеры в котором происходит сбор измеряемого заряда и его геометрическое расположение. Плоскопараллельная камера PPC40 имеет чувствительный объем равный $0,40 \text{ см}^3$, который является значительно меньше чувствительного объема цилиндрическая камера FC65-G равного $0,65 \text{ см}^3$, а так же конструкция и материал изготовления сводит к минимуму эффекты обратного рассеяния. Стоит обратить внимание на расположение эффективной точки у плоскопараллельной камеры, которая находится на поверхности входного окна, а значит такая геометрия позволит измерять абсолютную дозу с высоким разрешением требуемого для дальнейшего исследования дозовых распределение в объеме мишени.

Использование плоскопараллельной камеры PPC40 в значительной мере способствует снижению погрешности полученных измерений дозы от рентгеновской трубки. Однако, по паспорту PPC40 не предназначена для измерений рентгеновского излучения.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Существует методика перекрестной калибровки ионизационных камер по откалиброванной эталонной камере на эталонном источнике ^{60}Co описанная в международном протоколе TRS-398[4]. Используя методику перекрестной калибровки возможно откалибровать плоскопараллельную камеру PPC40 по откалиброванной цилиндрической камере FC65-G на эталонном источнике ^{60}Co .

В результате полученные калибровочные коэффициенты позволят использовать плоскопараллельной камеру для измерений в рентгеновском диапазоне, а следовательно позволят говорить о достоверности полученных измерений среднеэнергетического рентгеновского излучения с высокой точностью

Целью данной работы является исследование возможности применения плоскопараллельной камеры PPC40 в среднеэнергетическом рентгеновском диапазоне для дальнейшего использования камеры как дозиметрического оборудования применяемого для точной оценки абсолютных дозовых распределений рентгеновского излучения.

Литература

1. Sanche, L. Interaction of low energy electrons with DNA: Applications to cancer radiation therapy. Radiation Physics and Chemistry. Vol.128, P.36–43 (2016).

2. Bayart, E., Pouzoulet, F., Calmels, L., et al. Enhancement of IUdR Radiosensitization by Low-Energy Photons Results from Increased and Persistent DNA Damage. PLOS ONE, P. 1–17(2017).

3. Kassis AI. Therapeutic Radionuclides: Biophysical and Radiobiologic Principles. Seminars in Nuclear Medicine. Vol.38. Issue 5, P.358–366 (2008).

4. Andreo, P., Burns, D.T., Hohlfeld, K., et al. IAEA, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. Technical Report Series 398, P.251. (2000)

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА НИКЕЛЕВЫХ
СПЛАВОВ-ПРИПОЕВ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ
СОСТОЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ
СТАЛЕЙ**

***Д.М. Бачурина, Б.А. Калинин, А.А. Иванников, А.Н. Сучков,
О.Н. Севрюков, М.А. Пенязь, И.В. Федотов***

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет МИФИ,
Москва
+7-917-591-19-36.,bachurina_di@mail.ru*

Любое сложное по своей конструкции изделие содержит в себе множество неразъемных соединений, полученных тем или иным способом. В ряде случаев, например, для соединения разнородных материалов, при использовании тонкостенных конструкций или при необходимости создания соединения в труднодоступных местах единственным методом является пайка.

Высокую прочность паяного соединения обеспечивает диффузионная пайка, когда затвердевание шва происходит в процессе изотермической выдержки, и формируется наиболее однородная структура [1,2]. Для соединения сталей широко применяются никелевые борсодержащие припои в виде аморфной ленты. Однако существует проблема образования зоны, обогащенной боридами вблизи шва, что приводит к значительному снижению ударной вязкости, прочности [3], термостойкости, а также коррозионной стойкости.

В связи с этим стоит задача изучить процессы формирования данной зоны, а также возможность ее устранения в сталях с различной микроструктурой и составом. Основной целью работы является исследование эволюции структуры паяного соединения в процессе диффузионной пайки этих сталей классическими никелевыми припоями системы Ni-Cr-Si-B с различным содержанием легирующих элементов.

В качестве исследуемых материалов использованы новая жаропрочная комплексно-легированная трудносвариваемая сталь ферритно-мартенситного класса 16X12МВСФБР и сталь аустенитного класса 12X18Н10Т. В качестве припоев в работе применяли

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
аморфные ленточные сплавы СТЕМЕТ 1301А (Ni-7Cr-3,5Fe-4,5Si-2,6В), СТЕМЕТ 1350 (Ni-19Cr-9Co-6Si-5,5Mo-1,3В), Ni-7Cr-7,5Si-1,5В и Ni-22Cr-7,5Si-1,5В мас.%, которые изготавливали в виде фольг по технологии быстрого затвердевания расплава.

По изученным микроструктурам полученных соединений выявлено три морфологических зоны боридов. Кроме того, после пайки аустенитной стали 12Х18Н10Т в околшовной зоне образуется небольшое количество α -фазы железа, она выявлена вблизи образовавшихся боридов. Однако бориды образуются не только вблизи α -фазы, следовательно фазовый переход из γ -фазы железа в α -фазу не является основной и единственной причиной выделения этих частиц. Определено, что борид в околшовной зоне имеет структуру Cr_2B , в котором растворено значительное количество железа и более точный состав выглядит, как $(\text{Cr,Fe})_2\text{B}$. Показано, что он образуется не из-за уменьшения растворимости при охлаждении соединения, а во время изотермической выдержки.

Определено, что хром сильно влияет на структуру паяного соединения. Если его содержание в припое больше, чем в стали, количество боридов вблизи шва уменьшается. Однако в центре шва образуются фазы, которые не исчезают при увеличении времени экспозиции. Данные фазы представляют собой бориды различных составов, а также в соединении 16Х12МВСФБР/СТЕМЕТ 1350/16Х12МВСФБР наряду с боридом выявлено наличие силицида. Состав данных боридов отличен от образованных в околшовной зоне.

Литература

1. Петрунин И.Е., Березников Ю.И. и др. Справочник по пайке / Под ред. И.Е. Петрунина. 3-е. Изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 2003. 480 с.; ил.
2. А.А. Ivannikov, V.T. Fedotov, O.N. Sevryukov, B.A. Kalin, A.N. Suchkov, I.S. Logvenchev, I.V. Fedotov Brazing ferritic-martensitic reactor steels with an amorphous rapidly quenched nickel-based strip brazing, *Welding international*, 2013, Vol. 27, No. 8, 660–664.
3. Быстрозакалённые ленточные аморфные припои для высокотемпературной пайки сплавов на основе ниобия / Сучков А.Н., Федотов В.Т., Севрюков О.Н., Калинин Б.А., Иванников А.А., Якушин В.Л., Джумаев П.С. – Сварочное производство, 2010 №5, с.47-51

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ОХЛАЖДАЕМОЙ НАТРИЕМ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СБОРКЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ
АНИЗОТРОПНОГО ПОРИСТОГО ТЕЛА**

***Баясхаланов М. В., Власов М.Н., Корсун А.С., Меринов И.Г.,
Сильвестров В.В.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва
+7 (925) 876-14-28, mr.bayashalanov@mail.ru*

Моделирование теплогидравлических процессов в активных зонах современных быстрых реакторов, составленных из бесчехловых ТВС и охлаждаемых жидкометаллическим теплоносителем, требует использования трехмерных математических моделей. Использование приближения анизотропного пористого тела [1] позволяет решить поставленную задачу с относительно невысокими затратами ресурсов ЭВМ.

Целью настоящей работы являлось тестирование программного модуля ARMod, разработанного для моделирования процессов теплопереноса в активных зонах и теплообменном оборудовании перспективных реакторов в приближении анизотропного пористого тела. Тестирование осуществлялось в ходе расчётного исследования течения натриевого теплоносителя в экспериментальной тепловыделяющей сборке с частичной блокадой проходного сечения.

Сборка [2] содержала 169 гладких цилиндрических стержневых элементов, часть из которых нагревалась электрическим током. Моделирование течения натриевого теплоносителя в сборке выполнялось для случая частичной блокады проходного сечения при 21% перекрытии угловой части поперечного сечения сборки. Первый этап этого тестирования был описан в работе [3].

В отличие от результатов первого этапа, показавшего работоспособность модуля ARMod и хорошее количественное и качественное совпадение расчётных и экспериментальных характеристик процесса течения натриевого теплоносителя, в данной работе основное внимание уделялось установлению причин расхождения

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
результатов расчета и эксперимента в определении поля температуры за блокадой и оптимизации используемой расчетной сетки.

Оптимизация расчетной сетки позволила уменьшить число элементов разбиения с 106470 до 3888 элементов, что резко сократило время выполнения расчета при сохранении точности полученных результатов. Как и на первом этапе тестирования было получено хорошее качественное и количественное совпадение гидродинамических характеристик потока натриевого теплоносителя в области за блокадой. При этом сохранялось заметное расхождение расчетных и экспериментальных полей температуры.

Выполненные вариантные расчеты показали, что основной причиной этого расхождения является описание блокады в программном модуле путем задания высокого гидравлического сопротивления в области блокады. Моделируемая таким образом блокада остается частично проницаемой, в отличие от непроницаемой блокады в эксперименте. Справедливость данного вывода подтверждается тем, что увеличение сопротивления блокады приводит к улучшению совпадения результатов расчета с экспериментом.

В целом проведенные исследования подтверждают работоспособность программного модуля APMod.

Литература

1. А.С. Корсун, Ю.А. Маслов, И.Г. Меринов и др., Ядерная физика и инжиниринг, 4(7), 619 (2013). DOI: 10.1134/S2079562913070063.
2. F. Huber, W. Pepler, Report No 3927 (Karlsruhe, 1985).
3. M V Bayaskhalanov, I G Merinov, A S Korsun and M N Vlasov, Journal of Physics: Conference Series, 781(1) 1 (2017). DOI: 10.1088/1742-6596/781/1/012049.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ
В РАЗЛИЧНЫХ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ФАНТОМАХ**

Бусыгин А.С., Аникин М.Н., Наймушин А.Г.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск
конт. тел.: 8-952-177-0008, e-mail: asbu26@gmail.com*

Определение дозовой нагрузки на биологические ткани от нейтронного излучения на практике для конкретного организма всегда представляет определенную сложность. А также не всегда имеется возможность проводить экспериментальные методы исследования распределения энергии излучения внутри организма на дозиметрических фантомах. Поэтому существуют компьютерные методы моделирования распределения излучения в дозиметрических фантомах.

В фантоме должны быть воспроизведены геометрические формы облучаемого тела, условия поглощения и рассеяния применяемого излучения. Фантом должен состоять из тканеэквивалентного материала: эффективный атомный номер и плотность тканеэквивалентного вещества и ткани организма равны [1].

В настоящей работе в программном средстве MCU-PTR была разработана расчетная модель, которая состояла из следующих компонентов (Рисунок 1): дозиметрический фантом; источник нейтронов; окруженный поглотителем направляющий канал. В программе MCU-PTR моделирование осуществляется по методу Монте-Карло [2]. Для регистрации распределения пучка нейтронного излучения по глубине дозиметрический фантом был разделён на 36 зон с шириной 0,5 см. Фантом головы моделировался различного состава (Таблица 1). Моделировалась плотность потока равная $10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ эпитеповых нейтронов с энергией от 1 кэВ до 30 кэВ [3].

В результате расчетов были получены распределения пучка нейтронного излучения в дозиметрических фантомах для следующих энергетических групп нейтронов: 0–0,5 эВ – тепловые, 0,5 эВ – 10 кэВ – эпитеповые, выше 10 кэВ – быстрые.

Таблица 1. Состав дозиметрических фантомов

	АТОМ	Brain	Water
Плотность, г/см ³	1,07	1,04	1,00
Водород, %	8,16	10,7	11,2
Кислород, %	26,49	71,2	88,8
Углерод, %	53,6	14,5	–
Азот, %	1,53	2,2	–
Хлор, %	0,19	–	–
Магний, %	9,98	–	–

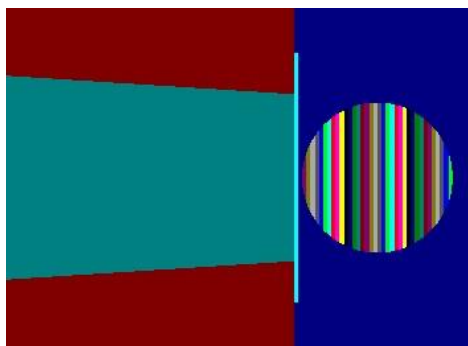


Рис.1. Модель дозиметрического фантома и направляющего канала
Литература

1. И. В. Богдан, Ю. Н. Выговский, Н. Ю. Выговская. Голографическое моделирование эффекта лазерной биостимуляции и методы изготовления фантомных тест-объектов для радиологии / Компьютерная оптика. – 2004. – № 26. – 57-61 с.

2. N. I. Alexeev et al. MCU-PTR Code for Precision Calculation of Pool and Tank Types Research Reactors /Atomic Energy. – Т. 109. – С. 123-129..

3. IAEA, Current status of neutron capture therapy / Printed by the IAEA in Austria, 2001.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МАССЫ БОЗОНОВ ХИГГСА В НМССМ С
CP-НАРУШЕНИЕМ: ПРЕДЕЛ СМ**

Е.А.Голенев¹, А.В.Гурская²

¹ Самарский университет, Самара

² Самарский университет, Самара
89033088173, immortal9NOD9@gmail.com

Стандартная модель (СМ) физики элементарных частиц справедлива лишь на определенном масштабе энергии. В связи с повышением мощности ускорительных экспериментов, проявляются отклонения [1] от предсказаний СМ, которые могут быть описаны в расширенных моделях, в частности, могут быть даны предсказания для этих отклонений. На сегодняшний день активно проверяется на БАК суперсимметрия. Отдельной задачей является описание явления нарушения *CP*-инвариантности в рамках суперсимметричных моделей [2-4].

В работе определен сектор Хиггса с включением явного и спонтанного нарушений *CP*-инвариантности, а также смешивания *CP*-четных и *CP*-нечетных состояний бозонов Хиггса в неминимальной суперсимметричной модели. Вычислен базис массовых состояний бозонов Хиггса с условиями существования минимума потенциала. Рассчитаны массы трех нейтральных бозонов Хиггса, удовлетворяющие случаю легчайшего бозона Хиггса стандартной модели с массой 125 ГэВ.

Проанализированы новые области возможных значений свободных параметров модели с учетом поправок к параметрам потенциала Хиггса.

Проведен расчет поправок к *CP*-нарушающим параметрам потенциала Хиггса, которые вводят дополнительное явное *CP*-нарушение непосредственно в потенциал Хиггса, а также решают проблему отрицательных масс после процедуры перехода к физическому базису.

Приведены аналитические выражения для поправок. Их значения объясняются эффективными вкладками из сектора скварков третьего поколения.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Рассчитаны массы трех легчайших бозонов Хиггса в однопетлевом приближении для нескольких наборов фиксированных параметров модели, удовлетворяющих случаю легчайшего бозона Хиггса с массой 125 ГэВ и отдельно сценарию медленного скатывания в конечнотемпературном расширении рассматриваемой модели.

Выбраны два возможных сценария реализации нескольких бозонов Хиггса в физике элементарных частиц. Стандартный сценарий бозона Хиггса с наименьшей возможной массой 125 ГэВ не допускает существования других частиц меньшей массы и отвечает результатам наблюдений на БАК. Второй сценарий основан на ограничениях электрослабого бариогенезиса и требовании к массе легчайшего бозона Хиггса, соответствующего условиям сильного фазового перехода первого рода. Приведены обоснования ненаблюдаемости легкого бозона Хиггса на ускорительном эксперименте за счет возможного распада легчайшей частицы на нейтрально - кандидат на роль частицы темной материи, недетектируемую частицу.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании экспериментов на БАК. А также для дальнейших теоретических расчетов свойств суперсимметричных моделей.

Литература

1. ATLAS Collaboration // CERN-PH-EP-2015-290; ATLAS Collaboration // CERN-PH-EP-2015-184; CMS Collaboration // CMS-HIG-14-005, CERN-PH-EP-2015-027; CMS Collaboration // CMS-SUS-14-014, CERN-PH-EP-2015-033; ATLAS Collaboration // CERN-PH-EP-2015-038.

2. Ахметзянова Э. Н., Долгополов М. В., Дубинин М. Н. Суперсимметричные поправки в хиггсовском секторе МССМ с явным нарушением CP инвариантности. Ядерная физика. 2007. Т. 70, № 9. С. 1594–1597.

3. Ахметзянова Э. Н., Долгополов М. В., Дубинин М. Н. Нарушение CP инвариантности в двухдублетном хиггсовском секторе МССМ. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2006. Т. 37, № 5. С. 1285–1382.

4. Gurskaya A.V., Dolgoplov M.V. The Higgs bosons decays in the NMSSM with CP-violation. EPJ Web of Conferences 125, 02011 (2016).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА**

Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.

*Национальный исследовательский институт «МИФИ», Москва
Тел: 8-915-336-21-03, tybox336@gmail.com*

15 июня 2006 года с космодрома Байконур был запущен спутник РЕСУРС-ДК1, на котором установлен магнитный спектрометр ПАМЕЛА. Спутник РЕСУРС-ДК1 имел эллиптическую орбиту высотой 350-610 км с наклоном $70,4^\circ$ [1]. При помощи нейтронного детектора [2], входящего в состав прибора ПАМЕЛА и служащего для улучшения разделения регистрируемых в калориметре электронов и протонов можно было также исследовать потоки нейтронов на орбите [3,4]. Детектор имеет фоновый канал измерений, записывающий полное число нейтронов, зарегистрированных за промежутки времени между регистрацией заряженных частиц спектрометром ПАМЕЛА. В частности, в работах [3, 4] по данным фонового канала производился поиск нейтронов солнечного происхождения.

Нейтронный детектор представляет собой 36 цилиндрических пропорциональных счётчиков, наполненных ^3He при давлении 7 атмосфер [2]. Две плоскости по 18 счётчиков прослоены полиэтиленом, в котором нейтроны замедляются до тепловых энергий, что позволяет их регистрировать с эффективностью около 10%. Счет числа зарегистрированных нейтронов осуществляется электронным счетчиком, разрядность которого – 4 бита. При переполнении показания счетчика сбрасываются в ноль, что приводит к ошибкам при большом темпе счета нейтронов. В работе [4] для снижения эффекта переполнения памяти рассматривались только временные интервалы регистрации нейтронов, не превышающие 15 мс (при среднем значении длительности этих интервалов 30 мс). Были проанализированы солнечные события за 2006 – 2015 г., в которых могли быть генерированы нейтроны, причем в некоторых из них наблюдались указания на регистрацию эффекта. Однако, хотя данный метод и позволил избежать ошибок, связанных с переполнением памяти, но при этом значительно уменьшил статистическую обеспеченность

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика результатов. Поэтому флуктуации потоков нейтронов, связанные с переполнением счетчиков (см. работу [3]) и низкая статистическая обеспеченность (см. работу [4]) не позволили сделать однозначного заключения о регистрации нейтронов солнечного происхождения.

Поэтому была разработана методика, основанная на дополнительном анализе работы детектора нейтронов. Используя зависимость темпа счета от широты, были определены минимальные значения показаний фонового канала в зависимости от временного интервала измерений. Это позволило провести корректировку данных в тех случаях, когда из-за «сброса» счетчика минимальное значение темпа счета не достигалось. Корректировка проводилась для каждой из плоскостей нейтронного детектора, так как их темпы счета слегка отличались. После введения коррекции линейная зависимость показаний счетчика от длительности интервала измерений сохранялась вплоть до 100 мс, что значительно выше среднего значения (30 мс). Это позволило использовать для определения темпов счета временные интервалы большей, чем ранее длительности и таким образом уменьшить флуктуации темпов счета. После проведенной коррекции статистические флуктуации темпов счета нейтронов не превышают 1-2%, что вполне достаточно для выделения эффекта от солнечных нейтронов на уровне нескольких процентов.

Литература

1. O. Adriani; G.C. Barbarino; G.A. Bazilevskaya//Physics Reports, 544, 4, 323-370 (2014)
2. Y. Stozhkov, et al.//Int. J. Modern Phys. A 20 (2005) 6745.
3. Богомолов Э.А. //Известия РАН. Серия физическая. Т.79, №5, 634-635 (2015)
4. Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В. //Краткие сообщения по физике №10, 32-37 (2016)

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕППИНГ-ЭФФЕКТА В
ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ТРОИЦК НЮ-МАСС»**

Григорьева П.В.^{1,2}

1 МФТИ, Долгопрудный

2 ИЯИ РАН, Троицк

8-977-330-45-28, grigorieva@inr.ru

В эксперименте «Троицк ню-масс» проводится измерение интегрального спектра электронов, образующихся в бета-распаде трития. В данный момент спектр исследуется на предмет наличия примеси стерильных нейтрино. В случае, если гипотеза существования стерильных нейтрино с массами в диапазоне до 5 кэВ верна, то этот эффект может быть наблюдаем как искажение энергетического спектра электронов [1].

Бета-распад происходит в беззаконном тритиевом источнике. Транспортировка электронов до спектрометра осуществляется при помощи сверхпроводящей магнитной системы. Спектрометр работает по принципу электростатического барьера [2]. В детектор попадают только электроны с энергией выше на электроде спектрометра и летящие в диапазоне углов, определенных конфигурацией магнитных полей.

Электрон может выйти из источника и попасть в спектрометр только в том случае если угол θ между вектором скорости и осью меньше угла захвата θ_a , определяемого отношением магнитных полей в пинч-магните (на входе в спектрометр) и источнике.

Если θ больше угла отражения θ_r , определяемого отношением магнитных полей в источнике и транспортном канале, то электрон запирается между магнитными пробками и находится в источнике пока полностью не потеряет свою энергию или не высаживаются на стенки (треппинг-эффект). В случае $\theta_a < \theta < \theta_r$ электрон вылетает через заднюю пробку или напрямую, или отразившись от пробки в пинч-магните.

Часть электронов в результате столкновений с газом меняют угол своей скорости по отношению к оси источника и могут попасть в спектрометр. Распределение таких электронов по энергиям существенно отличается от распределения электронов, попавших в

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика спектрометр напрямую. Треппинг-эффект вносит вклад в систематическую ошибку измерения спектра электронов в критической для поиска стерильных нейтрино области.

За счет рассеяния на малые углы запертый электрон не может попасть в спектрометр, потому что для этого ему нужно за одно столкновение изменить свой угол на величину большую, чем $\theta_r - \theta_a = 7.3^\circ$. В такой ситуации главную роль играют процессы рассеяния на большие углы, сопряженные с большими потерями энергии.

Количество запертых электронов, покинувших ловушку, не зависит от энергии этих электронов. Этот вывод был получен в результате моделирования и показан на Рис. 1. Спектр вылетевших электронов зависит только от соотношения сечений неупругих и квазиупругих реакций и энергии электрона.

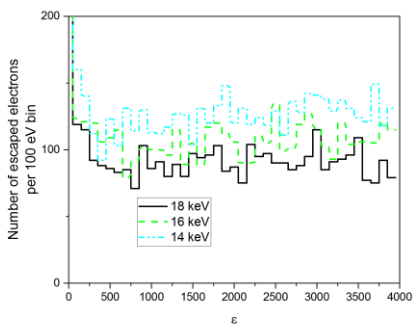


Рис.1. Распределение потерь энергии электронами, запертыми в источнике, для разной начальной энергии.

Литература

1.D. N. Abdurashitov et al., “The current status of "Troitsk nu-mass" experiment in search for sterile neutrino”, JINST 10, no. 10, T10005 (2015).

2.P. V. Grigorieva, A. A. Nozik, V. S. Pantuev, and A. K. Skasyrskaya, “The role of electron scattering from registration detector in the “Troitsk nu-mass” MAC-E type spectrometer”, Nucl. Instrum. Meth. A 832, (2016).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СРЕДСТВА СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
ДИНАМИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ АСУТП АТОМНЫХ
СТАНЦИЙ**

Жуков И.М., Вердян А.Г., Толоконский А.О.

*Кафедра №2 «Автоматика», НИЯУ МИФИ, г. Москва
Тел. 8-963-612-84-39, e-mail, zhukovim@yandex.ru*

Стандарт МЭК 61513, описывающий жизненный цикл автоматизированных систем управления, содержит указания по проведению верификации и тестирования проекта, которое включает в себя динамическое тестирование с использованием полномасштабной физической модели станции.

Модель станции может быть создана на основе данных, полученных из информационных систем управления. Данные системы используют проектные организации для формирования технического проекта на АСУТП, к ним относится система SmartPlant. SmartPlant включает несколько программных продуктов – SmartPlant P&ID, SmartPlant 3D и SmartPlant Foundation –, использующих единое хранилище данных под управлением СУБД Oracle.

Задача тестирования алгоритмов управления актуальна в виду увеличения объемов автоматизации на атомных станциях. Эту динамику можно увидеть в проектах ВНИИА им. Духова. За последние 20 лет в проектах энергоблоков значительно увеличилось количество и сложность измерительного оборудования и объектов управления. Это требует разработки средств динамического тестирования с использованием актуальных проектных данных [1].

Совместно с ВНИИА им. Духова специалисты кафедры №2 «Автоматика» разработали систему сквозного проектирования и динамического тестирования проекта АСУТП. Эти средства интегрированы в состав программной платформы GET-R1, которая используется для проектирования систем управления на базе ТПТС НТ и ТПТС СБ.

Система сквозного проектирования включает в себя систему проектирования САПР-Т, используемую при создании технологических алгоритмов, входящих в состав технического задания на АСУТП. В САПР-Т разработаны встроенные средства верифика-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
ции проекта и средства скриптового тестирования, также в системе
разработаны интеграционные решения с различными информаци-
онными системами управления инженерными данными, в том чис-
ле SmartPlant Foundation.

Проектная информация из SmartPlant Foundation используется
при создания актуальной модели ядерного острова, моделей тепло-
гидравлических и электротехнических процессов. Полученные мо-
дели объединяются в единую полномасштабную модель физиче-
ских процессов, которая используется для проверки алгоритмов
АСУТП на суперкомпьютерах с помощью сервиса скриптового те-
стирования.

Литература:

1. В.Л. Кишкин, А.Д. Нариз. Эволюция программно-
технических средств уровня автоматического управления АСУ ТП
атомных и тепловых электростанций // Доклады БГУИР, 2015.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ИНТЕНСИВНОСТИ
ОКОЛОГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ КООРДИНАТНО-ТРЕКОВОГО
ДЕТЕКТОРА ДЕКОР**

Зайцева Д.В., Кокоулин Р.П.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.
Москва
тел. 8 (916) 510-94-27, e-mail: zaytseva2@mail.ru*

Частота событий, образованных в результате взаимодействия космических лучей в атмосфере и регистрируемых на поверхности Земли, подвержена вариациям, связанным с состоянием атмосферы (атмосферное давление, высотное распределение температуры и, соответственно, плотности воздуха, влагосодержание и т.п.). Рост атмосферного давления приводит к увеличению массы вещества над точкой наблюдения и к уменьшению интенсивности за счет поглощения наименее энергичных частиц в атмосфере. Это явление называется барометрическим эффектом и приближенно описывается введением так называемого барометрического коэффициента. Для мюонов с увеличением энергии барометрический эффект быстро убывает [1].

В настоящей работе анализируются данные эксперимента по регистрации окологоризонтальных мюонов космических лучей с помощью координатно-трекового детектора ДЕКОР [2] за период 2012–2016 гг. Детектор ДЕКОР, предназначенный для исследований многочастичных событий и одиночных мюонов при больших зенитных углах, развернут вокруг черенковского водного детектора НЕВОД. Детектор включает 8 супермодулей (СМ) общей площадью ~ 70 м². Каждый супермодуль состоит из восьми вертикальных плоскостей стримерных трубок. Плоскости камер оснащены двухкоординатной системой считывания из внешних стрипов, позволяющей локализовать треки заряженных частиц с точностью ~ 1 см по каждой координате (X, Y). Угловая точность реконструкции треков мюонов, проходящих через СМ, составляет около 0.7° и 0.8° для проекционных зенитных и азимутальных углов соответственно. Анализируются события, восстановленные по данным су-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика пермодулей в противоположных коротких галереях, причем сегменты трека, зарегистрированные в двух СМ, согласуются между собой в пределах конуса раствором 5° . В этом случае предполагается, что через эти СМ прошла одна и та же частица (мюон с энергией не менее 7 ГэВ, что определяется потерями энергии в бассейне НЕВОД). Такие события соответствуют зенитным углам от 85° до горизонта. Среднее значение зенитного угла составляет 82.5° ; расчетное значение средней энергии мюонов около 100 ГэВ. Ранее вариации интенсивности околоразрешительных мюонов не исследовались.

Проведен отбор экспериментальных данных трех серий измерений: 10-й, 11-й и начала 12-й серий за периоды 03.05.2012 – 01.03.2013, 05.06.2013-08.04.2015, 16.07.2015-20.10.2016 соответственно. Всего в анализ было включено 842 набора продолжительностью от 10 до 40 часов «живого времени» наблюдений (суммарная продолжительность 25967 часов). Обнаружено, что в частоте событий присутствуют изменения, значительно превышающие статистические погрешности измерений. Естественно предположить, что эти вариации связаны с изменением метеорологических условий (атмосферного давления и высотного распределения температур).

Частота событий, отобранных в течение одного из периодов 11 серии, представлена точками на рис. 1 (каждая точка соответствует отдельному набору); линией представлены усредненные за время наборов значения атмосферного давления. Хорошо заметна отрицательная корреляция частоты событий с давлением: экстремально высоким значениям атмосферного давления соответствуют минимальные значения частоты событий; с другой стороны, повышенный темп счета событий наблюдается, как правило, в периоды резкого падения атмосферного давления.

Частота событий была аппроксимирована функцией вида:

$$F_i = F_0(1 + \beta_p \Delta P) ; \Delta P = P - \langle P \rangle , \quad (1)$$

где P – текущее значение давления для данного набора, $\langle P \rangle$ – усредненное за всю серию измерений давление, β_p – барометрический коэффициент.

Корреляция между частотой событий и атмосферным давлением для всей 11 серии наблюдений представлена на рис. 2. Линейная

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика аппроксимация полученной зависимости по методу наименьших квадратов (линия на рисунке) позволяет получить оценку барометрического коэффициента для данного класса событий.

Средние значения атмосферного давления за период эксперимента и оценки барометрического коэффициента для отдельных серий, а также за весь период наблюдений представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, оценки барометрического коэффициента для разных серий удовлетворительно согласуются между собой. Следует отметить, что полученные оценки включают не только реальное изменение интенсивности околоразностных мюонов, но и аппаратную составляющую, связанную с возможным изменением эффективности регистрации и отбора событий при изменении атмосферного давления.

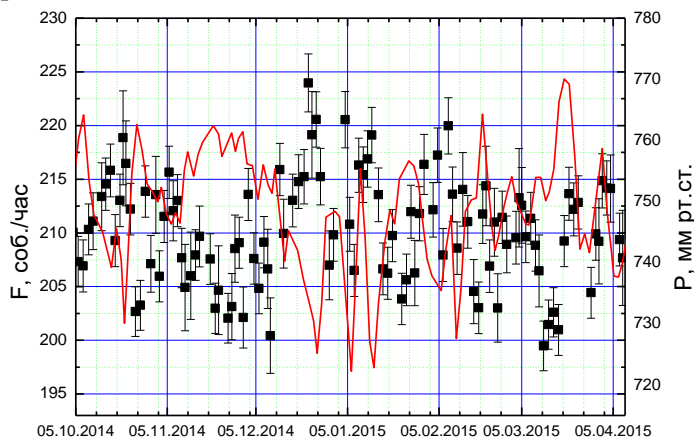


Рис. 1 Изменение частоты событий и давления в период октябрь 2014 – апрель 2015 гг.

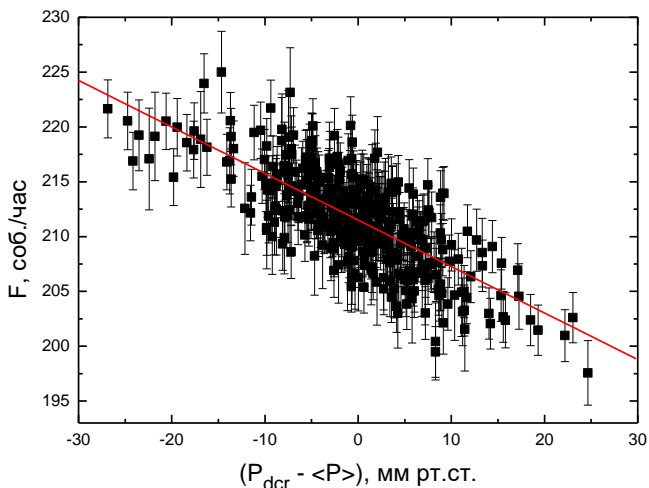


Рис. 2 Корреляция частоты событий и давления для 11-й серии наблюдений. Линия – аппроксимация (1).

Таблица 1. Сводные результаты оценки барометрического коэффициента для интенсивности околоразрешенных мюонов космических лучей по данным настоящего эксперимента.

Серия	10	11	12	10-12
$\langle P \rangle$, мм рт. ст.	746.34	747.02	746.09	746.48
β_P , %./мм рт. ст.	- (0.169±0.013)	-(0.201±0.008)	- (0.178±0.012)	-(0.189±0.006)

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД.

Литература

1. Л.И. Дорман Метеорологические эффекты космических лучей (М.: Наука, 1972).

2. Н.С. Барбашина и др. Координатный детектор для исследования горизонтального потока космических лучей // Приборы и техника эксперимента. № 6. С. 20 (2000).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ СО
СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ДЛЯ ВЫЖИГАНИЯ
АМЕРИЦИЯ-241**

А.С. Зевякин, Г.Л. Хорасанов, Д.С. Самохин

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск
+7 (48439) 7-94-90 доб. 476 ,alexzev1991@mail.ru*

Целью данной работы является демонстрация перспектив по использованию быстрых свинцовых реакторов малой и средней мощности для уничтожения экологически опасного продукта ОЯТ америция-241. Вероятность его деления в энергетических натриевых реакторах относительно невелика, не более 6-10%, что обусловлено недостаточной жёсткостью нейтронов: средняя энергия нейтронов в активных зонах этих реакторах не превышает 0,5 МэВ [1]. В реакторах малой и средней мощности можно добиться увеличения жесткости спектра нейтронов переходом на тяжелый жидкометаллический теплоноситель и металлическое топливо[2]. Данный переход даст рост вероятности деления Am-241 (рис.1) до величины более чем 10% [3]. В данной работе приводятся вероятности деления ^{241}Am в нейтронных спектрах различных реакторов, а так же приводятся некоторые параметры этих реакторов (таблица 1).

Таблица 1. Основные проектные параметры реакторов БРУЦ и БРУЦ-М

Параметры	БРУЦ	БРУЦ-М
Тепловая мощность, МВт	0,5	0,5
Количество твэлов в ТВС	252	120
Диаметр активной зоны, мм	618	700
Высота активной зоны, мм	620	700
Топливо	UO ₂	U+Zr10%
Обогащение урана, %	19,7	19,7

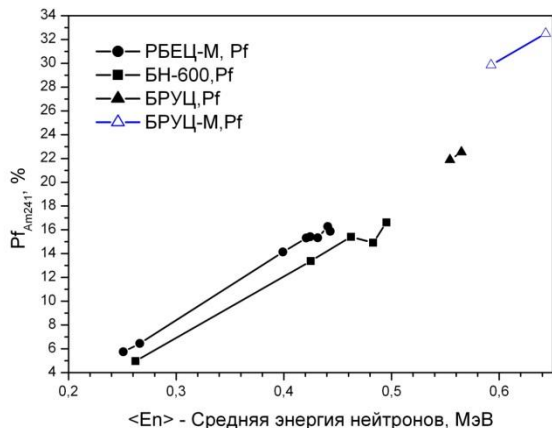


Рис. 1. Вероятности деления ^{241}Am , $\text{Pf}_{\text{Am}241}$, в нейтронных спектрах различных реакторов:
 -РБЕЦ-М с топливом (U+Pu)N и теплоносителями Pb-Bi и ^{208}Pb ,
 -БН-600 с топливом UO_2 и натриевым теплоносителем,
 -БРУЦ с топливом UO_2 и теплоносителями $^{\text{nat}}\text{Pb}$ и ^{208}Pb ,
 -БРУЦ-М с топливом U+Zr10% и теплоносителями $^{\text{nat}}\text{Pb}$ и ^{208}Pb

Литература

1. Хорасанов Г.Л. Некоторые макрохарактеристики активных зон быстрых реакторов средней мощности. / Г.Л. Хорасанов, А.И. Блохин. // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2012. -Вып 3 - С. 18-22.
2. Хорасанов Г.Л. Ужестчение нейтронного спектра в критических и подкритических реакторах при обогащении свинцового теплоносителя свинцом-208. / Г.Л. Хорасанов, А.И. Блохин. // Специальный выпуск (14) журнала «Перспективные материалы», февраль, 2013, Изд. 000 «Интерконтакт Наука» – С 444-448.
3. Самохин Д.С. Быстрый свинцовый реактор малой мощности для учебных целей. / Д.С. Самохин, Г.Л. Хорасанов, И.В. Горышев, Е.А. Земсков, А.Л. Гостев, А.М. Терехова, С.А. Кузьмичев. // Известия вузов. Ядерная энергетика, 2015. – Вып 3 – С.135-143.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**
 $^8\text{He} + \text{Si}$ и $^{11}\text{Li} + \text{Si}$

В.А. Зернышкин^{1,2}, ***Ю.Э. Пенионжкевич***^{1,2}, ***Ю.Г. Соболев***¹

¹ *Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980, Дубна,
Россия*

² *МИФИ, Национальный исследовательский ядерный университет,
115409, Каширское шоссе- 31, Москва, Россия;*

конт. тел. 89629286611

e-mail : 94zernyshkin@gmail.com

Представлены описание эксперимента и результаты измерения полных сечений реакций $^8\text{He} + \text{Si}$, $^{11}\text{Li} + \text{Si}$. Выявлены особенности энергетической зависимости функции $\sigma_R(E)$, проявляющиеся в повышении сечения в области энергий от ~ 10 МэВ/А до 30 МэВ/А. Вклад парциальных сечений различных каналов реакций в полное сечение реакции в указанной энергетической области проведен посредством анализа энергетических потерь исследуемых частиц в материале детекторов кремниевого телескопа. Проведен анализ реакций с помощью метода Монте Карло с использованием кода GEANT 4.

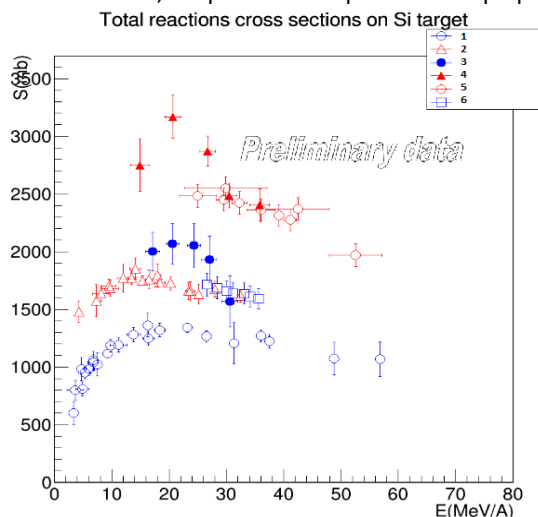


Рисунок 1. Энергетические зависимости полных сечений реакций $^{11}\text{Li}+^{28}\text{Si}$, $^{4,6,8}\text{He}+^{28}\text{Si}$. 1,2,5,6 - Результаты измерения ПСР из литературных данных (1 - ^4He [4], 2 - ^6He [4], 5 - ^{11}Li [5], 6 - ^8He [5]). 3,4 - результаты измерений ПСР $^8\text{He}+^{28}\text{Si}$, $^{11}\text{Li}+^{28}\text{Si}$.

Литература:

1. Соболев Ю. Г., и др. // Изв. РАН Сер. физ. 2005. Т. 69. С. 1603 -1608;
2. Yu.G. Sobolev, Yu.E. Penionzhkevich et al. // Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei, EXON 2014 (Kaliningrad, Russia, 8-13 September 2014). 2015. P. 147.
3. Ю. Г. Соболев и др. «Установка для измерения полных сечений ядерных реакций». Приборы и техника эксперимента, 2012, № 6, с. 13–19
4. Ю.Э. Пенионжкевич^{1,2}, Ю.Г. Соболев¹ и др. « Особенности полных сечений реакций со слабосвязанными ядрами ^6He , ^9Li », 2017, с. 24.
5. LI Chen, YE Yan-Lin et al. //Measurement of Total Reaction Cross Section for Neutron-Rich Nucleus ^8He , ^{11}Li on ^{28}Si Target at Medium Energy, High energy physics and nuclear physics. 2007.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ДИНАМИКА РАЗЛЁТА ДВУХКОМПОНЕНТНОГО
КВАЗИОДНОМЕРНОГО БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКОГО
КОНДЕНСАТА: ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА,
АВТОМОДЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ И ДИСПЕРСИОННЫЕ
УДАРНЫЕ ВОЛНЫ**

С. К. Иванов^{1,2}, А. М. Камчатнов²

¹*Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, 117303*

²*Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк, 108840
+7 (909) 168 18 02, ivanoff.iks@gmail.com*

Динамика бозе-эйнштейновского конденсата является предметом активных современных исследований. К настоящему времени выполнено множество экспериментальных и теоретических работ по изучению солитонов, вихрей, дисперсионных ударных волн и других структур, которые определяют характерные черты поведения конденсата в различных экспериментальных условиях. Одной из основных задач, относящихся к этому направлению исследований, является изучение динамики разлёта конденсата после выключения ловушки, удерживающего этот конденсат, поскольку во многих экспериментах результаты фиксируются после разлёта конденсата до состояния, когда размеры облака достаточно велики для проведения измерений (см., например, эксперименты [1, 2]). Теоретически эта проблема была исследована для конденсата, состоящего из одной компоненты, и было найдено хорошее согласие между теорией и экспериментом. Однако ситуация существенно меняется для случая конденсата, состоящего из нескольких компонент, когда, например, конденсируются атомы двух разных видов, двух разных изотопов одного вида атомов или одного вида атомов в двух разных квантовых состояниях таких, что разность энергий уровней этих состояний много меньше температуры конденсата. В частности, в двухкомпонентных конденсатах необходимо различать случаи относительно сильного взаимного отталкивания компонент, когда они не смешиваются, и относительно слабого взаимного отталкивания, когда они смешиваются, то есть занимают один и тот же объём. Это различие фазовых состояний конденсата существенным образом влияет на динамику конденсата, в том числе и

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика на динамику его разлёта. До сих пор эта динамика была исследована недостаточно полно. В статье [3] были получены некоторые частные результаты, иллюстрирующие различие между случаями разлёта однокомпонентного и двухкомпонентного конденсата, однако в этой статье автор использовал преимущественно численные методы. В настоящем докладе будет показано, что имеются интересные ситуации, когда можно провести полное аналитическое исследование в рамках гидродинамического приближения, использованного ранее в однокомпонентном случае. Сравнение с численными расчётами показывает, что хотя на промежуточных стадиях процесса разлёта дисперсионные эффекты могут играть некоторую роль, тем не менее на асимптотической стадии, наиболее интересной для эксперимента, дисперсионные эффекты становятся чрезвычайно малыми и ими можно пренебречь. Существенную роль в таких благоприятных для аналитической теории случаях играет предположение об автомодельном характере эволюции профилей плотностей и скоростей компонент. Однако будет показано, что это предположение не вполне адекватно описывает динамику, когда начальное состояние конденсатов перед их освобождением из ловушки находится вблизи границы фазового перехода между смешиванием и несмешиванием компонент, и в этом случае задача требует численного решения. Тем не менее даже в случае несмешивающихся компонент можно выделить характерный случай, когда одну из компонент можно рассматривать как поршень,двигающий другую компоненту. Для такой идеализированной ситуации разлёт конденсата сопровождается образованием дисперсионной ударной волны в одной компоненте и волны разрежения в другой компоненте. Развитая для этого случая теория хорошо согласуется с численными результатами. Результаты работы позволяют предсказать характерные черты явления в зависимости от параметров конденсата.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 16-01-00398.

Литература

[1] Andrews M. R., Mewes M.-O., van Druten N. J., Durfee D. S., Kurn D. M., Ketterle W. Direct, nondestructive observation of a Bose condensate // Science. 1996. Vol. 273. No. 5271. P. 84-87.

[2] Ernst U., Schuster J., Schreck F., Marte A., Kuhn A., Rempe G. Free expansion of a Bose–Einstein condensate from an Ioffe–Pritchard magnetic trap // *Appl. Phys. B*. 1998. 67. P. 719–722.

[3] Quach James Q. Beats and Expansion of Two-Component Bose-Einstein Condensates in the Thomas-Fermi Limit // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2014. Vol. 47. 215007.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ОБНАРУЖЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ
СЖАТИИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКА В ВАКУУМЕ**

***О.О. Иващук¹⁾, А.В. Щагин¹⁾²⁾, А.С. Кубанкин¹⁾,
И.С. Никулин¹⁾, А.Н. Олейник¹⁾***

¹⁾НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

²⁾ИНЦ ХФТИ, Харьков, Украина

+79511348789, ivashuk.petrosyan@yandex.ru

В работе впервые обнаружена генерация рентгеновского излучения при сжатии и последующем отпуске пьезоэлектрика в вакууме. Для проведения эксперимента была собрана установка, позволяющая сжимать пьезоэлектрическую керамику в вакууме и измерять спектры рентгеновского излучения (РИ). В экспериментах применялась сборка из двух керамических цилиндров, поляризованных вдоль оси. Цилиндры устанавливались в вакуумной камере последовательно с противоположно направленными векторами поляризации и подвергались сжатию. Противоположные концы сборки заземлялись, а в центре сборки при сжатии вырабатывалось высокое напряжение отрицательной полярности. Спектр РИ измерялся при сжатии сборки с силой до 4 кН. Спектр РИ, измеренный в течение 180 сек при давлении остаточного газа в камере 1 мТорр, представлен на рисунке 1. При атмосферном давлении РИ не наблюдалось.

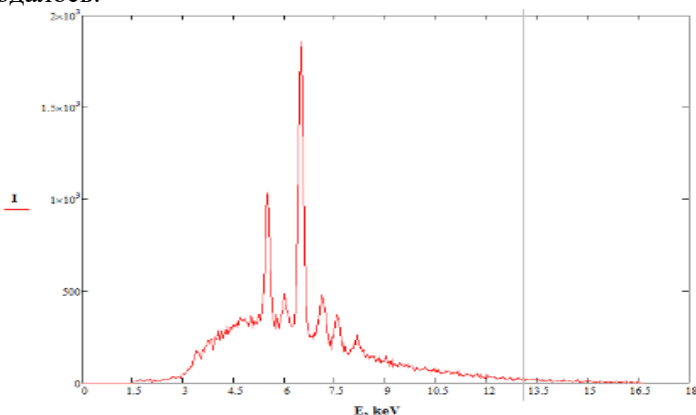


Рис. 1. спектр РИ при сжатии

В спектрах видны пики характеристического излучения атомов керамики и окружающих материалов на фоне тормозного излучения. По-видимому, РИ производится электронами, которые ускоряются в электрическом поле, возникающему благодаря пьезоэлектрическому эффекту при изменении силы, приложенной к сборке.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ДЕТЕКТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА «КАПРИЗ» ДЛЯ
РЕГИСТРАЦИИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**

***Исатаев Т.^{1,2}, Лукьянов С.М.¹, Мендибаев К.^{1,3},
Пенионжкевич Ю.Э.^{1,4}, Серета Ю.М.¹***

¹ *Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Dubna, Russian Federation*

² *Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия*

³ *Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан*

⁴ *Национальный исследовательский Университет МИФИ, Москва,
Российская Федерация*

[+7\(915\)-373-59-36.talgat_136@mail.ru](mailto:talgat_136@mail.ru)

Современное развитие экспериментальной техники позволяет создавать установки и проводить измерения с использованием методики меченых атомов (регистрация каждого события). Это особенно важно при работе с вторичными пучками радиоактивных ядер, исследование которых представляет определенные методические трудности из-за их относительно низких интенсивностей (10^{-3} - 10^{-4}), и необходимостью регистрации с максимальной эффективностью [1]. По этой причине целесообразно использовать прецизионные позиционно-чувствительные детекторы, позволяющие извлекать максимум информации о характеристиках самого пучка, а также о продуктах их реакций. В связи с этим предпочтение отдается созданию широкоапертурных многопараметровых установок.

Данная работа посвящена разработке и калибровке прецизионного полупроводникового позиционно-чувствительного телескопа, который обеспечивает большой телесный угол регистрации, высокое угловое разрешение и однозначную идентификацию всего спектра продуктов ядерных реакций.

Настоящий полупроводниковый телескоп был размещен в фокальной плоскости ахроматического фрагмент-сепаратора COMBAS (рисунок 1). Модуль представляет собой комбинацию из тонких кремниевых ΔE -детекторов, 16-стриповых координатных детекторов и сцинтилляционного E -детектора [2]. Проведены калибровки на источнике альфа частиц ^{226}Ra и с использованием пучков нейтронодефицитных ядер. Качество изотопной идентификации продуктов ядерных реакций, полученных в реакциях фрагмен-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 тации ^{22}Ne при энергиях 40 МэВ/нуклон с помощью детектирующей системы, иллюстрируется на рисунке 2.

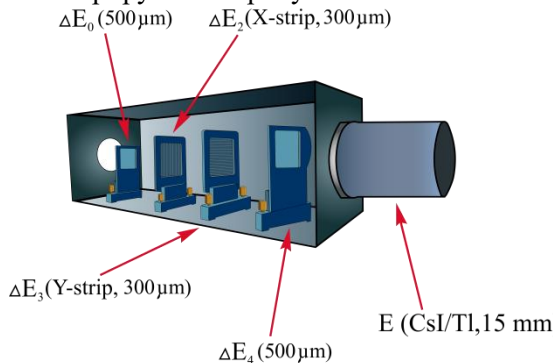


Рис.1 Блок-схема детектирующей системы

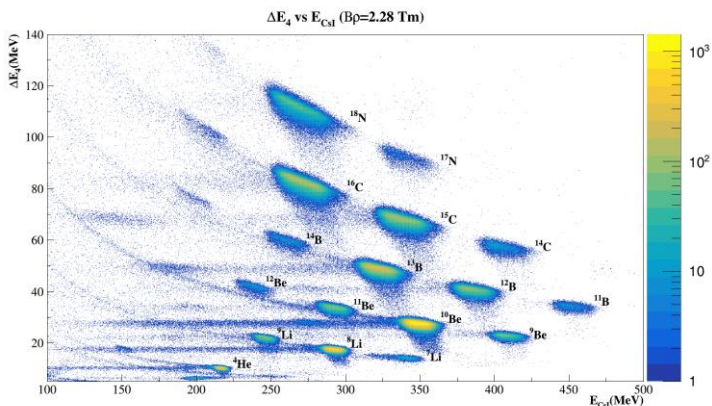


Рис.2 Идентификационная матрица продуктов ядерных реакций ΔE_4 - E_{CsI}

Литература

- 1.Ю.Э. Пенионжкевич . Пучки радиоактивных ядер – ЭЧАЯ, том 25, выпуск 24, (1998).
- 2.С.М. Лукьянов и др. Препринт Р13-2000-283.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОПЛИВА В ТВС
БЫСТРОГО РЕАКТОРА**

Каражелевская Ю.Е.¹, Колесов В.В.¹, Ю.А. Казанский¹

*¹ ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Калужская обл. гор. Обнинск
8-980-710-76-78., e-mail: karazhelievskaja@mail.ru*

В связи с достаточно активным введением в строй новых блоков реакторов на быстрых нейтронах актуальной остается проблема использования плутония в качестве топлива. Основным способом использования плутония является создание т.н. МОХ-топлива из смеси диоксида урана и диоксида плутония. При этом создание смешанного уран-плутониевого топлива является достаточной затратным процессом.

В работе рассматривается возможность отдельного использования уранового и плутониевого топлива в ТВС реактора БН-1200. Мы не касались теплофизических и технологических проблем и ограничились сравнением нейтронно-физических характеристик и параметров кампании ТВС со смешанным и отдельным расположением уранового и плутониевого топлива.

Для расчета использовалась модель ТВС реактора БН-1200, изображенная на рисунке 1. ТВС реактора состоит из шестигранной чехловой трубы, внутри которой находится 271 твэл. Теплоносителем является натрий [1]. Массовая доля плутония в смеси урана и плутония была принята равной 17,77 %. Нейтронно-физические расчеты и расчеты выгорания проводились с помощью программного кода Serpent 2.

Проведенные расчеты показали, что при сохранении соотношения урана и плутония в ТВС и размещении твэлов с плутониевым топливом равномерно между твэлами с урановым топливом значение $K_{эфф}$ практически не изменяется и составляет 1,2267±/ 0.0003 для МОХ топлива и 1,2299±/ 0.0003 для отдельного размещения уранового и плутониевого топлива.

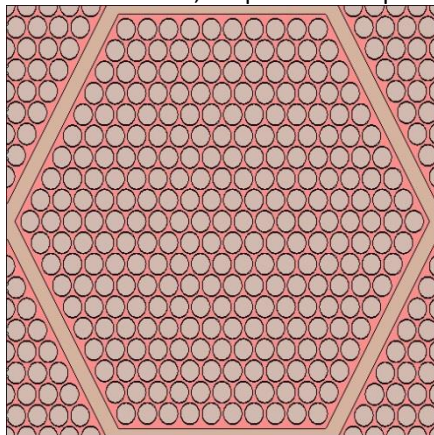


Рис. 1. ТВЭЛ реактора БН-1200 с МОХ-топливом.

Также нами были проведены расчеты кампании для следующих четырех случаев:

- МОХ-топливо;
- равномерное расположение твэлов с урановым и плутониевым топливом;
- вариант со сгущением плутониевых твэлов в районе центра ТВС;
- вариант со сгущением урановых твэлов в районе центра ТВС.

Для каждого варианта рассчитано изменение запаса реактивности для всех четырех случаев размещения топлива.

Литература

1. А.В. Чуйкина, М.С. Аникин., А.С. Нуркин. Перспективные виды топливных композиций для проекта реакторной установки БН-1200. (Томск: Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 2014)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВЫХОДОВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ МОДУЛЕЙ
АДРОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ СВМ И МРД
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Карпушкин Н.М.

*Московский физико-технический институт, Долгопрудный
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва
+7 (905) 594-15-32, nkarpushkin@mail.ru*

Для классификации событий по центральности и определения ориентации плоскости реакции в ИЯИ РАН разрабатываются, изготавливаются и тестируются модули для передних адронных калориметров установок СВМ (ФАИР, Дармштадт, Германия) [1] и МРД (НИКА, Дубна) [2]. На этих установках планируется изучение свойств сильно взаимодействующей сверхплотной адронной материи, возникающей при столкновении релятивистских ядер.

Каждый модуль калориметров состоит из чередующихся слоев свинца и сцинтилляционных пластин, свет с которых собирается и передается с помощью переизлучающего оптоволокну на фотодетекторы НАМАМАТСУ МРРС S12572-010P, установленные на задней панели модуля. Размер чувствительной области фотодетектора составляет $3 \times 3 \text{ мм}^2$ с шагом пикселя 10 мкм, усиление 1.35×10^5 , эффективность регистрации фотонов 10%. Переизлучающее оптоволокну вклеивается в канавку на одной из поверхностей сцинтилляционной пластины. Размеры сцинтилляционной пластины для адронного калориметра СВМ составляют $200 \times 200 \text{ мм}^2$, толщина 4мм. Канавка для вклейки оптоволокну имеет форму окружности. Для калориметра МРД поперечные размеры пластины – $150 \times 150 \text{ мм}^2$, толщина – 4мм, канавка имеет форму спирали.

Цель данной работы заключалась в исследовании световых выходов сцинтилляционных пластин. Величина световых выходов является важной характеристикой как для определения энергетического разрешения всего калориметра, так и для определения возможности его калибровки на пучках мюонов.

Измерения световых выходов отдельных сцинтилляционных пластин проводились в ИЯИ РАН на измерительном стенде, позволяющем

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика проводят измерения с источником β -излучения ^{90}Sr . Для отбора событий, вызванных попаданием электронов в исследуемую пластину, под образцом пластины был установлен фотоэлектронный умножитель HAMAMATSU R7525 с пластмассовым сцинтиллятором диаметром 25мм, питаемый от отдельного источника высокого напряжения (CAEN Mod.N126). Сигнал от МРРС через предусилитель с коэффициентом усиления 300 подавался на входной канал быстрого 16+1 канального АЦП CAEN DT 5742 с частотой дискретизации 5ГГц. Для запуска АЦП использовался сигнал с ФЭУ. Оцифрованные сигналы считывались через шину USB и обрабатывались с помощью компьютера.

На Рис.1 показаны результаты измерений световыхода вдоль диагонали сцинтилляционных пластин для калориметров СВМ и МРД, выполненные с шагом 2 см.

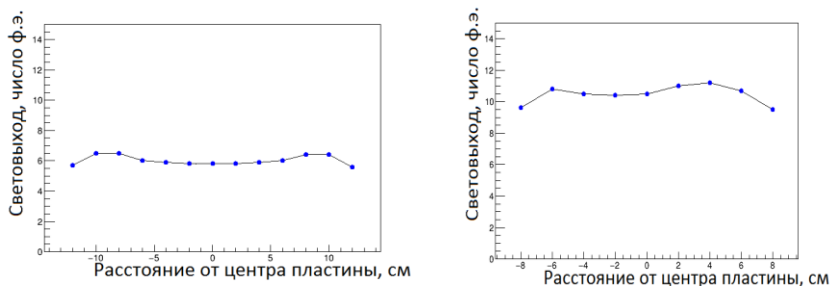


Рис1. Слева, зависимость световыхода от точки прохождения мюонов вдоль диагонали пластины для модуля калориметра СВМ. Справа, аналогичная зависимость для пластины модуля калориметра МРД.

Удельный световыход составил 7.5 ± 0.4 фотоэлектронов/МэВ для пластины модуля калориметра СВМ и 13 ± 0.7 фотоэлектронов/МэВ для пластины модуля калориметра МРД. Полученные значения световыходов сцинтилляционных пластин удовлетворяют предъявляемым требованиям к создаваемым калориметрам.

Литература

1. J. Bielcik *et al.*, Technical Design Report for the CBM experiment. <https://repository.gsi.de/search?p=id:%22GSI-2015-02020%22>
2. И.Н. Мешков и др., Технический проект ускорительного комплекса NICA. http://nucloweb.jinr.ru/nica/TDR/2015/TDR_Volume_1.pdf

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РОССИЙСКИЕ МЕТОДИКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
РЕАКТОРНЫХ АНТИНЕЙТРИНО**

Курсанова Ю. А., Иванов А. В.

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград
89020082880, yuyuyu@mail.ru*

Нейтрино является самой загадочной и самой мало изученной частицей во Вселенной. История ее изучения началась более 80 лет назад, после того, как Вольфганг Паули теоретически предсказал существование нейтрино. Экспериментально частица была обнаружена в 1956 г. Позднее был сделан вывод о существовании двух разных нейтрино: одно рождается в β^+ , другое в β^- распаде. В опыте Р. Дэвиса на ядерном реакторе было показано, что это разные частицы – нейтрино и антинейтрино[1]. Во второй половине XX века были открыты еще два типа нейтрино: мюонное и таонное со своими античастицами. Всего сейчас известно три активных типа нейтрино: электронное, мюонное и таонное.

Важную роль в развитии нейтринной физики играют ядерные реакторы. С их помощью ядерных было сделано три важных открытия в физике нейтрино: обнаружение нейтрино, подтверждение существования осцилляций солнечных нейтрино, а также были открыты осцилляции электронных нейтрино в таонные.

Бурная постановка нейтринных экспериментов на ядерных реакторах началась в 80х годах прошлого столетия, после обнаружения нехватки солнечных нейтрино. Одним из объяснений этого феномена были нейтринные осцилляции[2]. Сразу после этого начались эксперименты по поиску нейтринных осцилляций. В Советском Союзе этим занимались две группы: одна на Ровенской АЭС, другая на реакторе в Красноярске. Все группы экспериментов на Ровенской АЭС названы экспериментами на близких расстояниях, т.к. расстояния до ядерного реактора в этих измерениях не превышали 100 м. В Красноярске же из-за недостатка финансирования до экспериментов дело так и не дошло. В проводимых опытах осцилляций обнаружено не было. Результаты экспериментов, как правило, представляли в виде графиков ограничений на параметры осцилляций. Следующим нейтринным экспериментом в СССР стал

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика галлий-германиевый эксперимент, идея основной реакции которого была предложена еще в 1965г. В.А. Кузьминым. Позднее, в 1989 году, стартовала установка на Кавказе в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН. А эксперимент с галлием в БНО продолжается до сих пор. Также в настоящее время в России проводятся два эксперимента, использующих относительный метод измерения: на Калининской АЭС и в НИИ ядерных реакторов в Димитровграде. Один эксперимент разработан коллаборацией ИТЭФ-ОИЯИ-ИЯИ и называется DAANS. В качестве детектора используется сильно секционированный детектор на базе пластического сцинтиллятора. Этот детектор первоначально был предложен для дистанционного контроля работы реактора, но сейчас он выполняет множество и других задач. Он полностью соответствует требованиям МАГАТЭ. Второй эксперимент предложен ПИЯФ в коллаборации с Курчатовским институтом. Его назвали NEUTRINO-4 с указанием цели поиска 4-го состояния нейтрино. В нем используется длинный секционированный детектор вблизи реактора СМ-3, выбранного из-за компактного размера, чтобы источник мог считаться точечным, и в нем не происходило размывания спектра за счет осцилляций. Осцилляции регистрируются только в детекторе.

Использование детекторов антинейтрино становится чрезвычайно актуальным в силу следующих обстоятельств. Во-первых, меняется характер эксплуатации уже построенных АЭС. Существенно увеличивается длительность кампаний, что ведет к пересмотру старых методов контроля работы реактора. Во-вторых, намечено строительство нового поколения реакторов на быстрых нейтронах (РБН), длительность топливного цикла которых может составлять три–четыре года. Отсутствие прямых методов контроля работы РБН в реальном масштабе времени при столь продолжительных кампаниях может привести к снижению эффективности их работы. Поэтому в современном мире задача детектирования реакторных антинейтрино становится всё более значимой для атомной энергетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Мухин, К. Нейтрино: вчера, сегодня, завтра // Наука и жизнь. – 2014. – № 3,4. – С. 4 – 12.
2. Биленький, С. М. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов. – М.: Энергоиздат, 1981. – С. 216.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СМЕШАННОГО
НИТРИДНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК**

**Кривов М.П.^{1,2}, Киреев Г.А.², Тенишев А.В.¹, Скупов М.В.²,
Глушенков А.Е.²**

1. НИЯУ МИФИ, Москва

*2. АО «ВНИИИМ им. академика Бочвара», Москва
конт. тел.: +7-915-178-19-39, e-mail: jiettprekoh@mail.ru*

Использование в быстрых реакторах, типа БРЕСТ, мононитридного уран-плутониевого топлива высокой плотности (свыше 12 г/см³) [1-2] и теплопроводности (свыше 15 Вт/(м·К)) позволяет обеспечить КВА ≈ 1.06 , с отказом от уранового blankets, возможность работы в равновесном режиме с минимальным запасом реактивности, исключая производство плутония оружейного качества [3].

Однако при повышенных температурах, не достигая температуры плавления, нитридное топливо разлагается на газообразный азот и жидкий металл (уран, плутоний).

Необходимо подчеркнуть, что появление жидкой фазы урана или плутония недопустимо в процессе эксплуатации нитридного ядерного топлива в связи с их высокой химической активностью и, соответственно, высокой скоростью взаимодействия с конструкционными материалами.

Поэтому при использовании нитридного топлива в ядерном реакторе необходимо иметь надежные данные о термохимической стабильности нитридного топлива в исходном состоянии и в процессе облучения в широком диапазоне температур. В связи с этим **целью данной работы** стали изучение кинетики диссоциации СНУП топлива.

Методика исследования термостабильности была основана на термогравиметрических измерениях в атмосфере гелия, совмещенных с масс-спектрометрическими измерениями отходящих газов на квадрупольном масс-спектрометре, и последующем микроанализе образцов на электронном микроскопе. В качестве образцов для ис-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика следования использовали спеченные таблетки нитридов, полученные карботермическим синтезом из исходных диоксидов урана и плутония.

Эксперименты по определению термохимической стабильности проводились по методике, описанной в работе [4].

В результате проделанной работы получены новые термогравиметрические данные по нитриду урана и смешанному нитридному топливу:

-установлено, что смешанный нитрид начинает интенсивно испаряться при более низких температурах, чем нитрид урана. Скорость потери массы смешанного нитрида при температуре 2000 °С выше, чем нитрида урана при температуре 2100 °С;

-по результатам микрорентгеноспектрального анализа исследуемых образцов установлено, что в смешанном уран-плутониевом нитриде потеря массы происходит преимущественно за счет нитрида плутония;

На основании этих данных для безопасных условий эксплуатации твэлов с гелиевым подслоем температура в центре топлива не должна превышать 1700 °С.

Литература

1. Б.Р. Котельников, С.Н. Башлыков, А.И. Каштанов, Т.С. Меньшова. Высокотемпературное ядерное топливо. (М.: Атомиздат. 1978).

2. K. Spear, J. Leitneker. A consistent set of thermodynamic values for plutonium mononitride . Journal of the American Ceramic Society. Vol.51. Issue 12. P.706-709 (1968).

3. Б.Д. Рогозкин, Н.М. Степеннова, А.А. Прошкин. Мононитридное топливо для быстрых реакторов. Атомная энергия. Т.95. № 6. С.428-438 (2003).

4. V.G. Baranov, A.V. Tenishev, R.S. Kuzmin, S.A. Pokrovskiy, V.V. Mikhilchik, V.A. Astafyev, E.S. Solntseva. Thermal stability investigation technique for uranium nitride. Annals of Nuclear Energy. Vol.87. P.784-792 (2016).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СТАТУС РАДИОИЗОТОПНОГО КОМПЛЕКСА РИЦ-80 И
РАЗРАБОТКА МИШЕННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА МЕДИЦИНСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ**

***Кротов С.А.^{1,2}, Ермоленко Ю.Е.¹, Барзах А.Е.², Батист Л.К.²,
Федоров Д.В.², Иванов В.С.², Мороз Ф.В.², Молканов П.Л.², Орлов
С.Ю.², Волков Ю.М.², Пантелеев В.Н.²***

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет,

² НИЦ «Курчатовский институт», ПИЯФ,

Санкт-Петербург, Россия

Аспирант, лаборант-исследователь

krotilla@gmail.com

В НИЦ «Курчатовский Институт», ПИЯФ был сконструирован циклотрон высокой точности С-80 с энергией выведенного протонного пучка 40-80 МэВ и силой тока до 200 мкА. В настоящий момент идет работа по оптимизации внешнего протонного пучка. Основной целью С-80 является производство медицинских радионуклидов для диагностики и терапии различных заболеваний. Данный циклотрон также предназначен для лечения заболеваний органов зрения путем облучения злокачественных образований внутри глаза. На пучке циклотрона С-80 был сконструирован радиоизотопный комплекс РИЦ-80 (Радиоизотопный комплекс на циклотроне С-80), обеспечивающий получение источников высокой активности практически для всего перечня медицинских радионуклидов, произведенных в ускорителях. Важной особенностью РИЦ-80 является использование масс-сепаратора, обеспечивающее производство разделенных радионуклидов высокой степени чистоты, имеющих большое значение для медицинских целей. В настоящее время на РИЦ-80 разрабатываются мишенные прототипы для производства радионуклидов. В данном обзоре представлены результаты испытания различных мишенных материалов для производства радиоизотопов ^{67}Cu , ^{82}Sr , $^{223,224}\text{Ra}$ и других элементов.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЗАВИСИМОСТИ МИНИМАЛЬНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО
КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ДАВЛЕНИЯ В
ЖИДКОМ АЗОТЕ**

***Кузьменков Д.М., Литвинцова Ю.Е., Марченко А.С., Лауар С.,
Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
тел. +7(963)619-97-60, e-mail: dmittii.kuzmenkov@mail.ru*

Наступление кризиса теплоотдачи в теплообменном оборудовании приводит к существенному увеличению температуры охлаждаемой поверхности, что может привести к разрушению устройства. В работах [1, 2] показано, что для жидкого азота при резком увеличении мощности тепловыделения в нагревателе от нулевого уровня кризис теплоотдачи происходит при тепловых потоках q значительно ниже, чем величина первого критического теплового потока $q_{кр1}$ [3], полученного при медленном увеличении тепловой нагрузки. Будем называть минимальную величину теплового потока, при которой происходит кризис кипения при импульсном тепловыделении, нестационарным критическим тепловым потоком $q_{кр, мин}$.

В предыдущих работах [4] авторами было проведено теоретическое исследование условий наступления кризиса теплоотдачи при импульсном тепловыделении и разработана модель, позволяющая рассчитать значение минимального нестационарного критического теплового потока в зависимости от давления и рода жидкости. Была получена формула для расчета $q_{кр, мин}$ при набросе мощности тепловыделения в приближении плоского нагревателя:

$$q_{кр, мин} = \frac{2}{Ra_{кр}^{1/3}} \left(\frac{\lambda^3 \cdot \Delta T_{пр}^4 \cdot g \cdot \beta}{\nu \cdot a} \right)^{1/3} \quad (1)$$

В данной работе представлены экспериментальные данные по влиянию давления на величину $q_{кр, мин}$ в жидком азоте. На рис. 1 показан график зависимости критических минимальных тепловых потоков от приведенного давления. Как видно из рисунка, при давлениях, меньших граничного значения $p_{гр} \approx 2$ атм., эксперимен-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 тальные данные хорошо совпадают с расчетом по формуле (1). При
 давлениях выше граничного, экспериментальные значения
 $q_{кр, мин}$ оказались весьма близкими к значениям второго критиче-
 ского теплового потока [5]:

$$q_{sp2} = 0,03 \cdot r \cdot \rho'' \sqrt{\frac{\sigma \cdot g \cdot (\rho' - \rho'')}{\rho'^2}} \left[\frac{72b^2}{d^2} \left(\frac{d^2}{2b^2} + 1 \right) \right]^{\frac{1}{4}}, \quad (2)$$

где b - постоянная Лапласа.

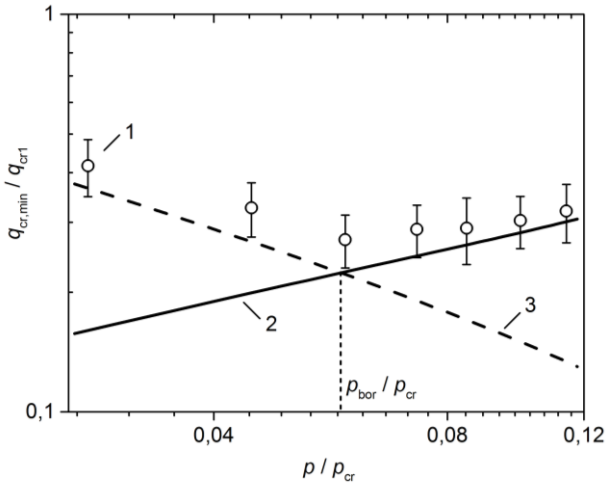


Рисунок 1. Зависимость критических тепловых потоков от приведенного давления в жидком азоте. 1 – экспериментальные данные; 2, 3 – расчет по формулам (1) и (2).

Заключение

На основе полученных экспериментальных данных проведено уточнение зависимости минимального нестационарного критического теплового потока от давления для жидкого азота. Знание величины $q_{кр, мин}$ необходимо для развития понимания не только физики кипения, но и для решения прикладных задач, таких как разработка систем охлаждения, особенно при стабилизации сверхпроводниковых устройств.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного
фонда (проект № 16- 19-10548).

Литература

1. Павленко А.Н. Кризис теплоотдачи при нестационарном тепловыделении и динамика смены режимов кипения в большом объеме криогенной жидкости: Дис. канд. физ.-мат. наук // Сибирское отделение АН СССР, Институт теплофизики. Новосибирск, 1990.

2. Deev V.I., Kharitonov V.S., Kutsenko K.V., Lavrukhin A.A., Transient boiling crisis of cryogenic liquids // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2004, Vol. 47, pp. 5477 - 5482.

3. Жилов Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А., Зависимость нестационарного критического теплового потока от давления в различных криогенных средах // Тезисы докладов V Международной молодежной научной школы-конференции «Современные проблемы физики и технологий», М: НИЯУ МИФИ, 2016, стр. 50-52.

4. Кутателадзе С.С., Основы теории теплообмена, М: Атомиздат, 1979.

5. K.H. Sun, J.H. Lienhard. The peak pool boiling heat flux on horizontal cylinders // International Journal of Heat and Mass Transfer, 1970, Vol. 13, P.1425-1439.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ПРОЦЕССЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ
МАТРИЦЫ ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ СВС**

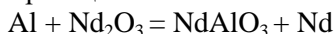
Кузьмин В.С.¹, Посохов Д.В.¹

¹*Томский политехнический университет, 634034, г.Томск, пр. Ленина, 30
конт. тел. 89234036474, e-mail: vsk23@tpu.ru*

В настоящее время на территории Российской Федерации накоплено порядка пятисот шестидесяти миллионов кубических метров радиоактивных отходов, 50% из которых находятся во временных хранилищах до дальнейшей переработки. [1]

На данном этапе реализованы два технологических процесса по иммобилизации РАО в матрицы, цементирование и использование матриц на основе стекла. С точки зрения экологической безопасности при хранении радиоактивных отходов в течении десятков и сотен тысяч лет стеклянные матрицы не могут быть использованы для иммобилизации отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды. В настоящее время активно продолжается поиск новых иммобилизационных материалов, лишенных данных недостатков [2].

Исходная шихта готовилась из расчета на прохождение следующей экзотермической реакции:



В результате нагревания исходного образца до температуры около 500 – 600 К (в зависимости от подготовки исходной шихты компонентов) на кромках торцов инициировалась волна горения, которая распространялась по объему образца.

В соответствии с рентгенофазовым анализом, наблюдается образование перовскитной фазы в незначительных количествах порядка 10-12 %, Значительная часть алюминия не реагирует с образованием перовскита в следствии недостаточного энергетического выхода реакции.

В целях получения наиболее подходящего по характеристикам результата были подготовлены образцы с различным содержанием никелевой добавки (10-30 вес. %), как одним из методов управления СВС, и различным давлением прессования (15-30 МПа).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Кроме того, введение никеля в шихту компонентов должно приводить к образованию различных аллюминидов никеля, а включение Ni_2Al_3 способно увеличить прочностные характеристики вследствие искаженной кристаллической решетки.

Использование механической активации позволяет увеличить химическую активность вещества за счёт увеличения его внутренней энергии. Подобный процесс возможно осуществить в устройствах, реализующих различные механизмы силового воздействия на шихту; в результате приобретенная механическая энергия накапливается в виде структурных дефектов кристаллической решетки. Запасенная энергия, полученная под воздействием механической активации, высвобождается при проведении синтеза с повышением температуры, таким образом, использование механоактивации позволяет расширить характеристики горения системы.

Под действием механической активации происходит уменьшение размера частиц, тем самым увеличивается площадь контакта частиц в смеси, повышается реакционная способность твёрдых реагентов, уменьшается температура инициирования реакции, снижается пористость, повышается прочность, улучшаются пластические свойства материалов.

В результате механической активации достигается более однородная структура исходного образца, увеличивается поверхность соприкосновения компонентов смеси, так как частицы становятся более мелкими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов В.И., Калюжная Т.А., Кузубова Л.И., Лаврик О.Л. Радиоактивные отходы: экологические проблемы и управление // Библиограф. обзор в 3 ч. Ч. 2. Хранение радиоактивных отходов. Новосибирск, 1998. С. 229.
2. Петров Г. А.; под ред. Мержанова А. Г. Инновационные энергосберегающие технологии переработки радиоактивных отходов. – М.: Книжный мир, 2012. – С. 122 – 123.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ${}^6\text{He} + \text{Si}$ и ${}^9\text{Li} + \text{Si}$
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ ПУЧКА В 5 - 50 МэВ/НУКЛОН**

Н.А. Лащманов^{1,2}, ***Ю.Э. Пенионжкевич***^{1,2}, ***Ю.Г. Соболев***¹,

¹ *Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980, Дубна, Россия*

² *МИФИ, Национальный исследовательский ядерный университет, 115409, Каширское шоссе- 31, Москва, Россия; конт. тел. 8-925-299-69-95 e-mail : nikita10630@mail.ru*

Представлены описание установки 4 π гамма – спектрометра, используемой в эксперименте, трансмиссионные методики, с помощью которых проводилось прямое измерение $\sigma_{\text{K}}(E)$ [1-3]. Получены результаты полных сечений реакций с пучками экзотических ядер (${}^6\text{He}$, ${}^9\text{Li}$) в диапазоне энергии пучка в 5 - 50 МэВ/нуклон. Проведен расчет функции отклика спектрометра с помощью кода Монте-Карло Geant-4.

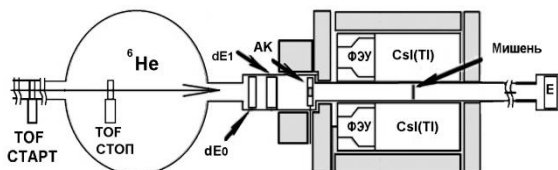


Рис.1 Схема установки для измерения полных сечений реакций методом 4 π сцинтилляционного γ -спектрометра.

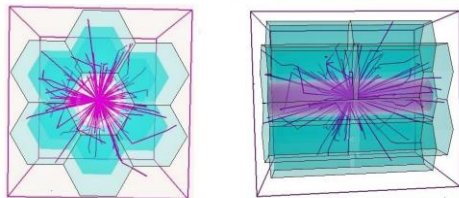


Рис.2 3D-вид 4 π - γ спектрометра установки MULTI

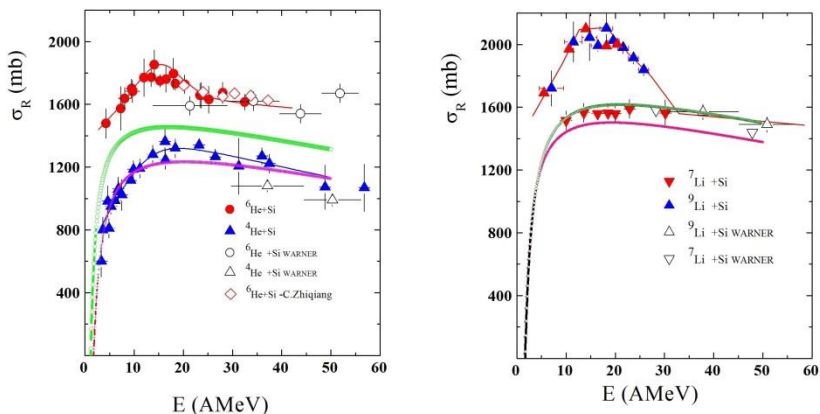


Рис.3. Энергетические зависимости полных сечений реакции ${}^6\text{He} + \text{Si}$ (слева) и ${}^9\text{Li} + \text{Si}$ (справа). [4-6]

Литература:

1.Соболев Ю. Г., и др. // Изв. РАН Сер. физ. 2005. Т. 69. С. 1603 -1608;

2.Yu.G. Sobolev, Yu.E. Penionzhkevich et al. // Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei, EXON 2014 (Kaliningrad, Russia, 8-13 September 2014). 2015. P. 147.

3.Ю. Г. Соболев и др. «Установка для измерения полных сечений ядерных реакций». Приборы и техника эксперимента, 2012, № 6, с. 13–19

4.A.Ingemarsson, J.N yberg, P.U. Renberg, et al., Nucl.Ph ys. A 676, 3 (2000).

5.Warner R.E., Patty R.A., Voyles P.M., Nadasen A., Becchetti, F.D., Brown J.A., Esbensen H., Galonsky A., Kolata J.J., Kruse J., Lee M.Y., Ronningen R.M., Schwandt P., von Schwarzenberg J., Sherrill B.M., Subotic K., Wang J., Zecher P. Total reaction cross section of 20-60 AMeV 4,6,8He, 6-9,11Li and 10Be on Si // Phys. Rev. C, 1996. V.54, No 4. P.1700-1709.

6. CHEN Zhi-Qiang, HIGH ENERGY PHYSICS AND NUCLEAR PHYSICS, Vol. 31, No. 1,Jan., 2007

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ПОИСК ДОЛГОЖИВУЩИХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ПОЛЕВЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ**

Лизунова М.А.^{1,2}, Кудрявцев А.Е.³

¹ *Утрехтский университет, Утрехт*

² *Амстердамский университет, Амстердам*

³ *НИИ «Курчатовский институт» ИТЭФ им. Алиханова, Москва
+31626734628, mary.lizunova@gmail.com*

В данной работе велся поиск новых долгоживущих состояний в классической теории поля φ^4 в рамках (1+1) измерений.

В работе использовался метод «разрезания и вставки» (Рис.1) для конструирования начального условия для численного решения уравнения движения. В результате были найдены новые долгоживущие состояния в различных топологических секторах.

В предыдущих работах [1] было обнаружено долгоживущее связанное состояние бион в столкновениях кинка K и антикинка \bar{K} . В текущей работе в нетопологическом секторе был получен новый качественный способ описания формы ранее наблюдаемого биона.

В секторе с нетривиальным топологическим зарядом найдены высоковозбужденные состояния над кинком [1]. Обнаружено несколько путей сброса энергии. Кроме испускания волновых пакетов малой амплитуды было, впервые, обнаружено явление рождения $K\text{-}\bar{K}$ пар, как один из способов сброса энергии. При этом происходит смена топологического заряда кинка, находящегося в центральной зоне локализации решения. При меньших энергиях возбуждения возникает долгоживущее колебательное возбужденное состояние кинка. Явление колеблющегося кинка [2] является конечной стадией всех рассмотренных способов возбуждения. Такое возбужденное состояние кинка с течением времени переходит в линеаризованное, ранее известное решение - дискретную моду возбуждения кинка.

Несмотря на большое количество новых результатов, метод «разрезания и вставки» в применении к модели φ^4 имеет широкий спектр нерешенных вопросов.

Данные исследования направлены не только в сторону теории поля. Ожидается, что найденные решения с большой вероятностью

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика способны реализовываться на ранних этапах эволюции Вселенной в астрофизике. Результаты данной работы опубликованы [3].

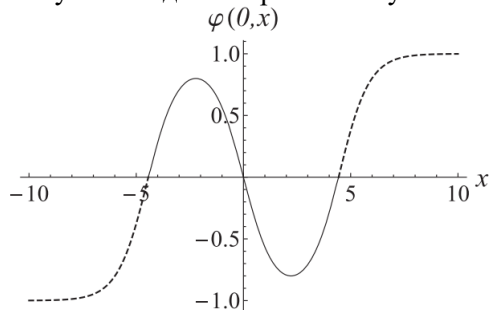


Рис.1 Формирование начального условия методом «разрезания и вставки». Начальное условие формируется из двух половин кинка (штриховая линия), между которыми вставлен один период эллиптического синуса (сплошная линия).

Литература

1. Т.И. Белова и А.Е. Кудрявцев. Солитоны и их взаимодействия в классической теории поля. Успехи Физических Наук. Т.167 Стр.377-406 (1997) [T.I. Belova and A.E. Kudryavtsev. Physics-Uspekh. Solitons and their interactions in classical field theory. Vol.40 P.359-386 (1997)].
2. О.Ф. Окстоби и И.В. Барашенков. Асимптотическое разложение для раскачивающегося кинка. Теоретическая Математическая Физика. Т.159 Стр.527-535 (2009) [O.F. Oxtoby and I.V. Barashenkov. Asymptotic expansion of the wobbling kink. Theoretical and Mathematical Physics. Vol.159 P.863-869 (2009)].
3. А.Е. Kudryavtsev and M.A. Lizunova. Search for long-living topological solutions of the nonlinear φ^4 field theory. Physical Review D Vol.95 P.056009 (2017).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЛИВНЕВАЯ УСТАНОВКА КЛАСТЕРНОГО ТИПА
НЕВОД-ШАЛ**

Ликий О.И., Шульженко И.А., Яшин И.И.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия
Тел.: 8 (965) 116-72-06, e-mail: OILikiy@mephi.ru*

В НИЯУ МИФИ на базе экспериментального комплекса (ЭК) НЕВОД создается установка НЕВОД-ШАЛ [1, 2], предназначенная для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) в диапазоне энергий первичных космических лучей 1015-1017 эВ. Установка будет работать совместно с черенковским водным детектором НЕВОД [3] и координатным детектором ДЕКОР [4], а также с установками УРАН [5] и ТРЕК [6], которые сейчас также создаются на базе ЭК. Она позволит определять положение оси, мощность и направление прихода ШАЛ, регистрируемых перечисленными выше установками и детекторами экспериментального комплекса. Так как НЕВОД-ШАЛ создается на территории университета с плотной застройкой и ее детектирующая система не может быть развернута в единой плоскости, как это делается во многих установках для регистрации ШАЛ, при ее создании используется кластерный подход к организации регистрирующей системы и анализу экспериментальных данных.

Кластер представляет собой независимый элемент установки, который включает 16 счетчиков для регистрации электрон-фотонной компоненты ШАЛ, разделенных на четыре детектирующие станции (ДС) и объединенных регистрирующей электроникой кластера. Электроника кластера осуществляет оцифровку аналоговых сигналов со счетчиков, отбор событий в соответствии с заданной кратностью срабатывания ДС в течение установленных временных ворот, формирование временной метки событий и мониторинг рабочих параметров кластера. Информация о зарегистрированных событиях и мониторируемых параметрах поступает в центральный пункт управления, сбора и обработки данных. События ШАЛ формируются из локальных событий, зарегистриро-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
ванных различными кластерами, в соответствии с их временными
метками.

В 2015-2016 гг. была создана и введена в эксплуатацию первая
очередь центральной части установки НЕВОД-ШАЛ, которая со-
стоит из четырех кластеров, размещенных на различных высотах
на площади 104 м² вокруг ЭК НЕВОД. Тестовые и эксперимен-
тальные серии, проведенные на 4 кластерах центральной части
установки показали возможность использования кластерного под-
хода для регистрации и последующего анализа данных.

В докладе обсуждаются особенности кластерного подхода и ре-
гистрирующей системы ливневой установки НЕВОД-ШАЛ. При-
водятся характеристики кластеров ливневой установки и их основ-
ных элементов.

Литература

1. Шульженко И.А. и др. Статус эксперимента НЕВОД-ШАЛ. // Известия РАН. Серия физическая. Т. 79, № 3, с. 425, 2015.

2. Yashin I.I. et al. EAS array of the NEVOD Experimental Complex. // Journal of Physics: Conference Series, 2015, 632 (1), art. no. 012029.

3. В.М. Айнутдинов и др. НЕВОД – многоцелевой черенковский детектор на поверхности Земли // Инженерная физика. Т. 4. с. 71. 2000.

4. М.Б.Амельчаков и др. Координатный детектор ДЕКОР для исследования космических лучей под большими зенитными углами // Известия РАН. Серия физическая. Т. 66. № 11. С.1611. 2002.

5. Gromushkin D.M. et al. Project of the Uran array for registration of atmospheric neutrons // Journal of Physics: Conference Series, 675 (3), art. no. 032043. 2016.

6. Е.А. Задеба и др. Координатнотрековая установка на дрейфовых камерах для исследования космических лучей сверхвысоких энергий // Известия РАН. Серия физическая. Т. 79. № 3. с. 411, 2015.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ЭЛЕКТРОНОВ В МИКРОТРОНЕ**

Лозев Ю.Ю.¹, Башмаков Ю.А.^{1,2}, Дюбков В.С.¹

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

+7 (985) 842-43-25, ulozeev@gmail.com

Идея микротрона была выдвинута в ФИАНе академиком Векслером в 1944 г. [1]. Микротрон представляет собой циклический резонансный ускоритель электронов с переменной кратностью. Уникальные геометрические и энергетические параметры ускоренного в микротроне пучка делают привлекательным его использование в качестве, как инжектора электронов в синхротрон, так и в качестве драйвера в экспериментах по генерации когерентного терагерцового электромагнитного излучения, в лазерах на свободных электронах [2]. В настоящей работе с помощью компьютерного моделирования, произведен расчёт трехмерной динамики электронов в классическом микротроне ФИАН на энергию 6,5 МэВ. В качестве ускоряющего элемента используется цилиндрический резонатор, работающий в сантиметровом диапазоне волн. Основным отличием этого резонатора является наличие пролетных отверстий для ускоряемых электронов. Эффективность проводимого численного моделирования в значительной степени определяется корректностью представления ускоряющего электромагнитного поля в резонаторе. Произведена оценка доли электронов, испущенных термокатодом и попавших в пролетное окно резонатора. Детально изучен процесс захвата электронов, инжектированных с эмиттера в устойчивый режим ускорения на начальных круговых орбитах. Особое внимание уделено механизму формирования электронных сгустков. Исследовано влияние основных параметров микротрона (напряженности ускоряющего СВЧ поля и ведущего магнитного поля) на характеристики электронного пучка (энергетический разброс, поперечные и продольный размеры), выводимого из микротрона. Найдены значения основных параметров, отвечающие оптимальной настройке микротрона. Рассматриваемый микротрон служит инжектором синхротрона “Пахра” [3]. Этот микротрон

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика также может эффективно использоваться для изучения свойств тормозного и переходного излучений релятивистских электронов в сложных структурах. Результаты проведенного анализа могут послужить основой для повышения эффективности использования микротрона ФИАН.

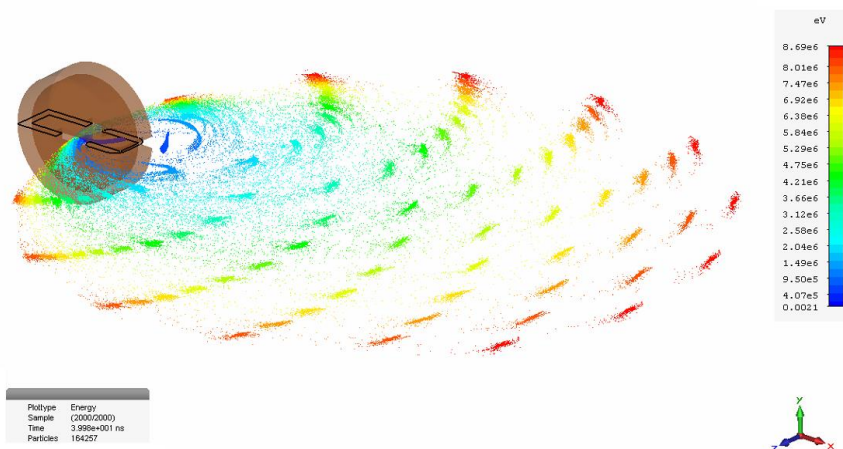


Рис.1. Динамика электронов в микротроне

Литература

1. Векслер В.И. // Докл. АН СССР, 1944, вып. 43, с. 346.
2. Kazakevich G.M. et al. //Phys. Rev. ST Accel. Beams, 2009, vol. 12, n. 4.
3. Субботин Г.Г., Серов А.В. “Квазинакопительный режим работы синхротрона “Пахра”. Препринт ФИАН, 2007.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕДНИХ
АДРОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ СВМ И MPD
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Лукьянов К.А.

*Московский физико-технический институт, Долгопрудный
Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва
+7 (903) 546-29-63, kirill.lukyanov@phystech.edu*

При изучении свойств сильно возбужденной адронной материи вопрос классификации событий по центральности и определение плоскости реакции являются одними из ключевых пунктов в эксперименте. Для выполнения этой цели используется передний адронный калориметр (FHCAL), модули для которого разрабатываются и конструируются в ИЯИ РАН [2].

Основными элементами этих модулей являются свинцовые пластины и сцинтилляционные пластины с вклеенным спектросмещающим оптоволоконном, которые вместе образуют последовательный ряд внутри модуля. Сцинтилляционный свет с этих пластин выводится на микропиксельные лавинные фотодетекторы НАМАМАТСУ MPPC S12572-010P [1], обеспечивающие большой динамический диапазон регистрируемых сигналов. Такой вид обеспечивает высокое энергетическое разрешение, однородное по всей площади детектора.

Цель данной работы заключалась в измерении основных характеристик лавинных фотодетекторов, таких, как усиление и оптическая связь, а также измерение зависимости усиления и напряжения пробоя от температуры.

Данные измерения проводились на специально собранном стенде в ИЯИ РАН. Сигнал, полученный при попадании фотонов на MPPC, проходил через предусилитель и подавался на АЦП, запускаемый с помощью триггера. Оцифрованные сигналы обрабатывались с помощью компьютера.

Для данных фотодиодов были измерены основные характеристики, такие, как усиление и оптическая связь, а также зависимости усиления и напряжения пробоя от температуры.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
Выводы, сделанные при исследовании этих характеристик, позволили более тонко настраивать считывающую аппаратуру для обеспечения большей эффективности в условиях изменения температуры окружающей среды.

Литература

1. Musienko Y., Reucroft S., Swain J. The gain, photon detection efficiency and excess noise factor of multi-pixel Geiger-mode avalanche photodiodes // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2006. V.567. P.57-61.

2. Golubeva M., et al. MPD Forward Hadron Calorimeter (FHCAL) Technical Design Report // http://nica.jinr.ru/files/TDR_MPD/Forward%20Hadron%20Calorimeter_April_2016.pdf

Лютова М.Э.¹, Некрасов С.А.²

^{1,2} ЮРГПУ (НПИ), Новочеркасск, sergey_novoch@mail.ru

Известны три классических модели двойного электрического слоя (ДЭС): Гельмгольца, Гуи-Чапмена и Штерна [1-4]. В связи с интенсивными исследованиями в области квантовой гидродинамики [2], теории сверхтекучести, криогенных свойств растворов изотопов гелия [3] существует интерес в учете квантовомеханических свойств ДЭС. Диффузный квантовый ДЭС описывается краевой задачей для потенциала самосогласованного поля φ и волновой функции ψ частиц плазмы раствора или газа:

$$\begin{aligned} \partial_x^2 \varphi &= -\left(q^+ C^+ + q^- C^-\right) / \varepsilon, 0 < x < L; \varphi(0, t) = u, \varphi(L, t) = 0, \\ i\hbar \partial_t \psi &= -\sum_{n=1}^N \hbar^2 / 2m_n \nabla_n^2 \psi + V\psi; \psi(0, t) = \psi(L, t) = 0, \end{aligned}$$

где x – расстояние от границы плазмы, t – время, L – ширина ДЭС, ε – диэлектрическая постоянная, C^\pm, q^\pm, m_n – концентрации, заряды и массы катионов и анионов, \hbar – постоянная Планка, V – потенциальная энергия системы. Моделирование квантового ДЭС осуществлялось на основе МКР. Его характеристики аналогичны классическому ДЭС, но имеют особенности: зависимость от массы ионов, несколько масштабов, в частности, d_0 – квантовый аналог радиуса Дебая: $d_0^4 = \hbar^2 \varepsilon / \left[4e^2 (m^+ + m^-) C_0\right]$. Исследовался как стационарный, так и динамический ДЭС, в том числе с учетом тока эмиссии, температуры и сортов частиц, газокINETического давления, молекулярного трения и т.п. На рис.1 даны графики потенциала и концентраций электронов и ионов при ширине ДЭС равной $d_0 \sim 0,18$ мкм, $u=0,01$ В, равновесная концентрация $C_0=10^{15}$ м⁻³, температура $T=5$ К (уровень Ферми $T_F < 0,001$ К). Этот вариант соответствует, например, случаю межзвездной плазмы или квантовым растворам. Результаты расчета: наибольшая концентрация анионов – $10^7 C_0$, катионов – C_0 , напряженность $E_0 \sim 0,4$ МВ/м. При $x=0,1d_0$

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика суммарная энергия электронов составляет практически 8% от его энергии в электрическом поле, а при $x=0,5d_0$ отрицательна и равна около -3% .

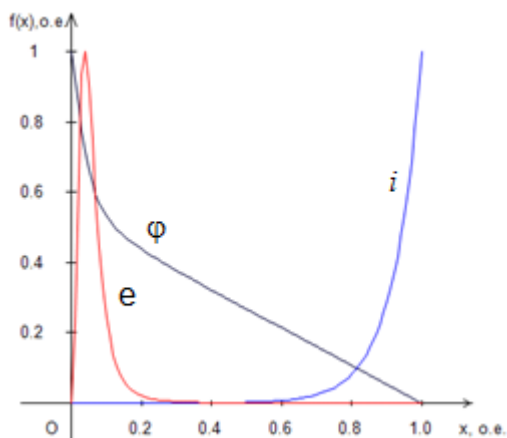


Рис.1. Графики потенциалов и концентраций ионов в стационарном ДЭС

Литература

1. А.Е. Дубинов, Л.А. Сенилов. О структуре заряженного приэлектродного слоя в плазме с вырожденными электронами. / ЖТФ. 2010. Т.80. В.6. С.46-52.
2. С.Г. Максимов. Проблемы микроскопической нерелятивистской квантовой гидродинамики. Дисс.. канд. физ.-мат. наук, 2000, Москва. 123 с.
3. Э. Коэн. Квантовая статистика и жидкие растворы ^3He в $^4\text{He}^*$. / УФН. 1979. Т. 129. В. 1. С.139-150.
4. S.A. Nekrasov. Calculating the Electrostatic Field in the Bulk of an Aqueous Solution // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2012, Vol. 86, No. 11, pp. 1730–1733.
5. Nekrasov S.A. Ion Transport in Electrolyte Flux under Magnetic Field. Russian Journal of Electrochemistry.2013.V.49.No 4. P. 307-312.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

Мамедов Заур Ильгам оглы

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г.
Москва
79266578055, ZaurMam@inbox.ru*

Для решения задач, связанных с распространением частиц в среде и взаимодействием излучения с веществом, широко применяются методы Монте-Карло (МК). Моделирование методом МК основано на прямом расчете траекторий отдельных частиц при вероятностном описании различных процессов. Для получения реалистичных результатов моделирование индивидуальных траекторий повторяется многократно.

В настоящей работе для проведения расчетов используется программный пакет MC Towhee [1]. С его помощью выполнен анализ зависимости точности рассчитываемых значений давления от количества молекул в системе при заданных температуре и плотности. Расчеты выполнены на примере плотного газообразного азота, взаимодействие молекул которого описывается модифицированным потенциалом Букингема (Ехр-6).

Для проведения исследования были выбраны системы, содержащие 125, 216, 512 и 1000 молекул азота. Параметры потенциала Ехр-6 для молекул азота заимствованы из [2]. Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2, где показана статистика отклонений расчетных значений давления (таблица 1) и внутренней энергии (таблица 2), выполненных с использованием пакета MC Towhee, от данных моделирования [2].

Таблица 1. Статистика отклонений расчетных значений давления от данных МК [1] в зависимости от числа частиц

Отклонение, %	Т, К	Число частиц в системе			
		125	216	512	1000
Среднее значение	505,5	0,301773	0,285732	0,076805	0,046622
	2022	0,125072	0,116453	0,047295	0,037575
	10110	0,147343	0,082564	0,053527	0,0126
	Σ	0,187905	0,159208	0,058582	0,032545
Максимальное значение	505,5	0,668005	0,553679	0,170899	0,059393
	2022	0,355558	0,299548	0,069783	0,076848
	10110	0,230827	0,155013	0,085356	0,03076
	Σ	0,668005	0,553679	0,170899	0,076848

Таблица 2. Статистика отклонений расчетных значений внутренней энергии от данных МК [1] в зависимости от числа частиц

Отклонение, %	Т, К	Число частиц в системе			
		125	216	512	1000
Среднее значение	505,5	2,622128	2,718044	2,549605	2,488589
	2022	0,295867	0,217535	0,055479	0,051037
	10110	0,142668	0,056962	0,040168	0,111503
	Σ	0,982097	0,956462	0,838263	0,839885
Максимальное значение	505,5	14,36395	14,55542	14,67106	14,60547
	2022	0,778767	0,699703	0,125031	0,09127
	10110	0,255224	0,097703	0,086227	0,148154
	Σ	14,36395	14,55542	14,67106	14,60547

Как видно из таблиц 1 и 2, увеличение числа частиц в системе приводит в повышению точности расчетов давления в системе при заданных температуре и плотности.

Литература

1. MCCCIS Towhee. <http://towhee.sourceforge.net>.
2. Fried L.E., Howard W.M. An accurate equation of state for the exponential-6 fluid applied to dense supercritical nitrogen // J. Chem. Phys. 1998. V. 109. P. 7338.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ТЕОРИИ С НАРУШЕННОЙ
ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНОСТЬЮ**

Маракулин А.О.¹

¹ *ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук
+79262617968, marakulin@physics.msu.ru*

Важнейшей проблемой современной теоретической физики является несовместимость принципов квантовой теории поля и общей теории относительности: вопросы построения непротиворечивой квантовой теории гравитации остаются открытыми. Выходом из сложившегося положения может стать ограничение области применимости ряда постулатов, на которых построена современная теория гравитации, и отказ от них на высоких энергетических масштабах. Одним из вариантов такой модификации теории является отказ от лоренц-инвариантности как фундаментальной симметрии. Ряд лоренц-нарушающих модификаций эйнштейновской общей теории относительности хорошо зарекомендовал себя с точки зрения лучшей совместимости с квантовой теорией поля: так, весьма перспективным представляется нерелятивистский подход к квантованию гравитации, предложенный П. Хоровой [1], основанный на замене лоренц-инвариантности требованием анизотропной масштабной инвариантности в области высоких энергий. Низкоэнергетический предел теории Хоравы - хронометрическая теория гравитации - является частным случаем так называемой теории Эйнштейн-эфир гравитации [2], в которой нарушение лоренц-инвариантности обеспечивается времениподобным векторным полем с единичной нормой, называемым эфиром, минимально связанным с эйнштейновской гравитацией.

Нарушение лоренц-инвариантности при высоких энергиях, как правило, приводит также к существенному нарушению в области низких энергий, поэтому интерес представляют модели, в которых лоренц-инвариантность образуется динамически как эффективная симметрия в пределе низких энергий. Один из таких механизмов основан на суперсимметрии [3]. Настоящая работа посвящена суперсимметричным моделям с нарушенной лоренцевой симметрией. Модели со скалярными и векторными супермультиплетами изуче-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика ны на компонентном уровне. Проведены построение и анализ суперсимметричных преобразований и лагранжианов для скалярного и векторного лоренц-нарушающих супермультиплетов в компонентах и проверка соответствия результатов аналогичным суперполевым моделям [4]. Найдено, при каких условиях существуют нетривиальные лоренц-нарушающие модели для скалярного и векторного супермультиплетов, а также какую роль при этом играет существование лагранжиана теории. Суперсимметричная модель гравитационного супермультиплета рассмотрена с использованием суперполевого формализма как суперсимметричное расширение модели Эйнштейн-эфир гравитации: подробно изучена теория линеаризованной гравитации с нарушенной лоренц-инвариантностью, основанная на конструкции суперполя эфира, гравитационного суперполя и линейного компенсатора, характерного для неминимальных моделей $N=1$ супергравитации [5]. Проведено сравнение теоретических и феноменологических следствий суперсимметричных лоренц-нарушающих моделей: скалярного, векторного и гравитационного супермультиплетов; рассмотрен вопрос о скоростях распространения малых возмущений различной спиральности.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С. М. Сибирякову.

Литература

1. Horava, P. Quantum gravity at a Lifshitz point. // *Physical Review D*, 2009, 79(8), 084008.
2. Jacobson, T. Einstein-aether gravity: a status report. arXiv preprint arXiv:0801.1547.
3. Pujolas, O., and Sibiryakov, S. Supersymmetric aether. // *Journal of High Energy Physics*, 2012, 1, 1-19.
4. Nibbelink, S. G., and Pospelov, M. Lorentz violation in supersymmetric field theories // *Physical review letters*, 94(8), 081601.
5. Marakulin, A., and Sibiryakov, S. Linearized supergravity with a dynamical preferred frame. arXiv preprint arXiv:1610.07805.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ДИАГНОСТИКА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛООБМЕНА В ЖИДКОМ АЗОТЕ С ПОМОЩЬЮ
АНАЛИЗА ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ТЕПЛООТДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

***Марченко А.С., Литвинцова Ю.Е., Кузьменков Д.М., Лауар С.,
Делов М.И., Маслов Ю.А., Куценко К.В., Лаврухин А.А.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
тел. +7(916)744-12-18, e-mail: marchenkoas@bk.ru*

При работе с теплообменным оборудованием представляет интерес возможность прогнозирования и диагностики переходных режимов от конвекции к пузырьковому кипению и от режима развитого пузырькового к пленочному кипению. В настоящее время известны методы, использующие для диагностики анализ температурных флуктуаций теплоотдающей поверхности. Первый метод основан на статистическом анализе дисперсии флуктуаций температуры [1]; второй метод использует анализ амплитудно-частотной характеристики флуктуаций температуры и нашел свое применение для предсказания наступления кризиса теплообмена [2]. Целью данной работы является апробация этих методик диагностики переходных режимов для жидкого азота, имеющего гистерезис кризиса кипения.

В экспериментах определялись мгновенные значения отнесенной к поверхности нагревателя генерируемой тепловой мощности $q(\tau)$ и соответствующий перегрев проволоки $\Delta T(\tau)$ относительно температуры жидкости. На рис. 1а представлена кривая кипения жидкого азота, полученная по усредненным значениям тепловых потоков и перегревов нагревателя при увеличении и уменьшении q . Как видно, кривая кипения имеет ярко выраженный гистерезис. На рис. 1б показана зависимость среднеквадратичного отклонения σ мгновенных значений перегрева нагревателя от q . При увеличении теплового потока в переходной области от конвекции к пузырьковому кипению (точки 4 и 5) наблюдается локальный максимум среднеквадратичного отклонения, в дальнейшем, при увеличении теплового потока вплоть до наступления кризиса теплоотдачи (точка 10), σ убывает.

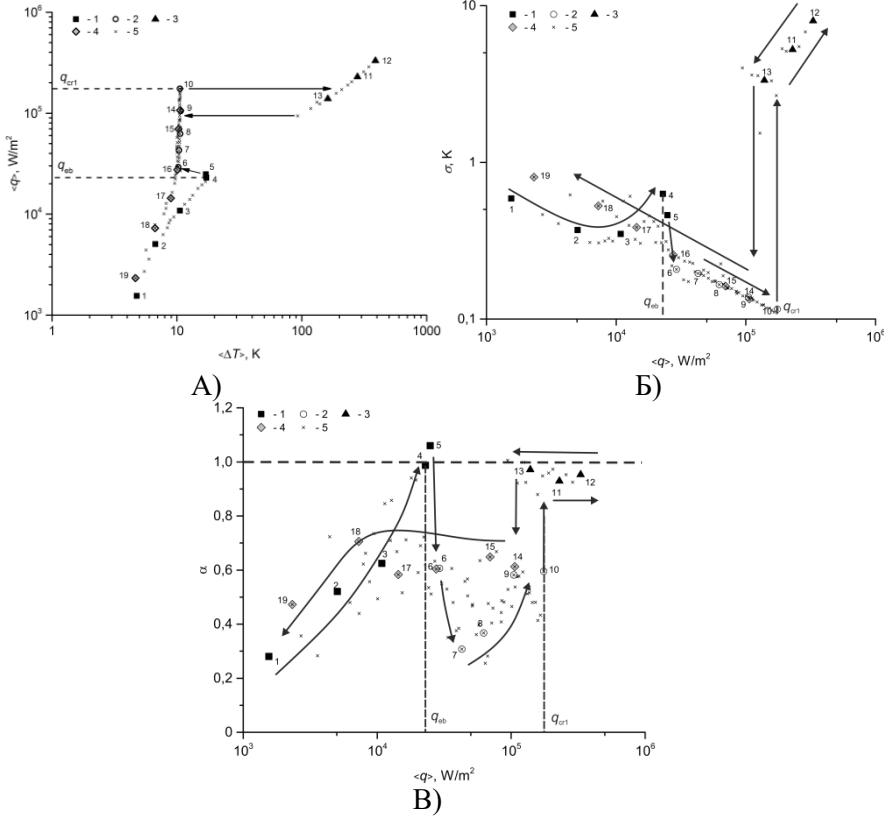


Рисунок 1. А – Кривая кипения жидкого азота, Б – зависимость сред-неквадратичного отклонения мгновенных значений перегрева нагревателя от теплового потока, В – зависимость показателя степени α от теплового потока. Символы: 1 – режим конвективного теплообмена, 2 – пузырьковое кипение при увеличении теплового потока, 3 – пленочное кипение, 4 – режимы пузырькового кипения и конвективного теплообмена при уменьшении теплового потока, 5 – общий массив экспериментальных данных.

Амплитудно-частотный анализ флуктуаций перегрева нагревателя проводился при помощи быстрого преобразования Фурье. Полученные зависимости амплитуды A температурных флуктуаций от частоты ν аппроксимировалась функцией вида $A = C \cdot \nu^{-\alpha}$. На рис. 1в показан график зависимости показателя степени α от средней величины теплового потока. При значениях тепловых потоков,

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика соответствующих закипанию жидкости (q_{eb} , точки 4 и 5) и наступлению кризиса теплоотдачи (q_{cr1} , точка 10), а также в закризисной области (точки 11-13), показатель степени приближается к единице (фликкер-шум), что характеризует наступление неравновесного фазового перехода в жидкости. Важно отметить, что данная зависимость также имеет гистерезис в области перехода от конвекции к пузырьковому кипению.

Заключение

На основе рассмотренных методов анализа температурных флуктуаций возможно прогнозирование перехода к пузырьковому кипению и наступления кризиса теплоотдачи. Использование предложенных методов позволяет создать автоматизированную систему для диагностики переходных процессов в криогенной технике. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16- 19-10548).

Литература

Lu J.F., Peng X.F., Bourouga B. Nucleate boiling modes of subcooled water on fine wires submerged in a pool // *Experimental Heat Transfer*. 2006. V. 19. № 2. P. 95–111.

Решетников А.В., Скоков В.Н., Коверда В.П., Скрипов В.П., Мажейко Н.А., Виноградов А.В., Фликкер-шум и самоорганизованная критичность в кризисных режимах кипения // *Прикладная механика и техническая физика*. 2002. Т. 43. № 1. стр. 131–136.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ**

Матророва М.Ю., Литвиненко О.В.

*инженерно-технологический институт – филиал Национального исследов-
вательского ядерного университета «МИФИ», Димитровград
+79278281197, IVIary.IVlatr@yandex.ru*

Анализ радиационно-химических превращений полимерных материалов, радиолиза веществ и определение радиационной стойкости являются актуальными исследованиями в связи с необходимостью создания новых композиционных материалов в атомной и авиационно-космической технике. Вследствие чего необходимо моделирование и изготовление устройств для помещения в радиационное поле материала, что и является целью данной работы. В качестве используемых материалов для армирования авиационно-космических композитов применяются как термо- так и реактопласты.

Один из терморезактивных полимеров – ДЦПД – полимер с уникальными потребительскими свойствами: низкой плотностью, высокой прочностью, устойчивостью при высоких и низких температурах, стойкостью к воздействию химических реагентов. Для исследования радиационной стойкости данного материала возникла необходимость разработки устройства конкретного формата из-за формы образцов ($20 \times 10 \times 2$ мм), полученных реакционно-инжекторным формованием.

В ходе моделирования устройства была предложена конфигурация конструкции согласно приложенной схеме (рис. 1).

Так как облучаемые образцы планируется часто менять, для удобства держатель (рис. 2) планируется выполнить в П-образной форме, что связано с формой исследуемого образца. Крепление держателя необходимо выполнить винтовым крепежом для возможности перемещения и фиксации, а так же для изменения дозой нагрузки варьированием расстояния, а не за счет экспозиции.

Размещение источника внизу установки обосновано тем, что при расположении излучателя над образцом происходит осаждение

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 выбитой пыли альфа-частицами [1] (или ядрами отдачи) с верхней
 плоскости источника.

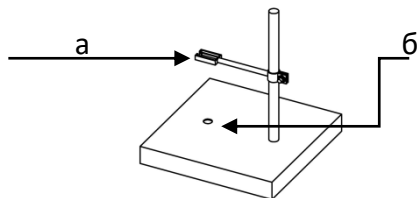


Рис.1. Схема устройства для облучения полимерных материалов, здесь
 а – держатель образцов, б – углубление для источника ^{244}Cm

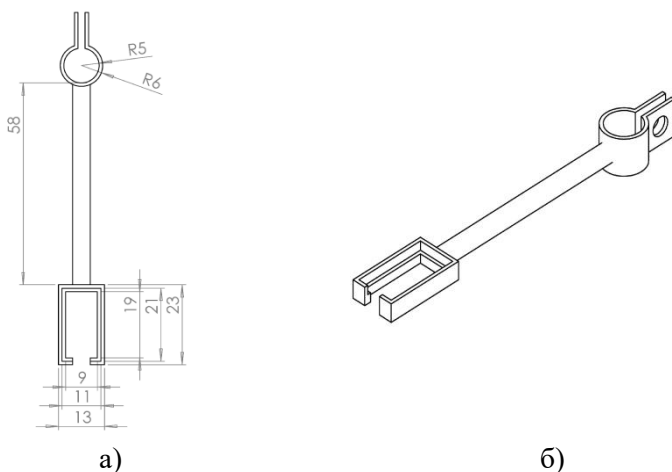


Рис.2. а) Держатель, вид сверху, б) Держатель, вид сбоку

Здесь $R5$ – внутренний радиус крепежа держателя, $R6$ – наружный диаметр крепежа держателя, размеры указаны в миллиметрах

Данное устройство должно обеспечить максимальное удобство и надежность для облучения исследуемых образцов, что в дальнейшем будет проверено экспериментально.

Литература

1. В.В. Кашковский. Специальный физический практикум. (Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2010).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПРОЦЕССОВ В
МНОГОПОЛОСКОВОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЕ**

Мельников А.А.

*МФТИ (ГУ), город Долгопрудный
8926 668 32 05, alex-9.06@mail.ru*

Задача: Разработка, изготовление, установка и наладка диагностического устройства для измерений импульсного тока, поперечных профилей и положения центра тяжести пучка протонов с параметрами: энергия протонов $100 \div 250$ МэВ; размер пучка по основанию $20 \div 50$ мм; частота следования импульсов $1 \div 50$ Гц; длительность импульса $10 \div 180$ мкс; импульсный ток $1 \div 1000$ нА.

Практическая значимость работы: Полученные результаты численного моделирования и аналитическая оценка ключевых рабочих параметров пропорциональной камеры лежат в основе изготовления реального прибора- измерителя малых токов для облучательного стенда ИЯИ. Разработанная и испытанная система неразрушающей диагностики пучка ускорителя позволяет проводить облучения образцов с контролем интенсивности и пространственно-временных характеристик пучка в режиме реального времени.

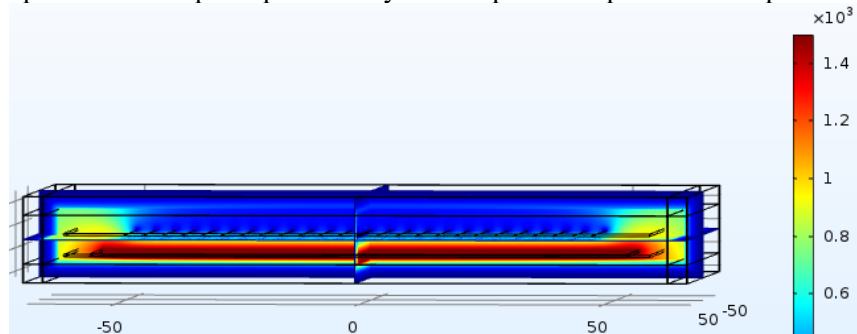


Рис.1. Распределение электрического потенциала(В) в камере при напряжении между полосками и плоским электродом 1500В

На основании полученной модели и теории прохождения заряженных частиц через вещество [3] и основ процессов газового разряда [1,2] были сделаны некоторые оценки. Например, напряжение пробоя камеры, а также необходимая разность потенциалов для

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
работы в пропорциональном режиме, количество первичных электронов ионизации от 1 частицы. Более того, учтены явления захвата электронов кислородом и рекомбинации. Определен лавинный коэффициент усиления системы и смоделировано количество электронов, прилетающих на каждую пластинку для определения пространственного разрешения. Расчеты учитывают, что ускоритель находится в тоннеле с влажным воздухом.

Литература

1. G. CHARPAK and F. SAULI. MULTIWIRED PROPORTIONAL CHAMBERS AND DRIFT CHAMBERS. CERN, Geneva. Switzerland (1979)
2. S.I. Potashev, S.V. Akulinichev. A thin-walled air-ionization chamber for proton therapy. Nuclear Instruments and Methods in Physics research (2004)
3. К. Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Москва. Энергоатомиздат (1983).

Монхоев Р.Д.¹ от коллаборации Тунка

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»,
Научно-исследовательский институт прикладной физики,
Иркутск, Россия.

89149443249, makaay08@rambler.ru

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande входит в состав единого экспериментального комплекса, расположенного в Тункинской долине (республика Бурятия, Россия) в 50 км от озера Байкал. Данный комплекс также включает в себя установку Тунка-133 [1], регистрирующую черенковское излучение ШАЛ, и установку Tunka-Rex [2], предназначенную для детектирования радиоизлучения ШАЛ. Задачей совместной работы установок является детальное изучение энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей в диапазоне энергий 10 ПэВ - 1000 ПэВ, а также поиск диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий 50 ПэВ - 500 ПэВ.

В докладе приведено описание экспериментального комплекса, представлены первые полученные результаты, указаны перспективы исследования космических лучей при одновременной регистрации черенковской и заряженной компонент, а также радиоизлучения ШАЛ, обсуждаются вопросы, связанные с определением потока диффузного гамма-излучения.

Литература

1. V.V. Prosin et al. Tunka-133: Results of 3 year operation. Nucl.Instrum.Meth. A756. P.94-101 (2014).
2. F.G. Schröder et al. The Tunka Radio Extension (Tunka-Rex): Radio Measurements of Cosmic Rays in Siberia. Nucl.Instrum.Meth. A824. P.652-654 (2016).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ
КОСМОЛОГИЧЕСКИХ СУПЕРСТРУН**

Мухаева А.И.¹, Сажина О.С.²

*1 Государственный университет «Дубна», г. Дубна, 89875957834,
mukhae-va.alfya@yandex.ru*

*2 Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга, МГУ, г. Москва*

Последнее время становится все более разнообразными типы теоретически возможных космических струн, которые характеризуются не только широким диапазоном энергий, но и принципиально различным происхождением. Работа посвящена поиску наблюдательной проверки гипотезы суперструн, а именно, выявлению наблюдательных характеристик, позволяющих различать типы космологических суперструн.

Натяжение космических струн описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}\mu_0 &= e^{-A(y)} * \mu_{p,q}^{(10)} \\ \frac{\delta T}{T} &= \frac{8\pi G \mu_0}{c^2} \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \\ F(\beta, \mu_0) &= \frac{\delta T}{T} \\ \mu_0 &= \frac{\Delta\theta}{8\pi} \frac{1}{(l_p)^2} \\ \mu_{p,q}^{(10)} &= \frac{1}{2\pi l_s^2} \sqrt{p^2 + \frac{q^2}{g_s^2}}\end{aligned}$$

Исходя из радиоданных космических миссий WMAP и Planck [2], а так же используя метод поиска гравитационно-линзовых событий, мы определили среднее значение дефицита угла [1] ($\Delta\theta = 5.14$).

Таким образом, используя следующие методы, были получены ограничения на натяжение космических струн:

Струнные моделирования сетей и поиск кумулятивных ограничений по реликтовому излучению;

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Поиск отдельных кандидатов в космические струны (алгоритм Саппу для экспериментов по измерению реликтового излучения), а так же метод свертки с ортонормальными функциями.

Итак, допустимый интервал для натяжения космологической FD-струны:

$$\left(\frac{\Delta\theta}{2''}\right)^2 \frac{10^{-10}}{16q^2} < G\mu_s$$
$$\frac{0.413 * 10^{-10}}{q^2} < G\mu_s$$

Заметим, что полученное ограничение не зависит от количества F-струн. Выражение согласуется с оценками других авторов ($10^{-12} < G\mu_0 < 10^{-6}$) и уточняет их сообразно наблюдательным данным. При больших, но допустимых наблюдениями, значениях дефицита угла (что соответствует меньшим скоростям движения струны), минимальное значение натяжения достигает величины порядка 10^{-9} . Для струн, движущихся с околосветовыми скоростями, минимальное значение натяжения становится порядка 10^{-12} .

Литература

1. Olga S. Sazhina, Diana Scognamiglio, Mikhail V. Sazhin. (2017). Observational constraints on the types of cosmic strings. arxiv.org.
2. P. A. R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, et al. (2014). Planck 2013 results. Searches for cosmic strings and other topological defects.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИ
ВОЗНИКНОВЕНИИ СПОНТАННЫХ
САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИХСЯ ТОКОВ**

Насыбулин С.А.^{1,2}, Гаврилов Г.Е.¹, Маев О.Е.¹, Майсузенко Д.А.¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт» ФГБУ ПИЯФ, Гатчина

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург

8 (911) 918-45-57, zonedad@mail.ru

Представленная работа посвящена разработке метода восстановления многопроволочных пропорциональных камер (МПК), в которых при работе в интенсивных радиационных полях возникают зоны с самоподдерживающимися спонтанными токами. Этот феномен является сегодня наиболее распространённым типом старения МПК и называется Мальтер эффектом (МЭ) [1].

Увеличение времени жизни детекторов в экспериментах на Большом адронном коллайдере (БАК) стало важной практической задачей, в связи с запланированным на 2018 год увеличением светимости пучка до $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. С ростом энергии и интенсивности пучков частиц в экспериментах протекание процессов старения в детекторах БАК будет только ускоряться.

Проявление МЭ в пропорциональных камерах приводит к искажению экспериментальных данных, аварийным сбросам высоковольтных систем питания, большим локально накопленным дозам на анодных проволочках и микропробоям в рабочем объёме. Уже сегодня многие МПК эксперимента LHCb периодически демонстрируют спонтанные мальтеровские токи при работе на пучке БАК. И проблема восстановления этих детекторов от проявлений МЭ уже сейчас является актуальной.

Появление МЭ вызвано образованием диэлектрической плёнки на катоде. Для подавления МЭ требуется удалить эту плёнку с катода либо значительно уменьшить её резистивность. До сих пор для подавления МЭ в рабочую газовую смесь добавлялись пары воды или спирта [2]. Однако эти добавки не устраняют, но лишь гасят мальтеровские токи, пока используется модифицированная газовая смесь. В связи с этим, а также из-за риска химического взаимодействия добавок с конструкционными материалами, данные

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика методы не применимы как для МПК эксперимента ЛНСб, так и многих других детекторов [3]. Поэтому в ЛНСб применяется высоковольтная тренировка в рабочей газовой смеси длительностью до 500-600 часов.

Для ускорения и улучшения эффективности восстановления разработан метод тренировки в разряде рабочей смеси с добавлением 2% кислорода. Этим методом восстановлены четыре МПК, снятые с установки ЛНСб из-за неоднократных проявлений МЭ. В результате применения новой методики восстановление рабочих характеристик МПК происходит всего за 4-6 часов, что на порядок быстрее используемых сегодня методов восстановления. Сравнение токов при тренировке МПК в рабочей газовой смеси и новой смеси с добавлением 2% O_2 представлено на Рис. 1.

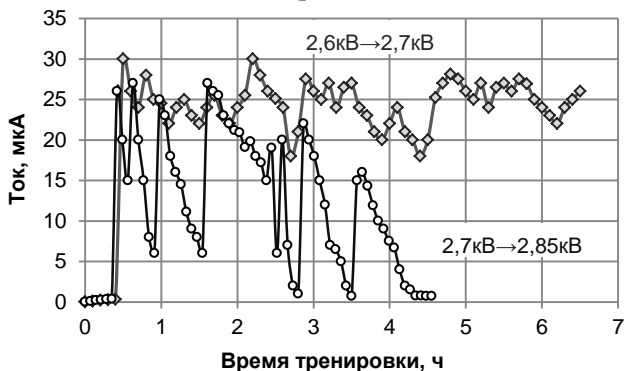


Рис. 1. Мальтеровские токи в процессе тренировки: \diamond в рабочей газовой смеси 55%Ar + 40%CO₂ + 5%CF₄ при напряжении 2.6-2.7 кВ
 \circ в рабочей смеси с 2%O₂ при напряжении 2.7-2.85 кВ.

Все МПК, восстановленные новым методом, успешно работают на пучке БАК, показывая долговременный характер достигнутых результатов. Очевидно, что данный метод восстановления может быть применён для детекторов в других экспериментах.

Литература

1. Malter L. Thin Film Field Emission. Physical Rev. V.50. (1936).
2. Belostotski S. et al. Extension of the Operational Lifetime of the Proportional Chambers in the HERMES Spectrometer. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. V. 591. P.353-366 (2008).
3. Va'vra J. Physics and Chemistry of Aging – Early Developments. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. V. 515. P.1-14 (2003)

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
СТИМУЛЯЦИЯ РАСТЕНИЙ МИКРОДОЗАМИ РАДИАЦИИ

Никитина Л.А., Степанов В.Е., Наумова К.А., Миронова В.П.

*«Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г.
Якутск*

к.т. 89142655273, 122nila@gmail.com

Известно, положительное воздействие радиации на рост и всхожесть растений. И эта стимулирующая доза облучения для культурных растений составляет 8 Зв[1]. В данной работе показаны результаты исследований влияния сверхмалых доз радиации на различные виды растений.

Объектом исследований были семена пшеницы сорта «Приленская 19», овса сорта «Покровский 9» и укроп сорта «Мамонт».

Всего имелось 3 образца для исследования влияния малых доз на семена овса и пшеницы: контрольный образец (50 шт); семена получившую дозу радиационного воздействия – 672 мкЗв (50 шт); помещенные в контейнер с калий-40 (3,024 мкЗв-50 шт.). Для исследования всхожести и скорости роста семян укропа были отобраны 3 образца облученные радионуклидами америция Am-241 (45 мкЗв -500 шт.), европия Eu-152 (29,1 мкЗв -500 шт.), калия-40 K-40 (15,3 мкЗв-500шт) и контрольный образец (500 шт.)

Семена овса и пшеницы проращивали до появления проростков при комнатной температуре 20°С на увлажненных марлях в чашах Петри. Семена укропа проращивали в коробках с землей в лаборатории при нормальных условиях.

Таблица 1. Результаты всхожести овса сорта «Покровский 9»

Дни	Контроль	K-40	Облученные дозы 672 мкЗв
3	0	4	6
4	9	13	12
5	18	24	20
6	24	35	32

Таблица 2. Всхожесть семян пшеницы сорта «Приленская 19»

Дни	Контроль	K-40	Облученные дозы 672 мкЗв
3	5	6	11
4	16	14	18
5	24	31	25
6	32	36	34

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Как показано в таблице № 1 на 6-й день у семян овса, облученных калием-40, всхожесть составляет 70%, у контрольного – 48 %, получивших дозу 672 мкЗв - 64%. Из таблицы 2 видно, что показатели всхожести семян пшеницы получивших дозу 672 мкЗв - 68%, контрольного образца – 64%, облученных калием-40 – 72%.

Таблица 3. Всхожесть семян укропа сорта «Мамонт»

Дни:	Контроль	К-40	Америций (Am)	Европий (Eu)
7 день	144	136	168	151
10 день	280	220	310	220
15 день	313	309	367	362

Таблица 3 отражает результаты всхожести семян укропа, у контрольных образцов всхожесть – 63%, облученных: калием – 62%, америем – 73%, европием – 72%.

Результаты исследования показывают, что по сравнению с контрольным образцом, у семян овса, стимулированных калием-40 и получивших дозу в 672 мкЗв, высота проростков выше 1.24 раза и в 1.14 раза. У семян пшеницы стимулированных К-40 и получивших дозу 672 мкЗв по сравнению с контрольным образцом, высота в 1.4 и 1.125 раз больше, соответственно. У всех семян укропа получившие радиационные дозы высота проростков выше, чем у контрольных образцов: по калию-40 в 1.24 раза, Am-241 в 1.15 раз, Eu-152 в 1.19 раз больше. Рассчитаем коэффициенты удельной дозовой эффективности по калию-40, америцию-241, европию-152 для семян укропа. По формуле:

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \frac{\text{всхожесть}(\%)}{\text{доза (мкЗв)}} \quad (1)$$

По К-40 $\varepsilon_{\text{эфф}} = 4,05$; Am-241 $\varepsilon_{\text{эфф}} = 1,62$; Eu-152 $\varepsilon_{\text{эфф}} = 2,47$

Доказано, что стимуляция растений калием-40 дают высокую эффективность радиационной стимуляции, это связано с тем, что энергия гамма излучения К-40 в 5 раз больше энергии гамма излучения дочерних продуктов распада урана 238(Pb-214).

Литература:

Гудков И.Н., Кудяшева А.Г., Москалёв А.А. Радиобиология с основами радиоэкологии : учебное пособие / И.Н. Гудков, А.Г. Кудяшева, А.А. Москалёв. – Сыктывкар :Изд-воСыктГУ, 2015.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫГОРАЮЩИХ
ПОГЛОТИТЕЛЕЙ В РЕКТОРАХ ТИПА ВВЭР-1000**

Николаев Ю.Ю., Савандер В.И.

НИЯУ МИФИ, г. Москва

В реакторах типа ВВЭР-1000 для повышения эффективности использования топлива применяются частичные перегрузки. После перегрузки реактор начинает новую кампанию с некоторым запасом реактивности, который необходимо скомпенсировать. Одной из главных систем компенсации избыточной реактивности является жидкостная система регулирования. Она обладает многими преимуществами, однако имеются и отрицательные моменты. В первую очередь это негативное влияние борного поглотителя, растворенного в замедлителе на температурный коэффициент реактивности по замедлителю-теплоносителю. Для противодействия этому эффекту в реакторах ВВЭР некоторая часть избыточной реактивности компенсируется выгорающим поглотителем. Присутствие выгорающего поглотителя в топливе влияет на вид функциональной зависимости коэффициента размножения ТВС от среднего выгорания топлива в ней и может привести к изменению среднего выгорания выгружаемого топлива. Поэтому желательно заранее оценить, при каких условиях выгорающий поглотитель будет приводить к снижению выгорания выгружаемого топлива, по сравнению с чисто жидкостной системой компенсации избыточной реактивности.

Целью данной работы будет расчет с гадолинием.

Будет использоваться балансная модель перегрузок. Рассматривается n -кратная схема перегрузок топлива без перестановок ТВС. Активная зона представляется бесконечной периодической решеткой, состоящей из полячек, каждая из которых в свою очередь состоит из одинакового количества ТВС с различными временами выдержки.

$$K_{\infty}^{POLY}(B(t)) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{\infty}^{TBC}(B_i(t))$$

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 Для ТВС, состоящей из однотипных твэлов одного обогащения, зависимость коэффициента размножения от выгорания топлива носит приближенно линейный характер вида

$$K_{\infty}^{TBC}(B) = K_{\infty}^{TBC}(0) - \alpha \cdot B$$

Для анализа мы выделим три характерных типа зависимостей линейного вида, изображенных на Рис. 1, состоящие из отдельных линейных отрезков, но при этом сама зависимость является непрерывной.

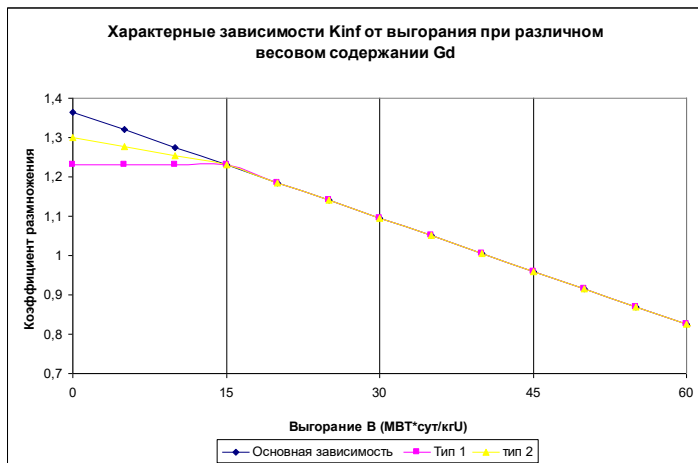


Рисунок 1. Модельные зависимости коэффициента размножения ТВС от выгорания топлива.

По результатам расчетов запас реактивности, компенсируемый выгорающим поглотителем, будет равен

$$\delta_{ТВЭГ}^{(1)} = \frac{\Delta K_{\infty}}{2} - \frac{\Delta K_{\infty}}{3} = \frac{\Delta K_{\infty}}{6}$$

что составляет третью часть от общего запаса реактивности, которую необходимо скомпенсировать за кампанию. Необходимо, что выгорающий поглотитель полностью выгорает за один цикл облучения топлива. Без потери выгорания система компенсации на основе выгорающего поглотителя не должна превышать 1/3, а жидкостная система компенсации 2/3 от общего объема реактивности, предназначенной для компенсации. В общем случае n-кратной

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
схемы перегрузки эта доля, составляет $1/p$ часть от полного объема
компенсируемой реактивности.

Литература:

1. Бать Г.А. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических
реакторов. Учебное пособие для вузов. – 1982.

2. Сааду А. Д. Использование выгорающих поглотителей в реакторах
типа ВВЭР // Москва: МИФИ. – 2006.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ТРИТИЙ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РЕСПУБЛИКИ
САХА (ЯКУТИЯ)**

Ноговицына Е.И., Степанов В.Е.

*«Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г.
Якутск
к.т. 89627351767, n.dynia@inbox.ru*

На сегодня тритиевое загрязнение водных экосистем занимает особое место, можно сказать она является одной из главных проблем в радиоэкологии, т.к. основным источником нахождения трития в природе служит вода. Это обусловлено отсутствием надежных систем локализации радионуклида в системах водоочистки. Следовательно, высокая миграционная способность делает этот радионуклид глобальным загрязнителем водных экосистем Земли.

Целью данной работы является определение содержания трития в водах Республики Саха (Якутия) прибором Hidex SL-300 (чувствительность до 1 Бк) и его сравнение с нормами радиационной безопасности.

Данная работа посвящена исследованию содержания трития в образцах воды из окрестностей Оймяконского, Намского, Усть-Алданского, Вилюйского улусов и сел Кобяйского района, а также из округов г. Якутка. Измерение проб проводились на жидкостном сцинтилляционном спектрометре SL-300 производства фирмы Hidex, Финляндия.

Большое количество трития образуется при ядерных и, главным образом, термоядерных взрывах. С 1974 по 1987 годы на территории Якутии было произведено 12 мирных подземных ядерных взрывов (большинство из которых термоядерные) в результате двух из них — «Кристалла» и «Кратона-3» — произошло загрязнение окружающей среды продуктами ядерного деления.

В Кобяйском улусе 9 августа 1978 года был осуществлен мирный подземный ядерный взрыв «Кратон-4». Скважина расположена в 19 км от ближайшего населенного пункта – наслега Арыктах (южном берегу оз. Ниджили) и в 20 км от п. Тея.

В этом районе образцы воды (рек, озер, дождевых осадков, вод из снега) были отобраны из одиннадцати точек. В результате ис-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика следования показало, что в среднем содержание трития в окрестностях села Чагда составляет $5,373 \pm 1,138$ Бк/л. Содержание трития в пробе воды из озера Ниджили в с. Арыктах показало $10,05 \pm 1,39$ Бк/л. Образец воды вблизи поселка Тея из оз. Дюнкаян стало равным $10,05 \pm 1,65$ Бк/л.

Также пробы были отобраны в окрестностях Оймьяконского района. Результаты, которых показаны в таблице 1.

Таблица 1. Пробы из Оймьяконского района

№	Координаты	Местность	Примечание	Бк/л
1	N 63°24'33" E 140°44'24"	Кюбюмэ	вода с горы	12,68±1,12
2		Кюбюмэ	дорожный ручеек	9,46±0,65
3	N 63°25'50,8" E 140°36'41,3"	Кюбюмэ	донная вода болота	10,12±1,2
4		лагерь	дождевая вода	13,63±1,32
5		Кюбюмэ	вода из горного ручейка	13,22±1,62

Результат содержания трития в пробе Намского улуса составляет $9,54 \pm 0,27$ Бк/л. Объемная активность трития в воде из Усть-Алданского района составляет $2,92 \pm 0,65$ Бк/л. Измерения проб из оз. Кетех Виллойского района показали, что содержания трития $18,23 \pm 1,24$ Бк/л.

В столице Республики Саха (Якутия) в г. Якутске пробы были отобраны из 5 точек. По результатам измерения концентрация трития в округах г. Якутска колеблется вокруг средней величины $11,65 \pm 0,95$ Бк/л. Был взят конденсат окна, результаты измерения которого составили $3,76 \pm 0,53$ Бк/л.

По данным НРБ 99/2009 уровень вмешательства по содержанию трития в питьевой воде составляет 7600 Бк/кг.

Таким образом, установлено, что в измеренных водах объемная активность трития варьирует от $3,76 \pm 0,53$ до $18,23 \pm 1,24$ Бк/л. Исходя из этого, обнаруженный нами максимум равен $18,23 \pm 1,24$ Бк/л, что в 416,89 раз меньше ПДК. Следовательно, содержание Н-3 в водах Республики Саха (Якутия) не превышает ПДК по нормам

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика радиационной безопасности НРБ 99/2009 и не составляет угрозы для здоровья населения и загрязнения окружающей среды.

Литература: Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Санитарные правила. СП 2.6.1.758-99 (утв. Минздравом РФ от 7.07.2009) №47.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ
ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**А.Н. Олейник^{1,*}, О.О Иващук¹, В.Ю. Иониди² А.А. Кленин¹,
А.С.Кубанкин^{1,3}, М.В. Мишунин¹, А.С. Чепурнов^{1,2},
А.В. Щагин^{1,4}**

¹) *Лаборатория радиационной физики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия*

²) *Научно-исследовательский институт им. Д.В. Скобелыцына МГУ им М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³) *Физический институт академии наук (ФИАН), Троицк, Москва, Россия*

⁴) *Харьковский физико-технический институт, Харьков, Украина*
* *andreyoleynik92@mail.ru*

Пироэлектрический эффект в монокристаллах ниобата или танталата лития можно использовать для генерации рентгеновского излучения с энергией вплоть до нескольких сотен кэВ [1], что позволяет создавать пироэлектрические источники рентгеновского излучения [2].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований зависимости влияния различных параметров (скорость изменения температуры кристалла, соотношение токов генерируемых при пироэлектрическом эффекте) на выход и энергию генерируемого рентгеновского излучения. Показано влияние электрических пробоев на динамику выхода рентгеновского излучения при пироэлектрическом эффекте.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Министерства образования и науки Российской Федерации для высших учебных заведений, проект №14.578.21.0192 (RFMEFI57816X0192).

Литература

1. Brownridge, J. D. // Nature, 358, pp. 277-278 (1992).
2. <http://amptek.com/products/cool-x-pyroelectric-x-ray-generator/>

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕОДНОРОДНЫХ
СТРУКТУР, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИФфуЗИОННОЙ ПАЙКЕ
РЕАКТОРНЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ
БЫСТРОЗАКАЛЁННЫМИ СПЛАВАМИ-ПРИПОЯМИ
Ni-(Cr)-5..6Si-3..5Be**

**Пенязь М.А.¹, Иванников А.А.¹, Севрюков О.Н.¹, Бачурина Д.М.¹,
Федотов И.В.¹**

¹ *Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва
+79151096155, amilenna@icloud.com*

В настоящее время для высокотемпературной диффузионной пайки реакторных коррозионностойких сталей различных классов используют быстрозакаленные никелевые сплавы-припои, содержащие бор. Применение данных сплавов приводит к образованию в диффузионной зоне сложной гетерогенной структуры, которая содержит выделения промежуточных фаз, таких как силициды и бориды [1]. Такая структура негативно сказывается на прочностных характеристиках соединения особенно при динамических нагрузках [2].

Для устранения данной структуры в паяном шве предложено использование безбористых сплавов-припоев на основе системы Ni-Si-Be. для исследований были выбраны широко распространенные реакторные стали аустенитная 12X18H10T и ферритомартенситная 16X12МВСФБР и проведена пайка.

Целью работы было определение механических характеристик паяных образцов с помощью испытаний на одноосное растяжение и ударную вязкость, исследование фрактографии и профилей изломов методами электронной микроскопии, а также измерений микротвердости неразъемных соединений.

Полученные значения предела прочности и работы вязкого разрушения для соединений, паянных разработанными припоями, превосходят результаты, полученные на образцах соединенных с помощью широко используемого бористого припоя Ni-3,5Fe-7,5Cr-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
4,5Si-2,6В, масс.% (аналог сплава BNi-2 [3]), что отражено на рисунке 1.

Показано, что в случае первых паяные швы более пластичные и имеют однородную структуру, с отсутствием гетерогенностей в диффузионной зоне. На основе полученных данных можно сделать вывод, что замена бора на бериллий в никелевом сплаве-припое позволяет улучшить механические характеристики соединений. Продемонстрирована возможность использования разработанного припоя для соединения энергонапряженных элементов из реакторных сталей различного класса.

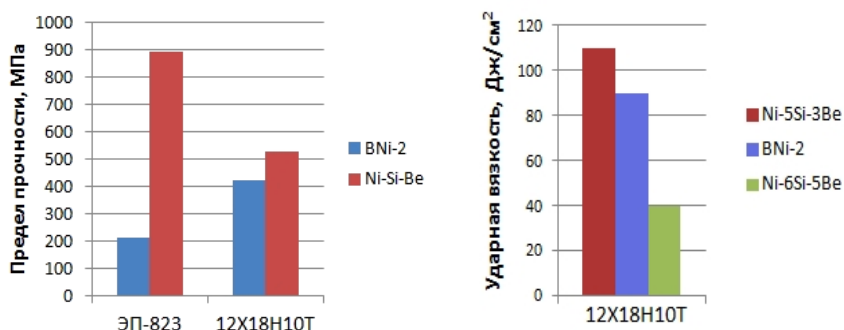


Рис.1. Прочностные характеристики паяных соединений

Литература

1. S. Steuer, R. Singer. Suppression of Boride Formation in Transient Liquid Phase Bonding of Pairings of Parent Superalloy. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International. Vol.45. Issue 8. P.2226-2232 (2014).
2. A. Ivannikov, V. Tukhatov. Rapid-quenched nickel-based solder for high-temperature brazing of various constructive elements. Tsvetnye Metally. Issue 12, P.27-31 (2014).
3. A. Battenbough, A. Osmanda. Properties of selected nickel and iron base brazing filler metals. Brazing, High Temperature Brazing and Diffusion Bonding. P.404-410 (2016).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЭКОНОМИЧНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ
УСЛОВНО-КРИТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА
НЕЙТРОНОВ В ДИФФУЗИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ**

*Пименова М.Н.¹, Грачев В.М.¹, Шаманин И.В.²,
Беденко С.В.², Луцик И.О.², Кнышев В.В.²*

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва.*

² *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.
e-mail: fusion-b@yandex.ru*

Методы расчета переноса нейтронов используют в физике реакторов, в технологическом контроле при изготовлении и переработки ядерного топлива, для определения глубины выгорания облученного топлива, при проектировании биологической защиты, а также для совершенствования процедур измерений излучения для системы учета и контроля ядерных материалов.

Метод вычисления, который основан на розыгрыше вероятностей взаимодействия нейтронов, называется методом Монте-Карло.

Существует много специализированных программ и расчетных кодов, реализующих метод Монте-Карло. Международно-признанными являются следующие пакеты программ: ММККЕНО и ММКС (ГНЦ РФ-ФЭИ, Россия), МСУ (НИЦ КИ, Россия), МСНР (США), КЕНО-3D(США), МОНК (Великобритания) и др. Эти программы позволяют получать точные решения благодаря созданию трехмерной геометрии, имитирующей объект и моделированию реального переноса нейтронов в веществе.

Высокая точность верифицированных расчетных кодов на основе метода Монте-Карло достигается за счет потребления огромных вычислительных ресурсов и определяется в основном погрешностью, с которой определены сечения взаимодействия нейтронов с ядрами вещества.

Алгоритмы на основе групповых и подгрупповых подходов, используемые при решении уравнения Больцмана [1], не требуют больших вычислительных мощностей. Известно, что точность искомых функционалов (k_{eff} , $(\Phi V) = \iint v \Delta E \Phi(r, E) dV dE$, $\phi(\Delta E, r, \Omega)$,

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика $\Sigma t(E, r, \Omega)$ в таких решениях ниже, однако в ряде случаев возможно получить точные и надежные решения [2].

В работе реализован итерационный процесс решения уравнения вида [1] для условно-критической задачи в диффузионном 28-ми групповом приближении:

$$\frac{1}{v^{(i)}} \frac{\partial \Phi^{(i)}(r, t)}{\partial t} = D^{(i)} \Delta \Phi^{(i)}(r, t) - \Sigma_a^{(i)} \Phi^{(i)}(r, t) + \sum_{k=1}^{i-1} \Sigma_R^{k \rightarrow i} \Phi^{(k)}(r, t) +$$

$$+ \varepsilon_{fp}^{(i)} \left(1 - \sum_{j=1}^{JD} \beta_j \right) \sum_{k=1}^G v_f^{(k)} \Sigma_f^{(k)} \Phi^{(k)}(r, t) + \sum_{j=1}^{JD} \sum_{n=1}^N \varepsilon_{fd,j}^{(i,n)} \lambda_j^n C_j^n(r, t) + \varepsilon_{sf}^{(i)} S_{sf} + \varepsilon_{an}^{(i)} S_{an}$$

Расчет проведен для подкритической системы из сферы $^{238}\text{PuO}_2$. При этом использовалась система групповых констант БНАБ [3] и рекомендации авторов [4], что позволило корректно сравнить полученные результаты, с данными приведенными в работе [5].

Для организации итерационного процесса необходимо задать спектр нейтронов $\chi f(E)$ ($\varepsilon(i) = \int \chi f(E) dE$), спектр нейтронов спонтанного деления $\chi sf(E)$ и спектр нейтронов (α, n) -реакций $\chi \alpha n(E)$. Спектры $\chi f(E)$, $\chi sf(E)$ хорошо изучены и известны для большинства делящихся нуклидов.

Спектр нейтронов $\chi \alpha n(E)$ получен путем аппроксимации данных работ [5] функцией вида: $\chi \alpha n(E) = a^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp(-(E-b)^2/2a^2)$, $a = 0,81$, $b = 2,5$.

В работе, с использованием данных о выходе нейтронов [5] и многогрупповых подходов, получен 28-групповой спектр плотности потока нейтронов ($\varphi(E)$, $1/m^2/c/M\text{ЭВ}$) и величина подкритичности $\sim 1/(1-k_{\text{eff}})$. Результаты хорошо согласуются с результатами, полученными с использованием расчетного кода программы ANISN [5] и SCALE-4.3 (KENO-V.a, ENDF/B-V).

Литература

1. Д. Белл, С. Глесстон. Теория ядерных реакторов. (М.: Атомиздат. 1974).
2. M.N. Plevaka, S.V. Bedenko, I.M. Gubaidulin, V.V. Knyshev. «Neutron-physical studies of dry storage systems of promising fuel

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика compositions». Bulletin of the Lebedev Physics Institute. V. 42. №. 8. P. 240-243 (2015).

3. Л.П. Абагян, Н.О. Базаянц, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля. Групповые константы для расчета реакторов и защиты. (М.: Энергоатомиздат. 1981).

4. А.И. Воропаев, А.А. Ваньков, В.В. Возяков, и др. «Групповые нейтронные сечения деления и радиационного захвата трансактинидов». ВАНТ. Серия: «Ядерные константы». Вып. 3 (34). С. 34-60 (1979).

5. Mojtaba Taherzadeh, Peter J. Gingo. «Neutron radiation characteristics of plutonium dioxide fuel». V. 15. № 3. С. 396-410 (1972).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СВЯЗЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СРЕДНЕЙ СКОРОСТЕЙ
ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КАНАЛАХ СЛОЖНОЙ
ФОРМЫ**

Писаревский М.И.¹, Федосеев В.Н.¹, Балберкина Ю.Н.²

*¹Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва*

*²НИЦ «Курчатовский институт», Москва
Тел.: +7(917)536-30-34, e-mail: Peace579@mail.ru*

В данной работе предложена связь между динамической скоростью и средней скоростью потока теплоносителя в канале сложной геометрии, на основе которой построена модель обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче различных пористых структур. По модели получены расчетные формулы для расчета теплоотдачи пучков стержней при поперечном обтекании потоком жидкости. Отмечено, что модель описывает предельный случай отрывных течений в извилистых каналах, когда теплоноситель постоянно меняет направление своего движения и интенсивно перемешивается в сообщающихся каналах. Динамическую скорость предложено определять через мощность на прокачку. Коэффициент пропорциональности в общем случае зависит от геометрии канала и числа Re . Предложены расчетные формулы коэффициента пропорциональности для широкого диапазона шагов стержневых упаковок и чисел Re . Проведено сравнение экспериментальных данных и расчетных значений, показывающее работоспособность предложенной модели и расчетных формул, полученных по ней.

В работах [1,2] приводятся экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению и теплоотдаче в поперечно обтекаемых пучках труб, а также предлагаются эмпирические формулы для инженерных расчетов (рисунок 1).

Основаниями к проведению новых исследований послужило два фактора. Во-первых, построение единой физической модели для обобщения данных любых структур. Во-вторых, уточненное обобщение данных поперечного обтекания стержневых сборок.

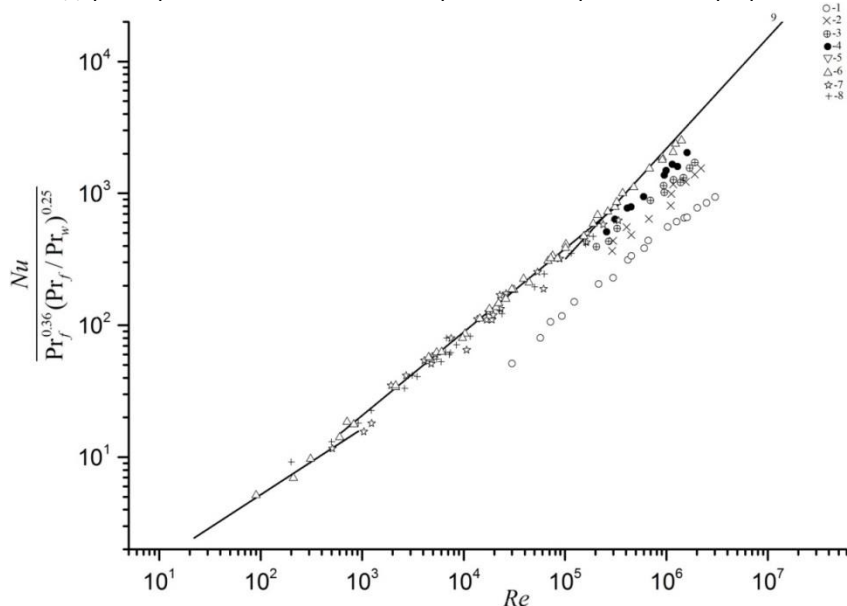


Рисунок 1. Зависимость комплекса теплоотдачи от числа Re для коридорных пучков: 1- $1,008 \times 1,008$, 2- $1,013 \times 1,013$, 3- $1,020 \times 1,020$, 4- $1,026 \times 1,026$, 5- $1,053 \times 1,053$, 6- $1,65 \times 2,00$, 7- $1,30 \times 1,30$, 8- $1,30 \times 2,60$, 9 – экспериментальные значения А.А. Жукаускаса [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жукаускас А.А., Макарявичус В., Шланчяускас А. Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости. Издательство «МИНТИС» Вильнус-1968.
2. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. Издательство «Наука». 1982г.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ПОЛУЧЕНИЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ АЛЛЮМИНИДА
НЕОДИМА С ВКЛЮЧЕНИЕМ
РЕАКЦИОННО-СПОСОБНОЙ НИКЕЛЕВОЙ ДОБАВКОЙ В
РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ**

Посохов Д.В.¹, Кузьмин В.С.¹

¹Томский политехнический университет, 634034, г.Томск, пр. Ленина, 30
конт. тел. 89234410022, e-mail: posokhov.d.v@gmail.com

Проблема обращения с радиоактивными отходами является одной из наиболее важных в ядерной отрасли. Для обеспечения их безопасного хранения используются различные технологии иммобилизации радиоактивными отходами в новые стабильные матричные материалы, которые должны обладать определенным набором химических и физических характеристик.

В настоящее время на территории Российской Федерации накоплено порядка пятисот шестидесяти миллионов кубических метров радиоактивных отходов, 50% из которых находятся во временных хранилищах до дальнейшей переработки. Помимо этого, каждый год еще образуется порядка пяти миллионов кубических метров. [1]

На территории Российской Федерации реализуются два технологических процесса иммобилизации радиоактивных отходов: остекловывание и цементирование. Но при долговременном хранении стеклянные матрицы не могут обеспечить долговременное хранение радионуклидов, представляющих угрозу в течении сотен тысяч лет. На сегодняшний день поиск новых материалов для иммобилизации радиоактивных отходов активно ведется.

В данной работе рассматривается производство матричного материала на основе модифицированного перовскита, полученного технологией самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, обладающего рядом преимуществ по сравнению с традиционными технологиями изготовления такими как:

- простота технологической схемы;
- малые энергетические затратами;
- высокая скорость синтеза продукта;

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
- возможность получения материала с заданными свойствами.

[2]

После перемешивания в кубическом смесителе, и вакуумной сушки полученная шихта прессовалась в цилиндрические образцы диаметром 30 мм и высотой 12–15 мм при различном давлении – 15, 20, 25, 30 МПа, с целью получения образцов разной плотности

Экспериментальным путем установлено, что при создании перовскитной иммобилизационной матрицы на основе алюминия необходимо введение реакционно-способной никелевой добавки в исходную шихту, вследствие недостаточного энергетического выхода реакции.

Также проведена оценка изменения фазового состава для образцов, подготовленных с давлением прессования 15, 20, 25 и 30 МПа. Получены сравнительные картины фазовых составов образцов с различными составами – без добавления никеля и с его добавкой. Результаты позволяют говорить о пригодности использования перовскитной матрицы для иммобилизации ВАО.

Литература

1. М. Скачек, Обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами АЭС, Издательство: МЭИ, 488 с.
2. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд во ТГУ, 1989. – 214 с.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СОЛНЕЧНАЯ ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ В
2006 - 2016 ГГ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОМЕТРОВ
ПАМЕЛА И АРИНА**

Роденко С.А.¹, Боркут И.К.¹, Майоров А.Г.¹, Малахов В.В.¹

¹ НИЯУ МИФИ, Москва
8-962-919-94-75., SARodenko@mephi.ru

Важнейшей задачей космических исследований является обеспечение радиационной безопасности экипажей и аппаратуры космических кораблей на околоземной орбите и при межпланетных перелетах. Солнечные космические лучи (СКЛ) относятся к наиболее опасным и наименее предсказуемым явлениям космической погоды, т.к. потоки энергичных заряженных частиц могут возрастать на порядки в течение нескольких минут и держаться на высоком уровне несколько часов, а иногда и дней.

СКЛ появляются на орбите Земли после мощных энерговыделений на Солнце, связанных со вспышками и корональными выбросами масс. Несмотря на довольно длинную историю измерений СКЛ (с 1942 г.) до сих пор ощущается острый недостаток экспериментальных данных, особенно в релятивистском диапазоне энергий ($T > 1$ ГэВ), где за всю историю наблюдений с 1942 г. зарегистрировано всего 71 событие. Ранее такие события, несущие наибольшую угрозу для человека и аппаратуры, могли изучаться только с помощью наземных установок.

В работе приводятся данные совместных прецизионных измерений потоков СКЛ спектрометрами «ПАМЕЛА» и «АРИНА» на борту КА «Ресурс-ДК1» [1]. В совокупности эксперименты охватывают недостижимый до последнего времени диапазон энергий солнечных протонов от десятков МэВ до нескольких ГэВ.

Спектрометрами за время работы на орбите с июня 2006 года по январь 2016 года всего зарегистрировано 94 возрастания интенсивности потока протонов в околоземном пространстве, вызванное солнечными событиями. Из них в 57 обнаружены протоны с энергий выше 100 МэВ и в 3 выше 1 ГэВ. Для этих 3-х самых мощных событий приводятся восстановленные дифференциальные энергетиче-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
ческие спектры протонов (приводится сравнение спектров с дан-
ными мониторов GOES).

Литература

1. Picozza P., Galper A.M., Castellini G. et al. PAMELA – A pay-
load for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. //
Astroparticle Physics, V. 27, 2007. – P. 296-315.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОМПРЕССИОННЫЕ
КОЛЕБАНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ. АНАЛИЗ ДАННЫХ
СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ THEMIS**

Рубцов А.В.^{1,2}, Климушкин Д.Ю.², Магер П.Н.², Чуйко Д.А.

¹ *Физический факультет «ИГУ», г. Иркутск*

² *Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, г. Иркутск
+79246003475, avrubcov@mail.ru*

Исследована компрессионная пульсация Pc5 со значительной полоидальной компонентой, обнаруженная в данных спутниковой системы THEMIS. Были вычислены параметры пульсации и определены параметры среды в момент прохождения волны. Проведена экстраполяция данных концентрации для учёта частиц с низкой энергией, а также использован цифровой фильтр для выделения низкочастотных компонент давления и напряженности магнитного поля [1,2]. С помощью вейвлет-преобразования построены динамические спектры [3]. По найденным параметрам среды было проведено моделирование частоты фундаментальной гармонике стоячей альфвеновской волны и вычислена соответствующая альфвеновская скорость волны. Было показано, что наблюдаемая частота пульсации близка к альфвеновской частоте. Таким образом, сделан вывод, что наблюдаемая волна является альфвеновской.

Данная работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-05-00254.

Литература

1. W. Baumjohann, R.A. Treumann. Basic Space Plasma Physics. (London: Imperial College Press. 1999).
2. S.W. Smith. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. (San Diego: California Technical Publishing. 1999).
3. G. Foster. Wavelets for period analysis of unevenly sampled time series. The Astronomical Journal. Vol.112. Number 4. P.1709-1729 (1996).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РОБАСТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СКОРОСТЕЙ НАГРЕВА
ПРИ АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Русаков Д.Ю.¹, Скоморохов А.О.²

¹ АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина», г.Обнинск

² ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», г.Обнинск
+79206176536, tigr47@gmail.com

Существуют различные подходы к обработке результатов теплового контроля. Например, преобразование массива термограмм в искусственную фазограмму, по результатам одномерного преобразования Фурье [1], или формирование трехмерного изображения, третьим измерением которого служит время нагрева [2]. Данные алгоритмы существенно облегчают процесс расшифровки термограмм, однако имеют высокую трудоемкость.

Целью данной работы являлось повышение эффективности алгоритма и снижение трудоемкости.

Контроль был произведен на автоматизированной установке теплового контроля. В качестве объекта контроля был использован трехслойный образец с обшивками из углепластика с полимерным сотовым наполнителем и с искусственным расслоением в виде клина.

В результате контроля был получен массив из 122 термограмм с разрешением 408x240. Пример термограмм в начале измерения и при нагреве дефекта приведен на рис. 1.

На первом этапе обработки проводилось преобразование тепловых изображений в числовые матрицы, элементами которых являются значения яркости в градации серого каждого из пикселей изображения. Для дальнейшего преобразования был применен робастный метод оценки наклона, основанный на вычислении медианы всех возможных частных углов наклона графика роста температуры.

Обработка числовых матриц проводилась в среде языка программирования Dualog APL [3]. Полученная в ходе преобразования числовая матрица скоростей нагрева может анализироваться различными методами, например, методами кластерного анализа

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика [5]. Наиболее наглядный результат дает обратное преобразование этой матрицы в искусственную термограмму связанную с интенсивностью изменения температуры точек поверхности. Полученная в ходе преобразования искусственная термограмма представлена на рис. 1.

Температурный сигнал от искусственного дефекта и сотового заполнителя имеет существенно более высокий уровень, чем на любой из термограмм исходного массива.

Таким образом, был разработан новый метод результатов активного теплового контроля, который существенно облегчает анализ результатов активного теплового контроля и имеет значительно меньшую трудоемкость, чем имеющиеся аналоги.



Рис. 1. Примеры термограмм -а, б. Искусственная термограмма –в.

Литература

1. Фомицаева Ю.В., Нестерук А.Д. Реализация метода тепловых волн в тепловом контроле изделий из композитов. [Электронный ресурс].
2. Вавилов В.П. Динамическая тепловая томография. //Заводская лаборатория материалов - 2006. № 3. – С. 26 - 36.
3. Dyalog Language Reference Guide. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dyalog.com/documentation>, свободный.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ, ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Русяева К. А.¹

*¹ Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
НИЯУ МИФИ, Димитровград*

На данный момент мы не можем представить жизнь без ядерной энергии. Основное место применения ядерной энергии: атомные электростанции, благодаря им в наших домах есть свет и тепло. Тема ядерной энергии остается актуальной по сей день.

Целью работы является изучение истории ядерной энергии, определение использования ядерной энергии, а также рассмотрение вопроса о радиационной безопасности, как неотъемлемой части ядерной энергии.

Основой современной ядерной физики можно считать открытие нейтрона в 1932 году английским физиком Джеймсом Чедвиком.

Ядерная энергия (атомная), представляет собой энергию, которая содержится в атомных ядрах и выделяется при ядерных реакциях и радиоактивном распаде [1].

После открытия нейтрона Энрико Ферми провёл серию экспериментов, в которых различные ядра подвергались столкновению с этими новыми частицами. С помощью этих экспериментов было обнаружено, что нейтроны низкой энергии часто поглощаются ядром с испусканием фотона. Для того чтобы исследовать эту реакцию, эксперимент повторялся неоднократно для всех элементов периодической таблице. В результате были обнаружены новые радиоактивные изотопы элементов.

Нильс Бор и Джон Уилер создали элементарную теорию деления с использованием капельной модели ядра. Также деление ядер может быть достигнуто с помощью быстрых альфа-частиц, протонов или дейтронов. Но эти частицы, в отличие от нейтронов, должны обладать большой энергией для преодоления кулоновского барьера ядра.

Для высвобождения ядерной энергии существуют экзотермические ядерные реакции:

- цепная ядерная реакция;

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

- термоядерный синтез;
- радиоактивный распад.

На сегодняшний день ядерная энергия широко используется во многих отраслях экономики. По всему миру расположены атомные электростанции, в России их 10. Они играют большую роль в развитии региона, в котором они находятся и страны в целом. Также ядерная энергия применяется в строительстве подводных лодок, надводных кораблей с ядерными энергетическими установками, массовое применение в биологии, сельском хозяйстве, медицине, в освоении космоса нашли радиоактивные изотопы.

Развивая ядерную энергетику в интересах экономики, нельзя забывать и о безопасности и здоровье людей, так как ошибки могут привести к катастрофическим последствиям. Всего с момента начала эксплуатации атомных станций в 14 странах мира произошло более 150 инцидентов и аварий различной степени сложности. Наиболее характерные из них: в 1957 г. – в Уиндскейле (Англия), в 1959 г. – в Санта-Сюзанне (США), в 1961 г. – в Айдахо-Фолсе (США), в 1979 г. – на АЭС Три-Майл-Айленд (США), в 1986 г. – на Чернобыльской АЭС (бывший СССР, сейчас Украина), в 2011г. – на АЭС Фукусима-1(Япония). В связи с большим количеством жертв, а также зараженных радиоактивными веществами территорий, вскоре был принят термин радиационная безопасность.

Радиационная безопасность – это состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения [3].

Всего есть три основных принципа обеспечения радиационной безопасности:

1. Принцип обоснования;
2. Принцип оптимизации;
3. Принцип нормирования.

Также есть пути обеспечения радиационной безопасности:

- радиационная безопасность на объекте и вокруг него;
- радиационная безопасность персонала;
- радиационная безопасность населения.

Для обеспечения радиационной безопасности на территории Российской Федерации действуют правила и нормы, такие как «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика станций (СП АС-2003)», «Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99)», «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» и другие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Ядерная энергия// Wikipedia.org: свободная энциклопедия. 2013. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерная энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерная_энергия);
2. Акатов А.А. Ядерная энергия на службе человечества. (М: Росатом. 2009)
3. Радиационная безопасность// Wikipedia.org: свободная энциклопедия. 2013. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиационная безопасность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиационная_безопасность);
4. С. В. Дорожко. Радиационная безопасность. (Мн:Технопринт. 2003)

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСПЛЕСКОВ ЭЛЕКТРОНОВ,
СВЯЗАННЫХ С ГАММА-ВСПЫШКАМИ АТМОСФЕРНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Савушкина Л.В., Александрин С.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

8 916 993 43 13, LVSavushkina@mephi.ru

Вспышки интенсивности потока гамма излучения, идущего от Земли (TGF – гамма вспышки земного происхождения) впервые были обнаружены в 1994 г. [1] аппаратурой на спутнике BATSE. Одним из механизмов их генерации является тормозное излучение релятивистских электронов, ускоренных электрическим полем атмосферы над грозowymi облаками [2].

Как известно, основная доля всплесков интенсивности высокоэнергичных электронов, связанных с высыпаниями электронов из радиационного пояса Земли имеет грозовую природу (70-80%) [3]. Большинство этих всплесков вызвано электромагнитным возмущением, формируемым молниевым разрядом. Но некоторые всплески могут иметь другое происхождение, например, связанное с лавиной релятивистских убегающих электронов (механизм Гуревича [2] - процесс при котором электроны ускоряются до высоких энергий, в квазиэлектростатических полях [4] образующихся над грозowymi облаками после положительного разряда облако-земля). В этом случае всплески электронов, зарегистрированные в спутниковых экспериментах «АРИНА» и «ВСПЛЕСК», могут сопровождаться вспышками излучения, зарегистрированными спутником RHESSEI (НАСА).

Данная работа посвящена исследованию характеристик всплесков высокоэнергичных электронов, зарегистрированных в околоземном космическом пространстве под радиационным поясом Земли, коррелирующих с гамма-вспышками атмосферного происхождения. В данной работе используются базы данных всплесков интенсивности потока высокоэнергичных электронов с энергиями от 3 до 30 МэВ, полученных в спутниковых экспериментах «АРИНА» и «ВСПЛЕСК» и TGFs зарегистрированные Солнечным Спек-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
тротометром (RHESSI) измеряющим гамма-излучение с энергиями до
17 МэВ [5].

Литература

1. G.J. Fishman, P.N. Bhat, R. Mallozzi, J.M. Horack, T. Koshut, C. Kouveliotou, G.N. Pendleton, C.A. Meegan, R.B. Wilson, W.S. Paciesas, S.J. Goodman, H.J. Christian. Discovery of Intense Gamma – Ray Flashes of Atmospheric Origin. *Science*. Vol.264. P.1313. (1994).
2. A.V. Gurevich, G.M. Milikh, and R.A. Roussel-Dupre. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm. *Phys. Lett. A*. Vol.165. P.463-468. (1992).
3. С.Ю. Александрин, А.В. Бакалдин и др. Наблюдение солнечно-магнитосферных и геофизических эффектов в потоках электронов и протонов в спутниковом эксперименте АРИНА. *Известия РАН. Сер. физ.* Т. 73. N 3. С. 379. (2009).
4. V. P. Pasko. Dynamic coupling of quasi-electrostatic thundercloud fields to the mesosphere and lower ionosphere: sprites and jets. Dissertation for the degree of doctor philosophy. Stanford University. (1996).
5. D.M. Smith, L.I. Lopez, R.P. Lin and C.P. Barrington-Leigh. Terrestrial gamma-ray flashes observed up to 20 MeV. *Science* Vol.307. P.1085. (2005).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**БЫСТРЫЙ НАТРИЕВЫЙ РЕАКТОР БОЛЬШОЙ
МОЩНОСТИ С АКСИАЛЬНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТЬЮ
АКТИВНОЙ ЗОНЫ**

Э.Р. Ситдиков¹, А.М. Терехова¹, И.В. Деменева¹

¹ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Россия,
Email: emilsitdikov@gmail.com, тел: +79206113575

В проектах будущих быстрых реакторов предполагается использовать инновационные и апробированные технические решения. В качестве перспективной активной зоны быстрых реакторов были предложены зоны (а.з) с аксиальной и радиальной гетерогенностью [1].

Цель работы – рассмотреть различные варианты аксиальных прослоек из обедненного урана и определить оптимальный вариант компоновки а.з. быстрого натриевого реактора для достижения лучших нейтронно-физических и воспроизводящих характеристик активной зоны.

Были выполнены следующие задачи:

- создана модель а.з. быстрого натриевого реактора большой мощности и определены распределение энерговыделения по высоте а.з., НПЭР, КВ;
- созданы модели а.з. с аксиальными прослойками из обедненного урана и определены такие же характеристики а.з.

Параметры модели рассматриваемого реактора: Тепловая мощность – 2800 МВт, эквивалентный диаметр а.з. - 4200 мм, высота без прослойки - 850 мм, толщины прослоек - 100/150/200/250 мм, вид топлива - (U-Pu)O₂, обогащение топлива – 18%, воспроизводящий материал - UO₂, $\beta_{eff} = 0,35\% \Delta k/k$.

В работе использовался программный комплекс TRIGEX.

На рис.1. и в табл. 1. представлены сравнение рассчитанных вариантов а.з.

В докладе приведены наиболее оптимальные варианты из рассмотренных в работе. Как видно из рис.1. наличие прослойки нарушает привычное распределение энерговыделения по высоте.

Что касается НПЭР, то прослойка ниже активной зоны показала себя с наилучшей стороны – отрицательное значение НПЭР, кото-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 рое аналогично значению $-1,5 \beta_{\text{eff}}$ для модели реактора ASTRID с
 CFV - зоной. Наибольший КВ достигается с прослойкой в центре
 а.з. Приведенные результаты являются предварительными и тре-
 буют дальнейших уточнений и доработок.

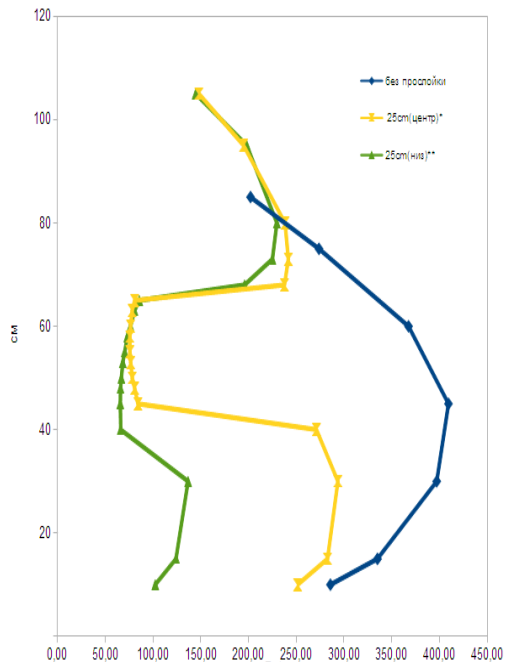


Рис.1. Распределение среднего энерговыделения в центральной ТВС активной тоны по высоте

Модель	НПЭР, β_{eff}	КВ
Без прослойки	0,74	1,19
*25см, в центре а.з., без одного внешнего ряда ТВС	0,39	1,59
**25см, ниже центра а.з., без двух внешних рядов ТВС	-1,53	1,36

Таблица 1. Значения НПЭР и КВ различных моделей компоновки а.з.

Литература

1. В.А. Елисеев. Выбор и обоснование основных физических параметров перспективных активных зон быстрого энергетического реактора большой мощности: дис. канд. тех. наук. ИАТЭ, Обнинск (2000).
2. N. Devictor. Pre-conceptual design study of ASTRID core. IAEA technical meeting on innovative fast reactor designs with enhanced negative reactivity feedback features, Vienna (27-29 February 2012).

Соломатенко А.В.¹, Соломатенко В.Н.²

1 РГУТИС, г. Пушкино Московской обл.

2 г. Пушкино Московской обл.

+7(962)9414950 asolomatenko@gmail.com

Факт: энергия (аддитивная величина) и температура (неаддитивная величина) есть несравнимые количественные характеристики тепловых явлений. Если выражаться более точно, несравнимые непосредственно. Следовательно, у них должны быть разные размерности, как признак несравнимости, а теории, модели и иные придумки человека не должны противоречить данному факту. Но, противоречия имеются. Их надлежит устранить – на это нацелена настоящая работа и ее тезисы.

Практическая значимость работы заключается в определении размерности температуры как размерности энергии, отнесенной к размерности количества вещества. Определение обосновано и конкретное, что умаляет продолжение толкований энергии и температуры.

Как только ни толкуют теплоту, температуру и их размерности. Например, в известном учебнике по физике [1] так: «температура имеет размерность энергии». Чтобы придать им первозданный вид, если выражаться образно, естественно обратиться к истории. А она такова. Температуру, как характеристику тепловых явлений, человек применяет с незапамятных времен, а энергию всего несколько столетий. Например, с. Карно рассуждал о теплороде, а не об энергии [2]. Работу он называл движущей силой и считал разность температур условием равновесия теплорода: «мы считаем здесь излишним объяснять, что такое количество теплорода или количество тепла (мы употребляем оба выражения без различия)... Мы также не объясняем, что такое скрытая теплота, температура, теплоемкость и т.д.: читатель должен знать эти понятия... Повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновение движущей силы... повсюду, где можно затратить эту силу, возможно образование разности температур, возможно нарушить равновесие теплорода».

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Поскольку основоположник термодинамики не дал надлежащих определений теплоты и температуры, пришлось обратиться к демону максвелла – мысленному эксперименту 1867 года, он же – воображаемое разумное существо микроскопического размера, придуманное для иллюстрации кажущегося парадокса термодинамики; ему удалось решить уникальную задачу: нагреть и охладить газ практически без затрат энергии и совершения работы. Демона попросили решить еще одну задачу: переместить из газа, заключенного в изолированную и недеформируемую емкость, часть газа, а более конкретно, его среднестатистическую молекулу, в другую такую же емкость, но пустую, не меняя никоим образом поведение молекулы. Демон решил и эту задачу, и вот что получилось.

В обоих сосудах оказались одинаковые газы с одинаковым поведением среднестатистических молекул, единой числовой характеристикой которого является произведение фундаментальной физической константы, постоянной Больцмана k , на термодинамическую температуру T , а именно:

$$E_{\odot} = \frac{mv^2}{2} = \frac{M_{\odot}v^2}{2} = kT.$$

Количество молекул в емкостях разное, но Демон назвал это обстоятельство несущественным, ибо нет, и вряд ли имеется, количество молекул, отличающее газ от чего-то иного. Опираясь на данное основание, Демон заключил, что у внутренней энергии газа U (аддитивной физической величины) и у его температуры T (неаддитивной физической величины) разные размерности. Они отличаются друг от друга на размерность количества вещества. В символах данное заключение выражается так:

$$\begin{aligned} \dim(U) &= L^2MT^{-2}, \\ \dim(E_{\odot}) &= \dim(T) = L^2MT^{-2}N^{-1}, \\ \dim(k) &= 1. \end{aligned}$$

Литература

1. Курс общей физики: уч. Пособие для втузов/Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. – 2-е изд. Испр. – м.: наука, 1969, с.160.

2. Второе начало термодинамики / Карно С., Клаузиус Р.И. др., 4-е изд. – м.: urss: Либроком, 2012, с. 22.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ ПОРОШКОВЫЕ СПЛАВЫ
ДЛЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ
МАГНИТОВ СИСТЕМЫ Fe-TM-Nd-REM-B**

Сороковиков М.Н. , Савин В.В., Савина Л.А., Ляхова Н.Г.

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта
тел.: 8-999-420-19-26, e-mail: msorokovikov96@mail.ru*

Получение порошковых сплавов является необходимым технологическим переделом при производстве постоянных магнитов системы Fe-TM-Nd-REM-B [1]. Повышенная реакционная способность РЗМ-содержащего сплава накладывает существенные ограничения на технологию получения и последующей переработки порошков в спеченные магниты.

В данной работе была решена задача повышения коррозионной стойкости порошковых сплавов системы Fe-TM-Nd-REM-B при хранении в естественных условиях и последующей их переработки в магниты методом измельчения в жидкой среде, компактирования в магнитном поле и спекания в вакууме или защитной атмосфере.

Для достижения поставленной цели использовалась технология закалки из жидкого состояния (ЗЖС) методом распыления струи расплава потоком инертного газа (ГРП). Базовые режимы ГРП процесса описаны в [2]. В области фазовых равновесий, которая соответствует базовым составам ЗЖС-сплавов для постоянных магнитов, в работе осуществлено дополнительное легирование сплавов другими REM и TM-компонентами, влияющими на магнитные свойства основной фазы ($Fe_{14}Nd_2B$), фазовый состав и структуру сплавов, определяющих магнитные свойства образца.

В работе показано существование в исследованных ГРП сплавах аморфного состояния (АС) двух типов, отличающихся химическим составом аморфного сплава: АС1 – близок к составу фазы $Fe_{14}Nd_2B$; АС2 – сплав состава тройной эвтектики на основе Nd. Образование двух типов АС происходит из-за сложного процесса затвердевания переохлажденного расплава в аморфно-кристаллическую смесь. При этом, АС1 образуется несколькими способами: аморфизация расплава при высокой скорости охлаждения ($\geq 10^6$ К/с) сферической капли малого диаметра (≤ 10 мкм)

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика в газовой среде; затвердевание тонкого слоя расплава (≤ 10 мкм) на поверхности сферической твердой частицы (диаметром ≥ 100 мкм) охлаждаемой со скоростью близкой к 10^6 К/с в газовой среде. Соответственно, АС2 образуется на фронте кристаллизации $\text{Fe}_{14}\text{Nd}_2\text{B}$ или в промежутках между растущими кристаллитами из переохлажденного расплава, обогащенного к моменту затвердевания Nd, и охлаждаемого со скоростью близкой 10^5 К/с. Возникновение таких же двух типов АС в сплавах близкого состава полученных методом жидкофазного спекания выявлено при их обработке методом специальной пластической деформации (high pressure torsion) в [3].

Литература

1. Жарский И.М, Свидунович Н.А., Куис Д.В., Иванова Н.П. Материаловедение, Минск, 2015, С. 323.
2. Брехаря Г.П., Конев Н.Н., Савин В.В. и др. АС SU1782136AI, 1990.
3. Straumal B.B., Kilmametov A.R., Mazilkin A.A., Protasova S.G., Kolesnikova K.I., Straumal P.B., Baretzky B. Materials Letters, 145(2015), 63–66.

Сошкина Е.А., Щербина Н.А.

*Балаковский инженерно-технологический институт - филиал НИЯУ
МИФИ, г.Балаково
927-229-12-03 ekaterina_soshkina@mail.ru*

Огнестойкие пожаробезопасные материалы используются в создании спецодежды, обладающей комплексом защитных свойств в экстремальных ситуациях. В связи с этим к текстильным материалам предъявляется ряд специальных требований, поэтому актуальной является задача модификации уже известных полимерных материалов.

Направленное изменение физико-химических, механических и химических свойств полимеров можно достичь посредством модификации полимеров. Выделяют: структурное, композиционное, химическое и физическое модифицирование [1].

Модификацию можно осуществлять на стадии переработки полимера в изделии; при обработке готового полимера; при обработке готового изделия.

Одним из видов физической модификации при получении полимерных материалов является применение предварительной сверхвысокочастотной (СВЧ) обработки материала[2].

Модификация СВЧ излучением имеет ряд преимуществ: объемное проникновение электромагнитной волны в структуру материала; очень высокая скорость воздействия; не загрязняет изделие в процессе воздействия; возможность регулирования мощности СВЧ излучения [3].

Целью работы является изучение применения СВЧ излучения на стадии предварительной обработки при модификации полиакрилонитрильных волокон огнезамедлительной системой с целью создания пожаробезопасных материалов. Объектами исследования является свежесформованное и кондиционное ПАН волокна.

В качестве исследования выбрана огнезамедлительная система (ОГЗС), содержащая фосфор-бор соединения. Соединения ОГЗС хорошо растворимы в воде и могут быть использованы в качестве

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика пропиточных растворов для полиакрилонитрильных волокон с целью повышения их огнестойкости.

Процесс модифицирования готового волокна включал следующие стадии: предварительную СВЧ обработку; пропитку волокна водными растворами ОГЗС при температуре 20°C при модуле ванны $M_v = 5$; термообработку при температуре 150°C в течении 10 мин.; промывку холодной водой и температурой 40°C, для удаления непрореагировавшего препарата; сушку до постоянной массы.

Пожарная безопасность модифицированного волокна определялась по способности материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения. Кислородный индекс (КИ) модифицированных материалов определим по экспериментально полученному коксовому остатку. КИ рассчитывается согласно формуле (1):

$$КИ = 17,5 + 0,4КО \quad (1)$$

$$КИ = 0,34 КО + 19,6 \quad (2)$$

Эффективность модификации приведена в табл.1.

Таблица 1 Эффективность модификации

Параметры эксперимента	Кислородный индекс		
	СВЧ	Пропитка	Промывка
Состав образца			
Свежесформованное ПАН волокно + ОГЗС	-	27,5	21
	+	31	24
Кондиционное ПАН волокно + ОГЗС	-	24	19
	+	26	20

Высокое преобразование энергии СВЧ излучения в тепловую на стадии предварительного модифицирования ПАН волокон ОГЗС повышает эффективность химической модификации как свежесформованного, так и кондиционного волокна.

Литература

1.В. Я. Кудрявцев. Армирующие химические волокна для композиционных материалов. (Москва: Химия. 1992).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

2.Зубкова, Н.С. снижение горючести текстильных материалов – решение экологических и социально-экономических проблем / Н. С. Зубкова, Ю. С. Антонов // Российский химический журнал. – 2002. – Т. XLVI. - № 1. – С. 96-102.

3.Копылов, В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью / В. В. Копылов, С. Н. Новиков, Л. А. Оксентьевич; Под ред. А. Н. Праведникова. – М. : Химия, 1986. – 224с.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТА
РАСПЛАВА СВИНЦА С1 И КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ**

Стручалин П.Г., Круглов А.Б., Круглов В.Б., Харитонов В.С.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва
+7 (926) 490-40-28, pstruchalin@mail.ru*

Будущее ядерной энергетики связано с развитием реакторных установок на быстрых нейтронах с натриевым (БН) и свинцовым (БРЕСТ) теплоносителями.

Реакторы БН, наиболее освоенные к настоящему времени, характеризуются высокими тепловыми потоками и температурами в активной зоне. Достижение глубоких выгораний топлива в таких условиях возможно при использовании легкоплавких теплопроводящих слоев между топливом и оболочкой, в частности, слоев из свинца и его сплавов. Применение теплопроводящих слоев снижает температуру топлива, его распухание и газовыделение, повышает радиационную стойкость твэлов. Высокая химическая активность свинца, приводящая к его значительному коррозионному взаимодействию с оболочкой, может быть снижена введением в свинец некоторых добавок [1].

Проведенные оценки показали, что в твэлах, при зазоре между топливом и оболочкой в 0,1 мм, термическое сопротивление жидкометаллического теплопроводящего слоя оказывается сопоставимым с термическим сопротивлением границ контакта расплава с топливом и оболочкой. С увеличением глубины выгорания, теплопроводность топлива будет уменьшаться, а термические сопротивления, вероятно, будут возрастать в связи с накоплением на поверхностях топлива и оболочки газообразных продуктов деления. В результате, температура в центре топлива будет увеличиваться.

Указанные выше факторы должны учитываться при проведении расчетов теплового режима твэлов и реакторной установки в целом.

В данной работе проведено расчетное исследование термического сопротивления области контакта поверхности теплообмена и расплава свинца. С использованием геометрической модели обла-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
сти контакта, разработанной на основании анализа изображений
контактных поверхностей стали и свинца, проведен расчет кон-
тактных сопротивлений между расплавом свинца и поверхностью
стали ЭП-823. Результаты расчетов сопоставлены с эксперимен-
тальными данными, полученными методом нагрева импульсом ла-
зера свинца и его сплавов в тиглях из сталей ЭП-823 и 12Х18Н10Т
[2].

Литература

1. • Орлова Е.А., Круглов А.Б., Чуваев Д.В., Стручалин П.Г., и др. Тепловые характеристики твэла со свинцово-магниевым под-
слоем. Вант. Серия: ядерно-реакторные константы, выпуск 4, с 95 –
98, 2016;.

2. • A. B. Kruglov, V. B. Kruglov, P. G. Struchalin, V. S. Khari-
tonov et al., Thermal Conductivity of Pb-Mg-Zr Alloys and the Thermal
Resistance of the Interface Between Alloys and EP-823 Steel in the
Temperature Range of 300 - 900 °C. Bulletin of the Lebedev Physics
Institute, Volume 43, Issue 10, Pages 302-305, 2016.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ПРОГРАММА РАСЧЕТА КИНЕТИКИ РЕАКТОРА
ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ МОЩНОСТИ И РЕАКТИВНОСТИ**

Тобелев Л.Д., Ефимов Е.И.

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград
89297951637, noob.ko.desu@gmail.com*

Одним из параметров в модели расчёта кинетики реактора является реактивность, характеризующая степень отклонения реактора от его критического состояния.

Известно 2 варианта исследования временного режима (кинетики) реактора.

По варианту I зависимость мощности ядерного реактора от времени определяют системой дифференциальных уравнений [1], состоящей из нестационарного диффузионного уравнения второго порядка по координатам для потока Φ тепловых нейтронов и 6-и уравнений для скорости изменения концентрации осколков деления (ядер-эмиттеров) C_i , испускающих запаздывающие нейтроны :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D\Delta\Phi - \Sigma_a\Phi + S \quad \text{и} \quad \frac{\partial C_i(t)}{\partial t} = \beta_i k_{\infty} \Sigma_a \Phi - \lambda_i C_i, \quad (I)$$

Путём упрощений и допущений, задачу сводят к случаю точечного реактора с одной группой запаздывающих нейтронов, характеризуемой средневзвешенной постоянной распада λ . Тогда решение системы (I) можно представить аналитической формулой [2, с. 30] для плотности потока нейтронов в зависимости от времени. В частности для параметров $l = 0,001$ с; $\lambda = 0,077$ с⁻¹; $\beta = 0,0064$ и реактивности $\rho = 0,003$:

$$n_r = \Phi/\Phi_0 = 1,88 \exp(0,07t) - 0,88 \exp(-3,4t), \quad (1)$$

где $\Phi = \nu n$, $\Phi_0 = \nu n_0$, ν – скорость нейтронов в односкоростном приближении.

По варианту II изначально рассматривают точечную модель реактора с одной группой запаздывающих нейтронов при слабых возмущениях критичности [3]. Такая модель приближенно описывает временное поведение мощности реактора системой двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\rho - \beta}{l} n + \lambda C_1 \quad \text{и} \quad \frac{dC_1}{dt} = \frac{\beta}{l} n - \lambda C_1 \quad (II)$$

Нами предпринята попытка выяснить, какой из этих двух вариантов решения уравнений кинетики реактора лучше подходит для анализа изменения потока нейтронов, а также мощности реактора, при многократных скачках реактивности. С этой целью составлена универсальная программа CNR численного решения системы дифференциальных уравнений (II), а кроме того, для $\rho = 0,003$ методом исключения получено аналитическое решение:

$$n_r = n/n_0 = 1,815\exp(0,0652t) - 0,815\exp(-3,54t), \quad (2)$$

$$C_r = C/C_0 = 0,982\exp(0,0652t) + 0,018\exp(-3,54t), \quad (3)$$

при выводе которого приняты те же значения l, λ, β , что при выводе функции (1). В формулах (2), (3) n_0 и C_0 – плотность нейтронов и концентрация ядер-эмиттеров перед скачком реактивности.

Функции (1), (2) характеризуются точкой перегиба в момент времени $t_{п} \approx 2$ с. В этот момент относительное расхождение значений этих функций достигает около 5%.

Численное решение системы дифференциальных уравнений (II) реализовано по методу Эйлера на языке Free Pascal. Программой CNR на экран выводится таблица значений функций n_r, C_r и их производных $dn_r/dt, dC_r/dt$ в зависимости от времени. В программе предусмотрены возможности выбора временного интервала выводимых значений и его деления на более мелкие шаги по времени dt для уточнения вычислений. Результаты определения n_r и C_r по программе CNR совпадают с аналитическим решением (2), (3) в пределах погрешности около 0,01%.

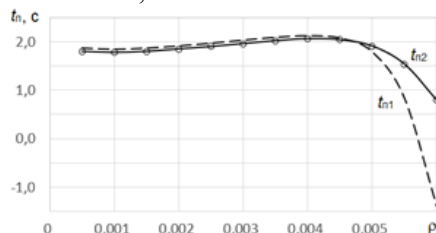


Рис. 1. Зависимость положения перегиба $t_{п1}$ от реактивности ρ на графиках функции (2) и точек перегиба $t_{п2}$ на графиках, построенных путём численного решения системы (3).

Как видно из рисунка, при $\rho > 0,0055$ время, соответствующее положению точки перегиба $t_{п1}$, определяемое по решению системы (I), становится отрицательным, что лишено физического смысла. Напротив, определяемое программой CNR положение точек пере-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика гибя $t_{п2}$ остаётся, как и должно быть, в положительной области по оси времени. Следовательно, система уравнений (II) лучше описывает кинетику точечного реактора, чем система уравнений (I).

Из анализа системы (II) следует, что в момент времени $t = 0$ сразу после скачка реактивности $dn_r/dt = \rho/l$, $dC_r/dt = 0$. Этим формулам в точности соответствуют результаты программы CNR. Согласно формулам (2), (3) при $t \rightarrow \infty \lim[n_r(t)/C_r(t)] = 1,815/0,982 = 1,847$. Именно к этому значению асимптотически приближается построенная по программе CNR функция $[n_r(t)/C_r(t)]$ после точки перегиба.

Показано, что по программе CNR можно строить графики изменения мощности реактора, когда промежутки времени между последовательными скачками реактивности не превышают времени переходного режима реактора, соответствующего положению точки перегиба $t_{п}$.

Предлагаемая к свободному доступу программа CNR может служить основой для разработки студенческих лабораторных работ по кинетике и динамике ядерных реакторов. Данная программа также выполнена на языке Python, что повышает вариативность ее использования.

Литература

1. Г. Судэк, Э. Кэмпбелл. Элементарная теория котла. Успехи физических наук, т. XLII, вып. 1. 1950 г.
2. Б. А. Дементьев. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.—272 с: ил.
3. О.Д. Казачковский. Временной режим реактора. Физический энциклопедический словарь. Т. 1. М., Гос. научн. изд-во «Советская энциклопедия», 1960, с. 331.

Тобелев Л.Д., Иванов А. В.

ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Дмитровград
89297951637, noob.ko.desu@gmail.com

Один из первых энергетических реакторов ВВЭР-210 был нами выбран, поскольку по нему имеется наибольшее количество экспериментальных данных. Для учебных целей упрощенное методическое пособие [1] до сих пор представляет несомненный интерес, поскольку содержит множество формул с арифметическими расчётами с точностью логарифмической линейки, доведёнными до конкретных чисел, которые могут быть взяты как опорные при отладке программ, составляемых на современных языках высокого уровня. В расчёте ядерного реактора вычисленные величины изменяются в пределах от 10^{-24} до 10^{24} .

С целью оценки погрешности вычислений расчета ядерных реакторов в настоящей работе составлена программа PWR_210 на языке программирования Free Pascal. Наша программа форматирует выводимые результаты в соответствии с данными с точностью логарифмической линейки. Поскольку в нём при записи значений любой вычисленной физической величины a её абсолютная погрешность Δa не указывается, то считаем, что эта погрешность не превосходит одной единицы последней значащей цифры числа. При решении физических задач значащими принимают все цифры в десятичном изображении, кроме нулей, стоящих в начале числа.

Во Free Pascal формат real предусматривает вывод до 11 знаков после запятой. Так как форматирование чисел, выводимых на экран, не изменяет число их значащих цифр в ячейках памяти, то относительной погрешностью любого приближённого с точностью логарифмической линейки числа a будет величина

$$\delta a = \Delta a / |A - a|, \quad (1)$$

где A – значение той же физической величины a , но вычисленное по нашей программе PWR-210.

Ниже в качестве примера приведена программа теплового расчёта PWR-210t.pas (3 КБ), как часть всей программы PWR-210.pas (38 КБ).

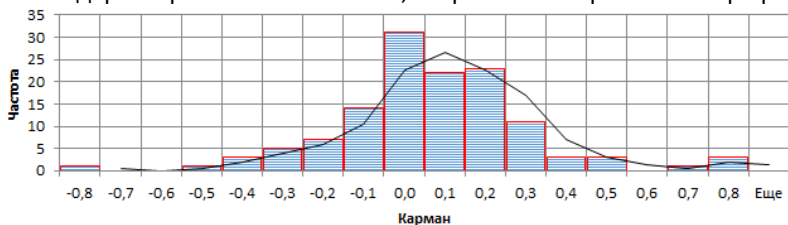


Рис. Распределение относительной ошибки округления.

Построена гистограмма и линия тренда, которая указывает на то, что распределение является близким к симметричному. Нами рассчитано в Excel при помощи статистической функции СКОС численное значение асимметрии распределения результатов:

$$As = \sum_{i=1}^{128} (\delta a_i - \overline{\delta a})^3. \quad (2)$$

Дисперсия асимметрии рассчитана по формуле:

$$D(As) = 6(n - 1)/[(n + 1)(n + 3)], \quad (n = 128). \quad (3)$$

Распределение относительной погрешности δa симметрично при условии, что $|A| \leq 3\sqrt{D(As)}$. Для наших данных

$$As = \text{СКОС} = \mathbf{0,16} \ll 3\sqrt{D(As)} = \mathbf{0,64},$$

что несомненно указывает на симметрию гистограммы.

По разработанным нами программам PWR-210 расчёта водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-210 установлено, что средний модуль относительной погрешности расчетов около 130 физических величин, приведенных в работе [1, с. 109 - 120], составляет $\approx 0,03\%$. Такая точность позволяет выявить корреляцию между мощностью и рядом характеристик таких как средний тепловой поток на поверхности ТВЭЛов, средняя удельная энергетическая нагрузка, максимальная скорость в среднем сечении реактора и прочее.

Предлагаемая к свободному доступу программа PWR_210 может служить основой для разработки студенческих лабораторных работ по расчёту ядерных энергетических судовых установок.

Литература

1. Румянцев, Г.Я. Расчёт ядерных реакторов на тепловых нейтронах / Г.Я. Румянцев. – М.: Атомиздат, 1967. – 124 с.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РЕГИСТРАЦИЯ И ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА**

Титов А.И.^{1,2}, Чермошнецев Д.А.^{1,2}

¹ МФТИ(ГУ)

² ИЯИ РАН

8-915-041-89-06, santitov2008@gmail.com

На линейном ускорителе ИЯИ РАН постепенно развивается диагностика на основе регистрации различных оптических изображений, формируемых пучком, например, люминесцентные экраны, ионизационные мониторы, монитор свечения остаточного газа. [1]. Несколько лет назад такая система диагностики была востребована в одном месте, сейчас – в пяти различных местах ускорительного комплекса.

Основная проблема этого типа диагностики – радиационная стойкость устройств видеосъемки (CMOS-, CCD-камеры, и т.д.). В случае сильноточного ускорителя эти устройства должны быть удалены от оси пучка на несколько метров, причем наилучшее их расположение - за локальной защитой в данной точке или даже за основной защитой ионопровода (технологические коридоры и помещения, подвальные этажи), когда длина оптической трассы может достигать десятка метров.

Целью данной работы является построение зеркально-линзового тракта со следующими характеристиками:

1) Физические: отсутствие траекторных потерь светового потока в рамках геометрической оптики, максимально возможный коэффициент захвата светового потока с учетом технологических требований и диаметра светоизлучающей области в пределах 10-100 мм.

2) Технологические: масштабируемость из набора базовых секций, защита от попадания пыли на оптические элементы, отсутствие внешних и внутренних бликов, жесткая фиксация оптических элементов и соседних секций друг с другом, возможность ручной регулировки и фиксации положения отдельной линзы вдоль секции, крепление системы к внешним опорным стойкам.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
Прежде, чем начать собирать данный тракт, необходимо
рассчитать необходимые оптимальные параметры, для этого используется пакет мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics. В нем строится модель тракта, рассчитываются параметры, которые удовлетворяют поставленной задаче, изучается величина световых потерь. Сразу было поставлено ограничение на число элементов тракта: не более 3 зеркал, не более 9 линз. Нельзя забывать и о масштабируемости системы. Все элементы тракта максимально приближены к реальности. [1].

После создания оптимальной модели, её необходимо спроектировать. Для данной задачи используется пакет Solidworks. В нем идеальная модель будет подогнана под реальные технологические требования и возможности.

Параллельно с реализацией тракта ведется работа по созданию способа численной компьютерной обработки видеоизображения, получаемого через такой тракт (или без него) при регистрации под произвольным углом. Данное приложение должно быть создано в LabVIEW.

Литература

1. С.А. Гаврилов. Ионизационный монитор поперечного сечения ускоренного пучка заряженных частиц.
2. Г.С. Ландсберг. Оптика.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА БЫСТРЫХ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ГАММА-ТЕЛЕСКОПА «ГАММА-400» И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО
НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Тон О., Гальпер А.М., Руңцо М.Ф.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
8 916 687 37 34, ton_koreec@mail.ru*

Современные фундаментальные исследования по космологии, астрономии, физике частиц высоких энергий и космических лучей ставят ряд проблем, которые нельзя решить без привлечения результатов исследований по внеатмосферной гамма-астрономии высоких энергий (10^8 - 10^{12} эВ). Для исследования гамма-излучения в диапазоне высоких энергий и получения данных для определения природы «темной материи» во Вселенной, развития теории происхождения высокоэнергичных космических лучей и физики элементарных частиц, потребовалось создание аппарата с лучшим угловым и энергетическим разрешением по сравнению с существующими на сегодняшний день (FERMI LAT, AMS-02). Для решения вышеуказанных проблем создан международный проект «Гамма – 400» [1]. В состав гамма-телескопа «ГАММА-400» входят следующие системы и детекторы: антисовпадательная система (АС), конвертер - трекер (К), времяпролетная система (ВПС), координатно-чувствительный калориметр (КК1, КК2), сцинтилляционные детекторы калориметра (СДК), система формирования триггерных и счетных сигналов (СТ). В быстрых сцинтилляционных детекторных системах АС, ВПС и СДК, имеющих размеры каждого из детекторов 1000×1000 мм² и разбитых на полосы с размерами $1000 \times 100 \times 10$ мм³ предполагается использовать наиболее перспективные кремниевые фотоумножители (SiPM), которые для космического научного приборостроения удовлетворяют строгим ограничениям: широкий диапазон рабочих температур, устойчивость к механическим воздействиям, работоспособность в вакууме, минимальная чувствительность к магнитному полю [2], [3].

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Разработана оптимальная конструкция крепления SiPM к быстрому пластмассовым сцинтилляторам BC-408. Была выполнена конструкторская документация и 3D модель в системе автоматизированного проектирования (AutoCad и UG NX 8.5).

На основании выполненной конструкторской документации были собраны элементы макета детектора. Были произведены измерения амплитудных характеристик. При регистрации частиц космического излучения, были измерены амплитудные спектры с детекторов АС, С1, С2, С3 с управлением от дополнительных детекторов и от совпадений сигналов SiPM, расположенных на противоположных торцах детекторов. По результатам измерений была определена эффективность детекторов. При общем числе событий 20000 эффективность детектора соответствует 99,995 %.

Литература

1. Технический проект. Пояснительная записка. Комплекс научной аппаратуры «ГАММА-400». Книга 1. Назначение и область применения. КБМШ.400001.000 ПЗ кн. 1 (2014).
2. Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучений. (Дубна : Объединенный ин-т ядерных исследований, 2014).
3. П.Ж. Бужан, Е.А. Георгиевская, Б.А. Долгошеин, А.Л. Ильин, В.А. Канцеров, В.А. Каплин, А.И. Каракаш, С.Н. Клемин, А.Д. Плешко, Е.В. Попова, С.Ю. Смирнов, Л.А. Филатов. Твердотельный электронный умножитель многоцелевого назначения на основе гейгеровских микроячеек. (М: Прикладная физика, 2003).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ МАЛОГО НАГРЕВА
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ И ФАКТОРА ПОТЕРЬ
НА БЕЗВОДОРОДНОМ МАСЛЕ FOMBLINTM С
РАЗЛИЧНЫМ СРЕДНИМ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВЕСОМ**

Турлыбекулы К.^{1,2}, Лычагин Е.В.²

1 Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Университет «Дубна», Дубна

*2 Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной физики им. И.М Франка, Дубна
+7(999)963-82-36, kilishbek-t@mail.ru*

Нейтроны очень низких энергий ($\approx 10^{-7}$ нэВ) которые называются ультрахолодными (УХН), обладают уникальным свойством — их можно хранить в материальных и магнитных ловушках [1]. Это явление дает новые возможности для проведения экспериментов и изучения некоторых вопросов фундаментальной физики, физики частиц, атомного ядра и астрофизики [2]. Один из таких экспериментов — измерение времени жизни свободного нейтрона.

Настоящая работа является частью подготовки к эксперименту по измерению времени жизни нейтрона. Целью работы является сравнение различных типов безводородного масла Fomblin¹ по вероятности полных потерь и вероятности малого нагрева для определения наиболее подходящего масла, которое можно использовать в качестве покрытия стенок ловушки УХН в планируемом эксперименте по измерению времени жизни нейтрона.

В данной статье обработаны экспериментальные данные измерений, проведённых с целью определить вероятность так называемого «малого нагрева» и коэффициент потерь УХН на поверхности различных типов безводородного масла Fomblin. Явление «малого нагрева» — неупругое отражение УХН с малой передачей энергии, является источником систематических

¹Fomblin — торговое название фторполимерных жидких соединений, имеющих различные физические свойства и широкую область применения, например в вакуумной технике [3].

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика погрешностей в эксперименте по измерению времени жизни нейтрона. Минимальный коэффициент потерь необходим для уменьшения вероятности поглощения УХН на стенках. В результате измерений сделан вывод о том, какой именно тип масла лучше подходит для покрытия объёма хранения УХН при измерении времени жизни нейтрона.

Литература

1. Зельдович Я.Б.- ЖЭТФ, 1959, т.36, с.1952.
2. Серебров А.П., УФН 185(11)1179-1201 (2015)
3. http://www.solvay.com/en/binaries/Fomblin-PFPE-Lubes-for-Vaccum-Applications_EN-220533.pdf

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МИКРОИСТОЧНИК ДЛЯ НИЗКОДОЗОВОЙ
БРАХИТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ ИТТЕРБИЯ-169**

**И.С. Тычкин¹, С.В. Акулиничев², Ю.Н. Анохин¹,
С.А. Чаушанский², С.А. Артамонов¹.**

¹*ИФИБ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

²*Институт ядерных исследований РАН, г. Москва*

Изготовление радиоактивных источников на основе йода-125 и палладия-103 требует применения радиохимических технологий и сборки с манипуляторами, выполняемых в горячих камерах, что значительно удорожает процесс изготовления источников. Предлагается технология, которая бы полностью «обеспечивала холодную» сборку таких источников. После активации собранного «холодного источника» в реакторе на тепловых нейтронах, радиационные характеристики «горячего» источника (спектр, активность) соответствовали бы требуемым значениям, после 1-3 дневной выдержки. Источники на основе иттербия-169 с сердечником из кварцевого стекла, легированного иттербием, даст возможность создать технологию без сборки в «горячей камере» и сборки с манипуляторами, что сильно упростит сам процесс сборки и транспортировки источников, а также существенно уменьшит цену источника по сравнению с зарубежными.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МУЛЬТИСЕКТОРНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ
ДЕТЕКТОР ШАЛ НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННОГО
СВЕТОСБОРА**

Унатлоков И.Б., Ампилогов Н.В., Яшин И.И.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия
конт. тел. 8-968-685-68-42, e-mail: unatlokov@mail.ru*

В настоящее время в НОЦ НЕВОД (НИЯУ МИФИ) создается установка НЕВОД-ШАЛ [1] для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) совместно с другими детекторами экспериментального комплекса. В настоящее время развернута центральная часть установки НЕВОД-ШАЛ, которая представляет собой массив детекторов, расположенных на крышах лабораторных корпусов МИФИ вокруг комплекса НЕВОД. Сцинтилляционный детектор центральной части НЕВОД-ШАЛ представляет собой счетчик пирамидальной формы, в котором ФЭУ направлен перпендикулярно плоскости сцинтиллятора и собирает фотоны от сцинтилляционных вспышек. Для увеличения площади установки был разработан новый детектор на основе мультисекторного детектора, созданного для эксперимента БАРС-ШАЛ [2].

Мультисекторный сцинтилляционный детектор на основе оптоволоконного светосбора представляет собой конструкцию из восьми трапециевидных сцинтилляционныхборок, расположенных в виде восьмиугольника в светоизолированном влагозащищенном корпусе (см. рис.1). Чувствительная площадь детектора составляет 1 м². Каждая сборка состоит из двух пластин из пластического сцинтиллятора толщиной по 2 см, между которыми расположен слой оптического силикона с вклеенными оптическими спектрорасширяющими волокнами (Kuraray Y-11, диаметр 1 мм, Япония). Из каждой сцинтилляционной сборки выходит по 11 оптических волокон, которые собраны в центре конструкции в пучок, который направлен к входному окну ФЭУ-115М.

ФЭУ-115М имеет динамический диапазон ~104 ф.э., коэффициент усиления ~106 при рабочем напряжении питания 2100 В. Фотокатод ФЭУ-115М оптимизирован для регистрации зеленой части

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика видимого спектра. Исследование характеристик детектора показали, что детектор имеет хорошо разрешимый мюонный пик (световых выходов около 67 ф.э.), неоднородность одного сектора $\sim 9\%$, при использовании светопоглощающих масок, которые компенсируют неравномерность расположения спектросмещающих волокон. В настоящее время идет сборка первого кластера второй очереди установки НЕВОД-ШАЛ.

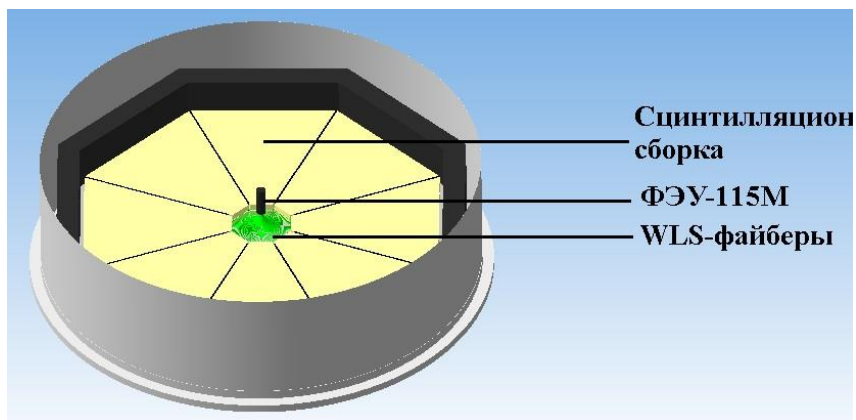


Рис.1. Мультисекторный сцинтиляционный детектор

Литература

1. И.А. Шульженко, М.Б. Амельчаков, Н.С. Барбашина и др. Проект установки НЕВОД-ШАЛ для регистрации широких атмосферных ливней. Известия РАН. Серия физическая. 2013. Т. 77.
2. Амельчаков М.Б. и др. Проект эксперимента БАРС-ШАЛ для поиска новых физических процессов в космических лучах. // Изв РАН, сер.физич. 2005. Т. 69, С. 391.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СПОСОБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
УЗКОПРОФИЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ КАНАВОК В
КОРПУСНОМ ОБОРУДОВАНИИ ОТВЕТСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

Усманов М.З.^{1,2}, Терехов В.М.², Винников В.С.²

¹ НИЯУ МИФИ, г. Москва

² ЗиО-Подольск, Московская область, г. Подольск
8-916-372-86-72, marat12u@yandex.ru

Объектом, рассматриваемым в докладе, является технология и инструмент для механической обработки узкопрофильных кольцевых канавок в корпусном оборудовании.

Актуальность работы подтверждена:

1. Постановлением Правительства РФ N 715 от 19 августа 2013 г. "Об осуществлении бюджетных инвестиций в строительство 2 серийных универсальных атомных ледоколов" утверждена стратегия постройки двух атомных ледоколов и развития атомного флота Российской Федерации в 2015-2020 годах [1].

2. Государственным заказчиком Государственной корпорацией по атомной энергии "Росатом", и заказчиком (застройщиком) - ФГУП «Атомфлот».

Цель работы: разработка и внедрение новой технология механической обработки и конструкции трепанирующей головки для:

1. снижения цикла механической обработки каждой узкопрофильной кольцевой канавки в корпусе морского реактора;
2. обеспечения геометрических параметров разгрузочного канала патрубка приварки кассет парогенератора.

Перед «ЗиО-Подольск» поставлена задача изготовления в установленные сроки нового реактора для атомного ледокола «Арктика». Одной из сложнейших операций стало выполнение узкопрофильных кольцевых канавок, для решения которой не было аналогов, кроме обработки резцом конструкции "ОКБМ Африкантов". Сложность обработки данного паза состоит в том, что отношение диаметра к ширине паза составляет - 28, а отношение глубины к ширине паза - 8,5, и протяженность 310 мм от «зеркала» патрубка до его донной части.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Для решения данной задачи проанализированы конструкции режущего инструмента[2], проведены исследования данного вопроса[3], составлены и внедрены в производство технологические рекомендации.

Используя разработанные технологические приёмы, обеспечены геометрические параметры разгрузочного канала патрубка приварки кассет парогенератора. Как результат, снижен цикл изготовления каждой кольцевой канавки с 6 суток до 7 часов. Результаты испытаний внедрены в производство. Подана заявка в РОСПАТЕНТ на предполагаемое изобретение.

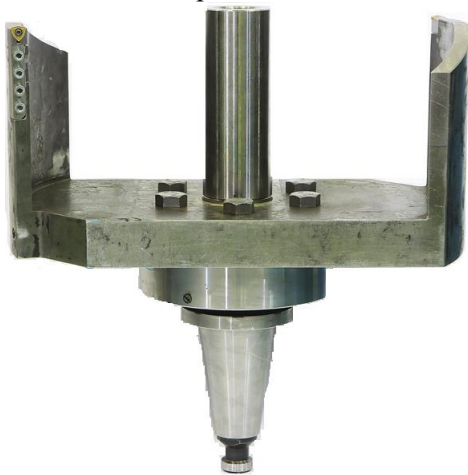


Рис.1. Изображение, разработанного и изготовленного инструмента.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 августа 2013 г. № 715 г. Москва "Об осуществлении бюджетных инвестиций в строительство 2 серийных универсальных атомных ледоколов".

2. Патент США US 20030026668 A1.

3. Н. Д. Троицкий. Глубокое сверление. (Л: Машиностроение», 1971).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ
ПРОЦЕССАХ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ ВВЭР-1000/1200**

Филонов В.В.¹, Филонова Ю.С.²

^{1,2} НТУУ «КПИ им. И.И. Сикорского», Киев
+38 (093) 596-84-65, filonov.vladislav@mail.ru

Специфическим возбудителем гидродинамических автоколебаний в активной зоне может быть само топливо, которое способно излучать акустические волны возбуждения. В условиях отсутствия анизотропии топливную таблетку можно рассмотреть, как термоупругий элемент [1]. В стационарных режимах поле энерговыделения в таблетке осесимметрично, следовательно, в термическом механизме генерации акустической волны [2] отсутствует неоднородность, вызванная изменением температурного поля. Нестационарные процессы приводят к тому, что локальные области имеют разную степень расширения. Рассмотрим классический пример введения отрицательной реактивности, иными словами изменения нейтронной мощности реактора. В термоупругой постановке распространение акустической волны без учета эффектов отражения может быть описано уравнениями (1). В предположении осевой симметрии задача несколько упрощается.

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{c_p} \frac{\partial Q}{\partial t} \\ Q(x, y, z, t) \approx \frac{q_v^0}{\rho_{uO_2}} J_0 \left(\frac{2,405}{R_{\text{max}}} \sqrt{x^2 + y^2} \right) \cos \left(\frac{\pi}{H} z \right) \left[0,81e^{-0,025t} + 0,319e^{-9,4t} \right] \end{array} \right. \quad (1)$$

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что амплитуда акустической волны может достигать нескольких десятков паскаль (рис 1).

Вопрос о том, какое влияние с практической точки зрения могут оказать данные акустические волны на образование общей автоколебательной картины, остается по-прежнему открыт. Также возникает вопрос о возможности идентификации данных волн существующими системами акустической спектрометрии, а именно их отделения от шумов, вызванных аномальными гидродинамическими процессами [2].

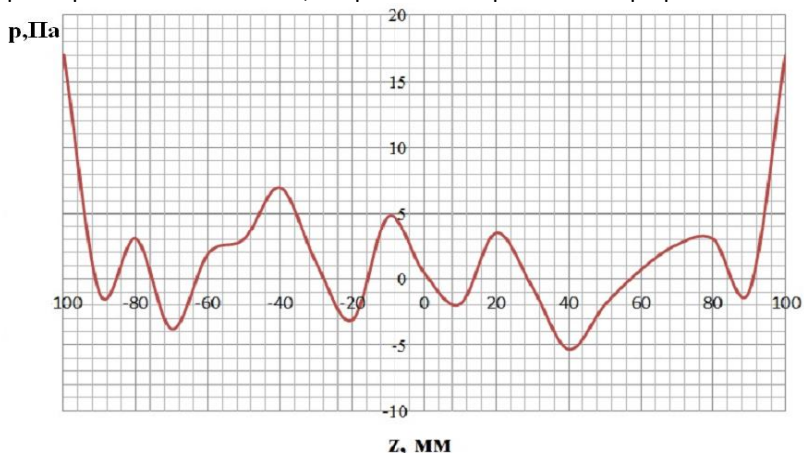


Рисунок 1 – Распределение акустического давления на линии, проходящей параллельно аксиальной оси (через точку 2 мм; 2 мм; 0) в фрагменте набора топливных таблеток в момент времени 0.1 с

Несмотря на то, что общая генерируемая акустическая мощность в ТВЭЛ мала, в интегральном соотношении для всей активной зоны эта величина имеет достаточное значение для возбуждения колебаний в системе с пульсацией в несколько десятков паскаль. Например, которая может быть получена в теплоносителе с несущей частотой 2000π и амплитудой объёмного энерговыделения за счет замедления нейтронов в 2 МВт/м^3 при условии отсутствия акустических потерь при переходе волны между средами.

Литература:

Воловик В.Д. О генерации упругих волн пучками заряженных частиц в стабильных жидкостях / В.Д. Воловик, А.И. Калиниченко, В.Т. Лазурик, Г. Ф. Попов. // ЖТФ. 1979. Т.49, № 6. С. 1343-1345.

Божков А.И. Исследование волновой зоны термооптического излучателя / А.И. Божков, А. И. Маляровский, В.Г. Михайлович // Акуст. журн. 1979. Т.25, № 6. С. 820-824.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЭКСПРЕСС МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ
НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ ТВС В ВОДО-ВОДЯНЫХ
РЕАКТОРАХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ**

Фирсов Г.А., Ефимов Е.И.

*ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград
тел. 89278337170, jotto07@mail.ru*

Основным препятствием на пути увеличения коэффициента использования установленной мощности для АЭС, работающих в базовом режиме, является перегрузка ядерного топлива. Планово-предупредительный ремонт обычно планируют на срок перегрузки. Поэтому для решения задачи повышения энерговыработки целесообразно было бы уменьшить время перегрузки. Критический путь перегрузки в значительной степени определяется контролем герметичности оболочек (КГО) твэлов.

Собственно, КГО одной тепловыделяющей сборки (ТВС) проводится в течение 30 минут. С учетом транспортно-технологических операций на контроль одной ТВС практически уходит 2 часа. КГО увеличивает длительность перегрузки на время, необходимое для его проведения.

Фактически имеет место следующее распределение времени КГО одной ТВС: 30 мин – извлечение кассеты из реактора и перемещение к пеналу; 30 мин – установка кассеты в пенал и его герметизация; 30 мин – проведение КГО; 30 мин – разгерметизация пенала и извлечение из него кассеты. Наиболее длительная операция – извлечение ТВС, которая осуществляется со скоростью, не превышающей 0,3 м/мин. Перемещение же ТВС вне активной зоны возможно со скоростью 15 м/мин. Таким образом, затратами времени на передвижение ТВС по горизонтали можно пренебречь.

Все методы контроля основаны на загрузке ТВС в замкнутый объем, в который принудительно выводят продукты деления и из которого отбирают пробы для радиохимического анализа. В зависимости от выбора среды (вода или пар), заполняющей замкнутый объем, различают "мокрый" и "сухой" способы контроля.

Таким образом, все известные способы обнаружения разгерметизированных твэлов имеют существенный недостаток: большое

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика время проведения измерений и необходимость осуществления дополнительных транспортно-технологических операций. В связи с этим необходимо предложить и разработать новые методы КГО твэлов, позволяющих определить ТВС с негерметичными твэлами без дополнительных затрат времени, т.е. в процессе выполнения штатной транспортно-технологической операции, например, при извлечении ТВС из активной зоны.

Перспективным методом контроля равномерности делящегося материала в топливном сердечнике является метод активного гамма-сканирования, сущность которого заключается в кратковременной экспозиции каждого участка твэла в нейтронном поле и в последующей регистрации гамма-излучения от короткоживущих осколков деления.

Так как в основном изотопы продуктов деления являются радиоактивными, можно сделать предположение, что анализ их распределения, проведенный на основе измерения собственного излучения, и сопоставления с расчетными значениями активности газовых и летучих продуктов деления позволит определить наличие истечения газов через оболочку.

Сначала приводятся данные об образовании продуктов деления для топлива энергетических реакторов. Также известно, что, используя собственное γ -излучение топливной матрицы, можно определить активность, и, следовательно, количество продуктов деления, находящихся в твэле [1]. Регистрируемые изотопы удобно разделить на три класса: газообразные, возгоняющиеся и твёрдые. Газообразные (инертные газы) слабо взаимодействуют с материалами активной зоны, и закономерности формирования их активности легче всего описать в рамках простой физической модели, основанной на процессе миграции продуктов деления в матрице топлива при температурной диффузии [2]. Возгоняющиеся (йоды, цезии и рубидии) при температурах, которые имеют место в матрице горючего, находится в газообразном состоянии, и поведение их сходно с поведением инертных газов. Степень или характер негерметичности даёт детальный анализ “твёрдых” продуктов деления, главным образом стронция, бария и урана, имеющих в теплоносителе на момент измерения. Наибольший интерес представляет измерение активности отдельных элементов первой или второй группы классификации продуктов деления [2].

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Отклонение измеренной активности некоторых продуктов деления от нормируемых табличных значений на заданную величину позволит сделать вывод об их отсутствии в топливной матрице и сделать предположение о том, что легкоподвижные элементы через микротрещину покинули пространство под оболочкой под действием перепада давления. Другими словами, можно зарегистрировать факт разгерметизации оболочки.

Однако, для реализации описанного способа необходимо разработать спектрометр на основе полупроводникового детектора (например Ge-Li), который позволил бы в течение заданного интервала времени и при заданных условиях провести измерение γ -излучения топливной матрицы. К тому же для повышения точности и достоверности измерений можно определить по табличным данным отклонение активности некоторых подвижных элементов из первой или второй группы по отношению к элементам пятой группы, которые растворяются в топливе и не выходят за пределы топливной матрицы.

Предложенный метод беспроботборной γ -спектрометрии активности теплоносителя первого контура реакторов типа ВВЭР-1000 существенно повышает информативность о состоянии активной зоны реактора. Кроме того, он позволяет отказаться от неоперативных и трудоёмких радиохимических методов анализа и автоматизировать весь процесс анализа и оценки состояния активной зоны. Мы считаем, что это самый эффективный способ обнаружения негерметичных ТВС, так как практически весь процесс анализа негерметичности сводится к 15-20 минутам, необходимым для измерения γ -спектров спектрометром.

Список литературы:

1. В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов, П.А. Ружанский, В.Д. Сидоренко. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 382 с.
2. Л.П. Хамьянов. Состояние и перспективы развития методов радиационно-технологического контроля на АЭС // Атомные электрические станции. Вып. 4. – М.: Энергоиздат, 1981. – С. 51-55.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ОЦЕНКА УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ^{99}Mo ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИШЕНЕЙ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ
НА РЕАКТОРЕ ВВР-Ц**

Фомин Р.В.¹, Колесов В.В.¹, Зевякин А.С.¹, Кочнов О.Ю.²

1 ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», Обнинск

2 АО «НИФХИ им. Л.Я. КАРПОВА», Обнинск

конт. тел: 8(920) 871-15-54, e-mail:RVFomin@mephi.ru

В настоящий момент расширение производства радионуклида медицинского назначения ^{99}Mo для диагностики онкологических заболеваний по-прежнему является актуальным. Поэтому увеличение наработки этого изотопа в филиале НИФХИ им. Л.Я. Карпова (г. Обнинск) является важной народно-хозяйственной задачей. Основное внимание при этом может уделяться модернизации мишеней, располагающихся в технологическом канале в активной зоне реактора.

В работе [1] была представлена прецизионная модель активной зоны реактора ВВР-ц, позволяющая проводить расчетные исследования по улучшению наработки ^{99}Mo в технологических каналах. При этом увеличение наработки ^{99}Mo может быть получено как с помощью модернизации мишеней, так и с помощью улучшения нейтронно-физических характеристик активной зоны реактора [2].

Первоначальная модернизация мишени заключалась в создании быстроразборной мишени по типу «труба в трубе». Между внутренней и наружной трубами помещается смесь высокообогащенного U_3O_8 и ZnO . Одновременно в канал устанавливается не более двух мишеней. За счет конструкции в модернизированной мишени обеспечивается охлаждение протекающей через нее водой и более полно используется пространство канала. Однако при такой конструкции мишени центральная часть трубы не используется, поэтому был рассмотрен модернизированный вариант мишени (рисунок 1).

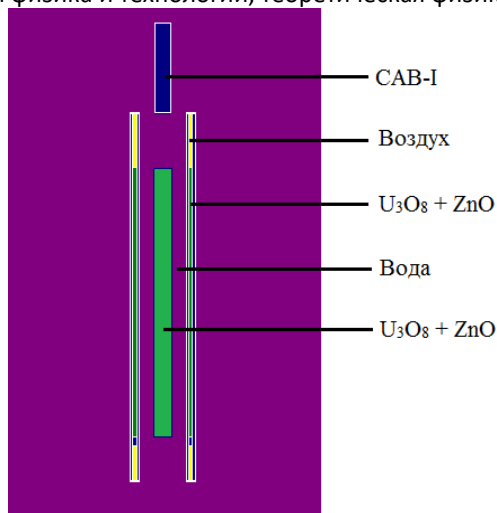


Рис.1. Модель модернизированной мишени для наработки ^{99}Mo

Проведенные расчетные исследования показывают возможность увеличения наработки ^{99}Mo на 20%. Основные проблемы при использовании такой модернизированной мишени связаны с увеличением энерговыделения в мишени, которое также возрастает на 18% и уменьшением проходного сечения, что приводит к увеличению температуры воды.

Литература

1. В.В. Колесов, О.Ю. Кочнов, Р.В. Фомин. Оценка увеличения производства ^{99}Mo при различных компоновках активной зоны на реакторе ВВР-ц. Ядерная энергетика, Изв. ВУЗов, №1, 2013, с.110-116.
2. R.V. Fomin, V.V. Kolesov, O.Yu. Kochnov. Modernization of the VVR-TS reactor core for the increasing of the radionuclides production. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 781 012031(2017).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**РЕЖИМНАЯ ДИАГНОСТИКА РЕАКТОРА БН-600 С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА
АРГУМЕНТОВ**

Челебиев Р. А., Скоморохов А. О.

*ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск
89208901110, rkchelebiev@gmail.com
ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*

Цель работы заключается в построении диагностической модели АЭС при помощи метода группового учёта аргументов (МГУА). Для построения диагностических моделей были выбраны следующие первичные параметры: мощность реактора, обороты трёх ГЦН и температуры на входе и выходе шести ПТО, основанные на использовании базы данных по режимным параметрам реактора БН-600.

В качестве диагностических признаков использовались рассогласования между температурами на выходе различных ПТО и соответствующими оценками, полученными по моделям вида:

$$T_{\text{ВЫХ}} = f(N_p, \vec{G}, \vec{T}_{\text{ВХ}})$$

где \vec{G} и $\vec{T}_{\text{ВХ}}$ - векторы расходов и температур теплоносителя на входе реактора, $\vec{T}_{\text{ВЫХ}}$ - температура теплоносителя на выходе реактора.

Метод группового учёта аргументов выполняет эвристическую самоорганизацию математических моделей сложных систем. Под термином самоорганизация понимается “процесс самопроизвольного (спонтанного) увеличения порядка, или организации в системе, состоящей из многих элементов, происходящий под действием внешней среды” [1]. Данный метод основан на рекурсивном селективном отборе полиномиальных моделей, которые являются подмножеством полинома Колмогорова-Габора:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots$$

Наиболее часто используются опорные функции:

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

- линейная;
- мультилинейная;
- квадратичная.

Каждая опорная функция имеет только два аргумента. Усложнение модели происходит за счёт увеличения числа фактически учитываемых переменных: на первом ряду селекции генерируются модели, содержащие по два аргумента, а втором - по четыре, на третьем - по восемь. Затем выбираются несколько наилучших моделей, которые участвуют в дальнейшей работе алгоритма (смотрите рис. 1).

МГУА используется для прямого моделирования сложных систем по небольшому числу экспериментальных данных.

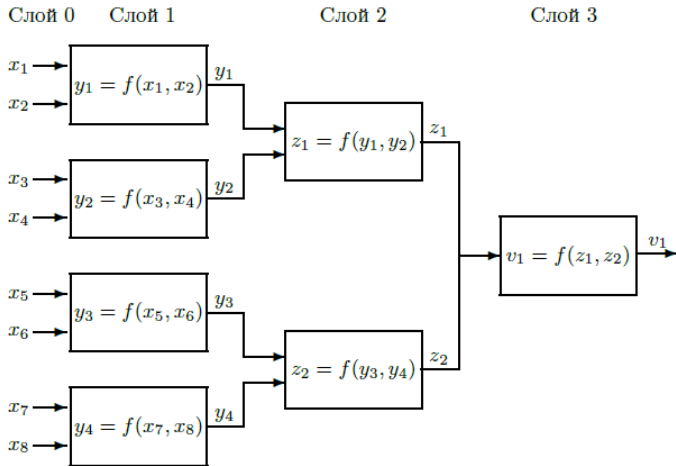


Рис. 1. Структура сети для 3-х рядов селекции

Модуль `gmdh`, реализующий метод группового учёта аргументов, был написан на языке программирования Python. В качестве спецификации использовалась реализация МГУА на IBM APL2 [3].

Функция `learn` данного модуля имеет аргументы:

- матрицу входных данных;
- логический вектор, разделяющий выборку на обучающую и проверочную;

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

- опорную функцию;
- критерий селекции
- число переменных, пропускаемых на следующий ряд селекции.

Указанная функция вычисляет коэффициенты частных моделей по методу наименьших квадратов. Для вычисления предсказываемых значений имеется функция `predict`.

Модели строились на базе первых 80 точек 22 микрокампании, чтобы в дальнейшем использовать их для независимого предсказания и диагностирования по оставшимся данным. С целью сравнения была построена модель предсказания выходных температур, основанная на уравнении теплового баланса.

Затем, на основе МГУА была проверена возможность диагностирования режима работы реактора БН-600. Для проверки чувствительности диагностирования в данные вводились возмущения, влияние которых исследовалось с применением кумулятивной суммы величин ошибок предсказаний и многомерного статистического метода проверки гипотез, а именно, статистики Хотеллинга.

Литература

1. Ивахненко А. Г., Зайченко Ю. П., Димитров В. Д. Принятие решений на основе самоорганизации. - М.: "Сов. радио", 1976.
2. Скоморохов А.О. Модели теории распознавания образов в диагностировании АЭС. Конспект лекций. ИАТЭ, Обнинск, 1988.
3. Skomorokhov, A., Adaptive Learning Networks in APL2, APL Quote Quad, vol.24, no.1, 1993.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАЛ ПО ДАННЫМ
УСТАНОВОК TUNKA-GRANDE И TUNKA-REX**

Черных Д.О.¹ от коллаборации Tunka

¹ НИИПФ ИГУ, Иркутск

Тел. 89041502889., e-mail, chernykh.dash@gmail.com

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande и установка Tunka-Rex [1], регистрирующая радиоизлучение ШАЛ, входят в состав обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy) [2], расположенной в Тункинской долине (республика Бурятия, Россия) в 50 км от озера Байкал.

Задачей совместной работы установок является исследование энергетического спектра и массового состава первичных космических лучей в диапазоне энергий 10^{16} - 10^{18} эВ.

При восстановлении зарегистрированных событий ШАЛ по данным установок определяются такие параметры, как полное число частиц в ливне, его направление прихода, координаты оси в плоскости установки - x и y , а также энергия первичной частицы E_0 .

В докладе представлены результаты моделирования [3] и обработки событий, а также обсуждаются перспективы исследования первичного космического излучения с энергией выше 10^{17} эВ в рамках совместной работы установок Tunka-Grande и Tunka-Rex.

Литература

1. N.M.Budnev et al. The TAIGA experiment: from cosmic ray to gamma-ray astronomy in the Tunka valley.//J.Phys.Conf.Ser. - 2016. – 718 no.5, 052006.
2. F.G.Schröder et al.The Tunka Radio Extension (Tunka-Rex): Radio Measurements of Cosmic Rays in Siberia.// Nucl.Instrum.Meth. - 2016. -A824 , p. 652-654.
3. Н.М. Буднев и др. // Вест. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2014. № 4. С. 80; Budnev N.M. et al // Moscow University Physics Bulletin. 2014. N 4. P. 357.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ЧЕРЕНКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАЛОРИМЕТР
(ECAL) ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА HADES**

Шабанов А. И.^{1,2}, Решетин А. И.²

¹ МФТИ, Москва

² ИЯИ РАН, Москва

+79165499984, arseniy.shabanov@phystech.edu

Эксперимент HADES (High Acceptance Dielectron Spectrometer — диэлектронный спектрометр высокого разрешения, GSI, Германия) нацелен на исследование фазовой диаграммы квантовой хромодинамики. Предполагается, что в горячей и плотной ядерной среде должны изменяться масса и ширина векторных мезонов, которые можно измерить по спектру инвариантных масс электрон-позитронных пар. Одним из основных фоновых процессов при этом является распад $\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$, поэтому для анализа данных необходимо знать выход нейтральных пионов в процессе взаимодействия тяжёлых ядер. С этой целью, а также для улучшения разделения электронов и пионов было предложено установить в дополнение к существующим детекторам установки HADES черенковский электромагнитный калориметр ECAL.

ECAL будет состоять из 978 детекторных модулей, объединённых в 6 секторов, перекрывающих полярный угол от 12 до 45° и почти полный азимутальный угол. В настоящий момент детектор находится в стадии сборки и тестирования отдельных модулей, а к 2018 году планируется собрать 4 сектора и подготовить детектор к первому физическому сеансу. Испытания модулей проходят с использованием космических лучей в качестве минимальных ионизирующих частиц (Minimum Ionizing Particle – MIP). Для выработки триггерного сигнала служит схема совпадения от двух сцинтилляционных детекторов. По результатам тестов подбирается оптимальное рабочее напряжение, определяется прозрачность оптического тракта лазерной калибровочной системы и вырабатываются рекомендации по устранению дефектов отдельных модулей.

В настоящей работе описана процедура испытаний черенковских детекторных модулей, а также приведены результаты тестов на космических лучах.

Литература

1. *HADES Collaboration* Electromagnetic Calorimeter for HADES experiment // EPJ Web Conf. 2014. V. 81. P. 06009.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В
ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СОВРЕМЕННОЙ
ДИНАМИКИ**

Шарапова Т.В.¹, Макин Р.С.²

*¹ Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г.
Димитровград*

*² Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г.
Димитровград*

+79041863499, tatyana.starckina2010@yandex.ru

В настоящее время отсутствует достаточная информация о движущих силах и параметрах миграционных процессов в почвах, что затрудняет решение многих задач по предотвращению последствий радиоактивного загрязнения. Например, не определена «размерность самой почвы», что важно для описания геометрии распределения радионуклидов в среде, т.е. в почве.

Все процессы, происходящие в почве, рассматриваются как диффузионные. Но в зависимости от вида почвы скорость движения радионуклидов может иметь большую скорость (супердиффузионные процессы) или меньшую скорость (субдиффузионные процессы) по сравнению с той, которая устанавливается при гауссовском (нормальном) распределении.

Следствием применения подходов фрактальной геометрии к рассматриваемой задаче является отказ от гауссова диффузионного уравнения и традиционного представления о процессах переноса как о случайном броуновском движении частиц в среде. Необходимые обобщения достигаются за счет использования методов странной (современной), или дробной, динамики – аналитического аппарата, адекватного сложным нелинейным динамическим системам с многомасштабными корреляциями в пространстве-времени.

Использование нестандартных подходов к изучению миграции радионуклидов в почве позволит получить новые данные и представления о движущих силах и параметрах миграционных процессов. А также с помощью методов странной (современной) динамики, возможно практически реализовать более точные оценки дви-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
жущих сил и параметров миграционных процессов в почвах, и оце-
нить, насколько изменятся результаты, полученные в рамках тра-
диционного подхода.

Литература

1. Л.М. Зеленый. «Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики». Успехи физических наук. Т.174. №8. С.809-852 (2014).
2. Е. Федер. Фракталы. (М: Мир. 1991).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**КОНСТАНТЫ САМОДЕЙСТВИЯ БОЗОНОВ ХИГГСА В
СУПЕРСИММЕТРИЧНЫХ РАСШИРЕНИЯХ
СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ**

Штанов В.М.¹, Рыкова Э.Н.¹

¹ «Самарский национальный исследовательский университет имени
С.П.Королева», г. Самара, Россия
8-996-730-50-34, ymshtanov@gmail.com

Предсказание, а затем и открытие бозона Хиггса на ЛНС, стали отправной точкой развития новой страницы в физике элементарных частиц. Механизмы спонтанного нарушения симметрии, экспериментально подтверждены, а это значит, что Стандартная модель (СМ) становится полноценной теорией. Бозон Хиггса становится важнейшим звеном в СМ, дополняя три вида взаимодействия, четвертым – юкавским, переносимым хиггсовским бозоном.

Актуальность исследований не подвергается сомнениям, открытие бозона Хиггса повлекло за собой возникновение новых теорий и новых вопросов. Одним из них является вопрос о расширении скалярного сектора СМ [1-3]. СМ требует: «Нарушению электрослабой симметрии - быть!», но не говорит нам о том, как именно работает данный механизм. Для объяснения данного факта требуется рассмотрение новых моделей. В данной работе изучено минимальное расширение СМ, так называемая минимальная суперсимметричная стандартная модель (МССМ).

В работе рассмотрен двухдублетный потенциал с действительными $\lambda_{1...4}$ и комплексными $\lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ параметрами, который не является СР-инвариантным. Это позволяет ввести в теорию новые источники СР-нарушения, отличные от фазы матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскавы. В работе построен эффективный потенциал МССМ на энергетическом масштабе m_{top} , который имеет форму двухдублетного потенциала. Параметры $\lambda_{1...7}$ эффективного потенциала явно вычислены и выражаются через параметры взаимодействия бозонов Хиггса со скалярными кварками.

В работе получены выражения для тройных и четверных констант самодействия бозонов Хиггса с радиационными поправками в двухдублетной модели с нарушением СР-инвариантности. В этой модели имеются три нейтральных бозона Хиггса h_1, h_2, h_3 , которые

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика являются смешанными состояниями двух CP-четных (h и H) и одного CP-нечетного (A) бозона Хиггса. Вершины $h_i h_j h_k$ и $h_i h_j h_k h_l$ рассчитаны в однопетлевом приближении и могут меняться в зависимости от параметров модели, проведено сравнение со случаем CP-сохранения [4].

Исследование констант самодействия бозонов Хиггса является одной из основных задач Большого адронного коллайдера и будущих ускорителей. После открытия бозона Хиггса большое внимание уделяется изучению его свойств, в том числе измерению констант самодействия и сравнению их со значениями, полученными в теоретических моделях. Параметры эффективного потенциала определяют соотношения между массами и константами самодействия. Исследование этих соотношений является важной задачей для понимания природы нарушения калибровочной симметрии.

Самодействие хиггсовских полей приводит к нетривиальной структуре вакуумного состояния с ненулевым значением поля, вызывающим спонтанное нарушение $SU(2) \times U(1)$ симметрии. Построение эффективного потенциала требует экспериментальных измерений тройных и четверных вершин самодействия бозонов Хиггса через сечения многочастичного рождения и распада, что является нетривиальной и важной задачей для современных и будущих ускорителей.

Литература

1. Д.И.Казаков. Хиггсовский бозон открыт. Что дальше? Успехи физических наук. Т. 184, №9. С. 1004 – 1016 (2014).
2. А. А. Ансельм, Н. Г. Уральцев, В. А. Хозе. Хиггсовские частицы. Успехи физических наук. Т. 145, №2. С. 185 – 220 (1985).
3. Э.Н. Ахметзянова, М.В. Долгополов, М.Н. Дубинин. Нарушение CP – инвариантности в двухдублетном хиггсовском секторе МССМ. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 37, №5. С. 1285 – 1382 (2006).
4. E.N.Akhmetzyanova, M.V.Dolgoplov, M.N.Dubinin. Self-couplings of Higgs bosons in the CP-violating scenarios. Proc. of QFTHEP'2004. С. 178-185 (2004).

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**СПЕКТР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПОЛУЧЕННЫЙ НА
УСТАНОВКЕ ПРИЗМА-32**

**Юрин К.О.¹, Богданов Ф.А.¹, Громушкин Д.М.¹, Стенькин Ю.В.^{1,2},
Щеголев О.Б.²**

¹*Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», г. Москва*

²*Институт ядерных исследований РАН, г Москва
e-mail KOYurin@mephi.ru*

Приводятся спектр космических лучей по числу зарегистрированных нейтронов, полученный на установке для регистрации нейтронной компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ) ПРИЗМА-32 [1]. Нейтронная компонента ШАЛ, регистрируемая установкой, образуется при взаимодействии высокоэнергичных адронов ливня с ядрами атомов атмосферы и поверхности Земли и несет важную информацию о развитии ШАЛ [2]. Установка ПРИЗМА-32 работает в непрерывном режиме набора информации около 5 лет. Ранее на установке были получены временные распределения регистрируемых тепловых нейтронов, т. е. задержек времени их регистрации относительно момента прихода фронта ШАЛ и функции пространственных распределений нейтронов ШАЛ [3].

Установка ПРИЗМА-32 расположена внутри здания экспериментального комплекса НЕВОД и состоит из 32 эн-детекторов (рисунк 1). Площадь каждого эн-детектора составляет 0.36 м², для регистрации нейтронов используется тонкий слой неорганического сцинтиллятора ZnS(Ag) и LiF, где Li обогащен до 90% ⁶Li. Эн-детектор позволяет одновременно регистрировать две компоненты широких атмосферных ливней: электромагнитную и нейтронную в области энергий космических лучей 1013 – 1016 эВ.

Приводятся результаты обработки данных за 4.5 года работы установки, время работы установки составляет около 95%. Распределение по числу зарегистрированных нейтронов накапливалась с дополнительным условием: ось ШАЛ должна быть в пределах области установки. В течение использованного времени работы установки было зарегистрировано более 90 000 таких событий, удовлетворяющих условиям отбора. Для нахождения оси ШАЛ использо-

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
 валась стандартная процедура метод максимального правдоподобия [4]. Для этих событий был получен интегральный спектр тепловых нейтронов ШАЛ (рисунок 2). Измеренный спектр можно описать степенной функцией с показателем наклона $\square\square-\square\square\square\square\square\square\square\square\square$.

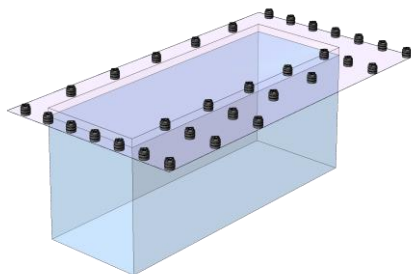


Рис.1. Схема расположения эн-детекторов установки ПРИЗМА-32

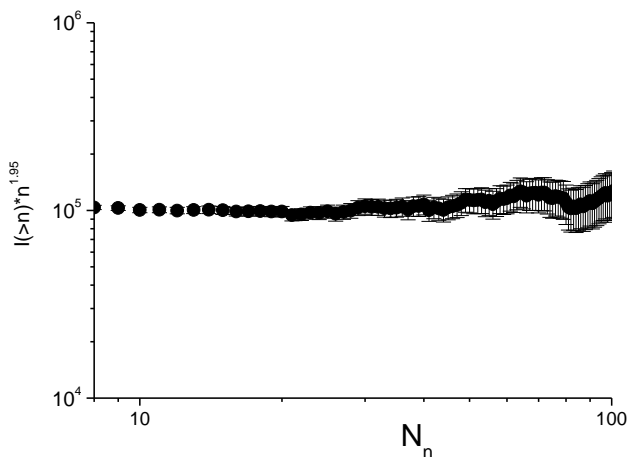


Рис.2. Интегральный спектр ШАЛ по числу зарегистрированных нейтронов.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (МК-7597.2016.2) на уникальной научной установке «Экспериментальный комплекс НЕВОД» при поддержке

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
Минобрнауки РФ (грант RFMEFI59114X0002, Программа повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ 02.а03.21.0005 от 27.08.2013) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-32-00054).

Литература

1. D. Gromushkin, V. Alekseenko, A. Petrukhin et al. «The array for EAS neutron component detection» *Journal of Instrumentation*. V.9. P.08028 (2014)

2. Д.М. Громушкин, В.И. Волченко, А.А. Петрухин, и др. «Новый метод регистрации адронной компоненты ШАЛ». *Ядерная физика*. Т.78. №5. С.379–382 (2015).

3. Д.М. Громушкин, В. В. Алексеенко, А.А. Петрухин, и др. «Установка нового типа для регистрации шал: первые результаты». *Изв. РАН Сер. физ.* Т.77 №5 С.704-706 (2013).

4. А.А. Petrukhin, D.M. Gromushkin, O.B. Shchegolev et al., « EAS spectrum in thermal neutrons measured with PRISMA-32» *PoS (ICRC2015)*. 427. (2015); <http://pos.sissa.it>.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕГИСТРАЦИИ К-40 ОТ ПАРАМЕТРА ГАШЕНИЯ tSIE**

Юсупов А.Н.¹, Литвиненко О.В.¹

¹ Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
НИЯУ МИФИ
+79084823194, yusupov_anton1502@mail.ru

Известно, что некоторые соединения могут снижать эффективность регистрации радиоактивного излучения в жидком сцинтилляторе. Подобное явление обуславливается в основном двумя причинами. Во-первых, регистрации сцинтилляций могут мешать окрашенные соединения. Во-вторых, причиной гашения может быть то, что молекулы исследуемого вещества или его растворителя мешают передаче энергии возбуждения молекулам сцинтиллятора. Эти два механизма определяют оптическое и химическое гашение [1].

Целью данной работы является определение зависимости эффективности регистрации ⁴⁰K от параметра гашения.

Работа проводилась на спектрометрической установке СКС-07П-Б11 «Кондор». Для учета явления гашения, с помощью программного обеспечения «Liquid Master», определяется преобразованный спектральный индекс внешнего стандарта (tSIE). В качестве внешнего стандарта используется эталонный источник ¹³⁷Cs.

В качестве источника бета-излучения был использован хлорид калия. В таблице 1 представлены основные характеристики полученного источника [2, 3].

Таблица 1 – Основные характеристики источника на основе KCl

Масса KCl, г	3,93±0,01
Активность, Бк	63,9±0,6
Объем KCl, см ³	1,98
Скорость счета импульсов, импульс/с	54,8
Эффективность регистрации, %	85,8±1,5

В качестве гасителя был выбран раствор азотной кислоты в спирте в пропорции 1:19 [4].

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика

Во флакон вносился фиксированный объем раствора гасителя. После чего проводились измерения скорости счета импульсов без внешнего стандарта, а затем с внешним стандартом, для вычисления параметра гашения. Эффективность регистрации вычислялась после каждого добавления гасителя. На рисунке 1 представлены полученные зависимости эффективности регистрации от параметра гашения tSIE.

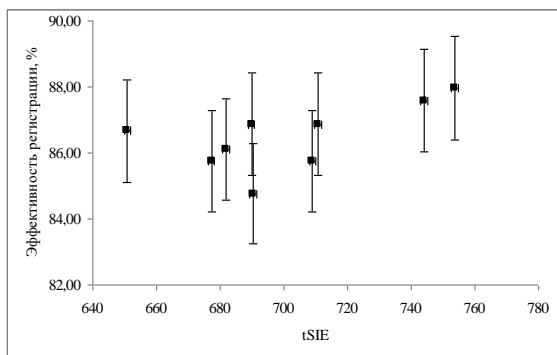


Рисунок 1 – Зависимость эффективности регистрации ^{40}K от параметра гашения tSIE

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Т.Робертс. Радиохроматография: пер. с англ. Б.К. Куделина, под ред. Б.П. Никольского. – М.: издательство «Мир», 1981. – 80 с.
2. Ш.З. Ибрагимов. Ядерная геофизика: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика». – Казань: Казанский государственный университет, 2008. – 90 с.
- 3.И.Н. Фетисов. Естественная β -радиоактивность: Методические указания к выполнению лабораторной работы Я-67 по курсу общей физики. – М: МГТУ им. Баумана, 2015. – 15 с.
4. Абрамов А.А., Бадун Г.А. Основы радиохимии и радиоэкологии: методическое руководство. – Баку: филиал химического факультета МГУ, 2011. – 138 с.

Ядерная физика и технологии, теоретическая физика и астрофизика
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕГИСТРАЦИИ К-40 ОТ ОПТИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ**

Юсупов А.Н.¹, Литвиненко О.В.¹

¹ *Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал
НИЯУ МИФИ
+79084823194, yusupov_anton1502@mail.ru*

Известно, что некоторые соединения могут снижать эффективность регистрации радиоактивного излучения в жидком сцинтиляторе. В работе [1] представлены результаты определения эффективности регистрации ⁴⁰К в зависимости от химического гашения. В работе был сделан вывод, что изменением эффективностью регистрации можно пренебречь. Целью данной работы является определение зависимости эффективности регистрации от оптического гашения.

Работа проводилась на спектрометрической установке СКС-07П-Б11 «Кондор». Для исключения явления химического гашения в качестве радиатора была выбрана дистиллированная вода.

В качестве источника бета излучения был выбран хлорид калия. Основные характеристики полученного источника представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Основные характеристики источника на основе КС1

Масса КС1, г	3,33±0,01
Активность, Бк	54,1±0,6
Скорость счета импульсов, импульс/с	18,4
Эффективность регистрации, %	34,0±1,6

В качестве окрашивающего вещества был выбран медицинский раствор йода. Выбор объясняется тем, что примеси желтого и красного цвета являются сильными оптическими гасителями [3].

На рисунке 1 представлены полученные значения скорости счета импульсов в зависимости от концентрации внесенного красящего раствора.

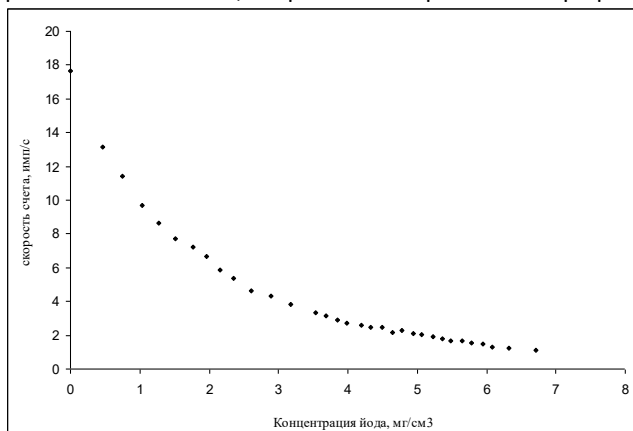


Рисунок 1 – Зависимость скорости счета импульсов ^{40}K от концентрации оптического гасителя

Полученные результаты аппроксимируются убывающей экспонентой с коэффициентом корреляции 0,99, что согласуется с законом Бугера-Ламберта-Бера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Юсупов А.Н., Литвиненко О.В. Определение зависимости эффективности регистрации ^{40}K от параметра гашения tSIE на установке СКС-07П-Б11 «Кондор» / А.Н. Юсупов, О.В. Литвиненко // Научно-исследовательская и научно-практическая деятельность в области реализации приоритетных программ развития предприятий атомной и других высокотехнологичных отраслей: сб. межд. науч. практ. конф. – Димитровград, 2017. – С 197-203.

2. Ш.З. Ибрагимов. Ядерная геофизика: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика». – Казань: Казанский государственный университет, 2008. – 90 с.

3. Пат. 2120646 РФ. Способ идентификации радионуклидов в пробах с использованием жидкостного сцинтилляционного счетчика / Беланов С.В., Каширин И.А., Малиновский С.В. и др. // ввод: 20.10.1998.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК CdTe, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ

Папикян А.К.¹, Геворгян В.А.¹, Гладышев П.П.²

¹ *Российско-Армянский (Славянский) университет, Армения*

² *Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,
Россия*

(+374)94261260, arman.smkl@gmail.com

CdTe представляет большой интерес как один из наиболее перспективных материалов для создания эффективных тонкопленочных солнечных элементов. В работе впервые методом вакуумного дискретного испарения (ВДИ) получены пленки CdTe и исследованы их характеристики. В частности, исследованы влияние технологических условий формирования пленок CdTe на их оптические, структурные и морфологические характеристики, в том числе и на их элементный состав. В качестве подложек для осаждения пленок CdTe использовались стеклянные пластины диаметром 20мм и толщиной 1мм. Рентгеновские исследования показали, что все пленки, полученные при температурах подложки 100⁰С, 200⁰С и 300⁰С имеют гексагональную структуру с доминирующим дифракционным пиком от плоскости (111). Обнаружено, что интенсивность дифракционного пика (111) увеличивается с уменьшением температуры подложки. Из рентгеновских измерений рассчитан средний размер зерна, который составляет около 53.9 нм, 42.1нм и 57.4 нм для тонких пленок, полученных при температурах 100⁰С, 175⁰С and 250⁰С, соответственно.

Измерены спектры пропускания и отражения пленок CdTe в диапазоне от 400нм до 1000нм. На основе этих измерений определены влияние температуры подложки на коэффициент поглощения, оптическую ширину запрещенной зоны и на ширину хвостов Урбаха. Полученные значения ширины запрещенной зоны (1.49 eV - 1.50 eV) совпадают с шириной запрещенной зоны объёмно-го кристалла теллурида кадмия.

Исследования с помощью атомно-силового микроскопа показали, что пленки CdTe имеют однородную и гладкую поверхность с шероховатостью меньше 25 нм. Средние размеры зерен, полученные на основе АСМ измерений совпадает со средними размерами зерен рассчитанные из рентгеноструктурных измерений.

Исследования элементного состава показали, что метод ВДИ позволяет получать пленки CdTe, состав которых повторяет стехиометрический состав исходного испаряемого соединения.

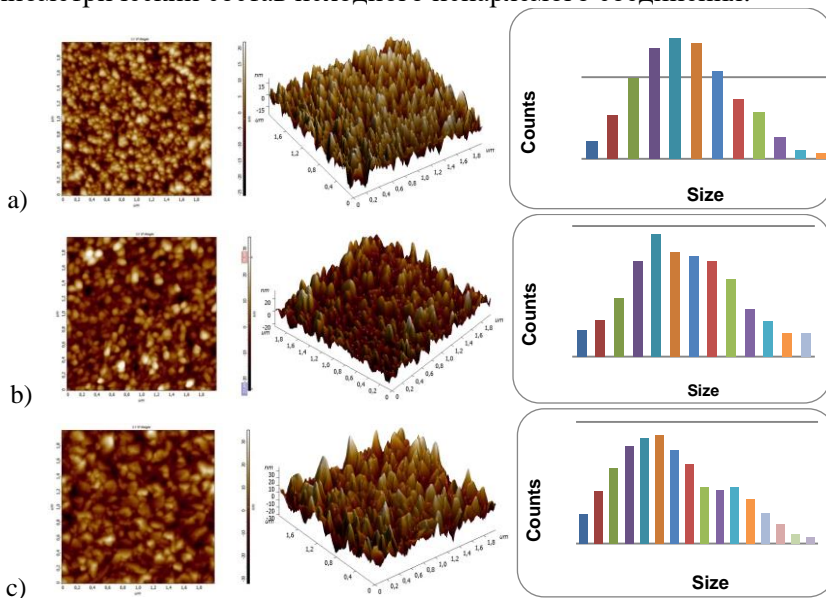


Рис.1. АСМ изображение и распределение размера зерен пленок CdTe температурах (a) 100⁰С, (b) 175⁰С and (c) 250⁰С.

Показано, что метод ВДИ, позволяет выращивать пленки CdTe стехиометрического состава с высоким совершенством кристаллической структуры.

Литература

V.A. Gevorkyan, L. A. Nakhoyan, N. R. Mangasaryan, P. P. Gladyshev, Chalcogenide Letters, Vol. 13, No. 8, August 2016, p. 331 – 338.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

К

Kalinina S. 36

Н

Nasirpouri F. 158

А

Абдулина Ю.И. 187

Абрамов А.В. 190

Абрамова Е.Н. 24

Акулиничев С.В. 94, 192, 320

Александрин С.А. 296

Алыкова А.Ф. 26

Алыкова О.М. 56

Амосова Н.В. 52

Ампилогов Н.В. 321

Аникин М.Н. 203

Анохин Ю.Н. 192, 320

Антоненко С.В. 184

Антонова А.М. 98

Артамонов С.А. 192, 320

Асадова А.А. 29

Асимов М.М. 79

Ахадов Т.А. 38, 50, 59, 61

Ахлюстина Е.В. 31

Ахметова А.Р. 100

Б

Баисов А.М. 193

Балберкина Ю.Н. 284

Барзах А.Е. 236

Батист Л.К. 236

Баулин А.А. 196

Бачурина Д.М. 199, 279

Башмаков Ю.А. 248

Баясхаланов М. В. 201

Беденко С.В. 281

Бедная Т.А. 134

Беленков Е.А. 136

Белозеров С.В. 105

Белозерова А.Р. 105

Богатырь В. Г. 33

Богданов Ф.А. 342

Боженко М.В. 166

Болотова А.А. 34

Бондаренко Е.А. 162

Боркут И.К. 288

Борулева Е. А. 36

Брюханов В.В. 46

Бузько В.Ю. 115, 170

Буренков Е.С. 29

Бурмистрова Н.В. 42

Бурцева Е.К. 107

Бусыгин А.С. 203

В

Вайнер Ю.Г. 33

Васюкова О.Р. 38

Васютина М.П. 115

Вдовин В.А. 69

Вердян А.Г. 211

Вилков Е.А. 147

Винников В.С. 323

Власик К.Ф. 190

Власов М.Н. 201

Волков Ю.М. 236

Волова Л.Т. 85, 88

Володин В.С. 109

Волошин С.В. 87

Воробьев В.А. 143

Воронин А.И. 124

Воронов С.А. 207

Вышенская Т.В. 34

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Г

Гавриков А.А. 111
Гавриков И.С. 113
Гаврилов Г.Е. 268
Галкин Н.Г. 166
Гальпер А.М. 296, 316
Гарбузов П.И. 65
Гарифуллин А.Д. 87
Герасименко А.Ю. 75, 154
Глушенков А.Е. 234
Голенев Е.А. 205
Горошко Д.Л. 166
Горячева В.С. 207

Горячко А.И. 115
Грачев В.М. 281
Григорьева П.В. 209
Грицок С.Н. 141
Грищенко А.А. 40
Громушкин Д.М. 187, 342
Губин С.А. 138
Гуляев Ю.В. 69
Гурская А.В. 205
Гусев А.В. 117
Гусев А.С. 184
Гутаковский А.К. 166

Д

Деев В.И. 193
Делов М.И. 237, 258
Деменева И.В. 298
Демьянович А.В. 42
Дмитриева А.Н. 187
Дмитриева В.В. 67, 77
Дмитриенко В.В. 190

Довгополая Е.А. 119
Долгушкин Д.А. 85, 88
Доценко С.А. 166
Дружинин К.П. 105
Дудин А.А. 154
Дюбков В.С. 248

Е

Евдокимов А.А. 34
Ермаков С.В. 92
Ермоленко Ю.Е. 236

Ефименко И.А. 65
Ефимов Е.И. 309, 327
Ефремов В.В. 44

Ж

Жиленков А.А. 122

Жуков И.М. 211

З

Завестовская И.Н. 81
Зайцева Д.В. 213
Закатилова Е.И. 138
Зарубина Е.Г. 29
Звержховский В.Д. 34

Зевякин А.С. 217, 330
Зерньшин В.А. 219
Зотов А.В. 132
Зуева В.Ю. 124
Зюбин А.Ю. 46

И

Иванников А.А. 83, 199, 279
Иванов А. В. 232, 312
Иванов В.С. 236
Иванов С. К. 221
Иванова В. В. 126
Иванова Е.В. 48
Иванцова А.С. 50

Иващук О.О. 224, 278
Игнатьев В.С. 128
Иониди В.Ю. 278
Исатаев Т. 226
Итяксов Ю.Д. 29
Ичкитидзе Л.П. 154

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

К

- | | |
|---|---|
| <p><i>Кабашин А.В.</i> 81
 <i>Казанский Ю.А.</i> 228
 <i>Калин Б.А.</i> 83, 199
 <i>Камчатнов А. М.</i> 221
 <i>Каплан М.А.</i> 42
 <i>Каплин В.А.</i> 98
 <i>Капранов М.В.</i> 130
 <i>Каражелевская Ю.Е.</i> 228
 <i>Каргин Н.И.</i> 184
 <i>Каретникова.Т.А.</i> 153
 <i>Кармоков А. М.</i> 182
 <i>Карпенков Д.Ю.</i> 113, 160
 <i>Карпушкин Н.М.</i> 230
 <i>Каткова О.С.</i> 130
 <i>Кибирев И.А.</i> 132
 <i>Ким В.П.</i> 69
 <i>Киреев Г.А.</i> 234
 <i>Кирсанова Ю. А.</i> 232
 <i>Кицюк Е.П.</i> 154
 <i>Кленин А.А.</i> 278
 <i>Климушкин Д.Ю.</i> 290
 <i>Кньишев В.В.</i> 281
 <i>Кокоулин Р.П.</i> 213
 <i>Кокшаров Ю.А.</i> 69
 <i>Колдашов С.В.</i> 296</p> | <p><i>Колесов В.В.</i> 228, 330
 <i>Комаров Д.А.</i> 145
 <i>Комарова Л.Н.</i> 52, 54, 71
 <i>Коноваленко С.П.</i> 134
 <i>Константинова Е.И.</i> 46
 <i>Корнеева Т.С.</i> 54
 <i>Корнилова Д.С.</i> 24
 <i>Королев М.Ю.</i> 44
 <i>Корольков Д.С.</i> 56
 <i>Корсун А.С.</i> 201
 <i>Коченгин А.Е.</i> 136
 <i>Кочнов О.Ю.</i> 330
 <i>Кретушев А.В.</i> 34
 <i>Кривов М.П.</i> 234
 <i>Кротов С.А.</i> 236
 <i>Круглов А.Б.</i> 307
 <i>Круглов В.Б.</i> 307
 <i>Кубанкин А.С.</i> 224, 278
 <i>Кудрявцев А.Е.</i> 244
 <i>Кузнецова Г.Д.</i> 40
 <i>Кузьменков Д.М.</i> 237, 258
 <i>Кузьмин В.С.</i> 240, 286
 <i>Кулешова А.В.</i> 138
 <i>Куркин А.М.</i> 162
 <i>Куценко К.В.</i> 237, 258</p> |
|---|---|

Л

- | | |
|---|--|
| <p><i>Лаврухин А.А.</i> 237, 258
 <i>Лауар С.</i> 237, 258
 <i>Лаишманов Н.А.</i> 242
 <i>Лизунова М.А.</i> 244
 <i>Ликий О.И.</i> 246
 <i>Литвиненко О.В.</i> 261, 345, 347
 <i>Литвинцова Ю.Е.</i> 237, 258
 <i>Лозеев Ю.Ю.</i> 248
 <i>Лоценов В.Б.</i> 31</p> | <p><i>Лукьянов К.А.</i> 250
 <i>Лукьянов С.М.</i> 226
 <i>Луцик И.О.</i> 281
 <i>Лычагин Е.В.</i> 318
 <i>Лютова М.Э.</i> 252
 <i>Лянге М.В.</i> 113, 160
 <i>Ляпунова Е.Р.</i> 52
 <i>Ляхова Н.Г.</i> 302</p> |
|---|--|

М

- | | |
|---|--|
| <p><i>Магер П.Н.</i> 290
 <i>Маев О.Е.</i> 268
 <i>Майоров А.Г.</i> 288
 <i>Майсузенко Д.А.</i> 268</p> | <p><i>Меерович Г.А.</i> 31
 <i>Мельников А.А.</i> 263
 <i>Мендибаев К.</i> 226
 <i>Меньщиков П.Е.</i> 50, 61</p> |
|---|--|

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Макарчук В.М. 54
Макин Р.С. 338
Маклашова И.В. 138
Маковский М.М. 162
Максимова Е.А. 141
Малахов В.В. 288
Мамедов З. И. 254
Манжурцев А.В. 38, 59
Маракулин А.О. 256
Марченко А.С. 258
Марьин А.П. 143
Марьина У.А. 143
Масленников В.В. 119
Масленников С.П. 145
Масленникова И.С. 145
Маслов Ю.А. 258
Матвеева К.И. 46
Матецкий А.В. 132
Матросова М.Ю. 261

Наймушин А.Г. 203
Насыбулин С.А. 268
Наумова К.А. 270
Некрасов М.А. 147
Некрасов С.А. 252
Немчинов Ю.М. 83
Несмеянов М.С. 63
Неустров Е.П. 107

Олейник А.Н. 224, 278
Орлов А.П. 154

Павлов А.А. 154
Пантелеев В.Н. 236
Панченко В.А. 149
Пенионжkevич Ю.Э. 219, 226, 242
Пенязь М.А. 199, 279
Пех П.Л. 151
Пименова М.Н. 281
Писаревский М.И. 284
Плоских А.Э. 153

Меринов И.Г. 201
Мещеряков В.Д. 85
Минин С. И. 168, 176
Мироненко А.А. 115
Миронова В.П. 270
Михайлов В.В. 207
Михнев Л.В. 162
Мишунин М.В. 278
Моженкова А.В. 67, 77
Молканов П.Л. 236
Молоканов О. А. 182
Монхоев Р.Д. 265
Мороз Ф.В. 236
Муравлев В.К. 100
Мурашкина Т.И. 178
Мустафаев А.Г. 149
Мустафаев Г.А. 149
Мухаева А.И. 266

Н

Никитаев В.Г. 67, 77
Никитенков А.П. 65
Никитина Л.А. 270
Николаев Ю.Ю. 272
Никулин И.С. 224
Ноговицына Е.И. 275
Ноговицына М.В. 107

О

Орлов С.Ю. 236

П

Плотникова Л.В. 87
Полохин А.А. 154
Поляков Е.В. 67, 77
Поляничко А.М. 87
Посохов Д.В. 240, 286
Потапенков К.В. 69
Проничев А.Н. 67, 77
Прохоров Д.И. 24
Пугачева М.Н. 71

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Р

- Ревкова В.А. 71
 Решетин А. И. 336
 Римшан И.Б. 75
 Роденко С.А. 288
 Рубцов А.В. 290
 Рунцо М.Ф. 316
 Русаков Д.Ю. 291
 Русанова А.Н. 65
 Русыева К. А. 293
 Рутенберг В.Д. 73
 Рыкова Э.Н. 340
 Рындя С.М. 184
 Рябкин Д.И. 75

С

- Савандер В.И. 272
 Савин В.В. 302
 Савина Л.А. 302
 Савушкина Л.В. 296
 Садова А.А. 77
 Саечников А.В. 156
 Саечников И.В. 156
 Сажина О.С. 266
 Самардак А. С. 158
 Самардак А. Ю. 158
 Самохин Д.С. 217
 Самсонова А.С. 54
 Саранин А.А. 132
 Сафин А.Р. 130, 147
 Севрюков О.Н. 83, 199, 279
 Семенова Н.А. 38, 50, 59, 61
 Сергеева В.В. 38
 Середа Ю.М. 226
 Середина М.А. 113, 160
 Силин А.П. 151
 Сильвестров В.В. 201
 Ситдигов Э.Р. 298
 Скоморохов А.А. 162
 Скоморохов А.О. 291, 332
 Скупов М.В. 234
 Слежкин В.А. 46
 Слипченко Е.А. 24
 Смирнов В.В. 56
 Смирнов В.И. 111
 Соболев Ю.Г. 219, 242
 Соловьев Б.Д. 164
 Соломатенко А.В. 300
 Соломатенко В.Н. 300
 Сороковиков М.Н. 302
 Сошкина Е.А. 304
 Стенькин Ю.В. 342
 Степанов В.Е. 270, 275
 Стручалин П.Г. 307
 Субботин Е.Ю. 166
 Сухих Е.С. 196
 Сухих Л.Г. 196
 Сучков А.Н. 83, 199
 Сыбачин А.В. 69
 Сысоев И.В. 40

Т

- Таболитч А.А. 79
 Таранов И.В. 69
 Тебелев Л.Д. 309, 312
 Тенишев А.В. 234
 Терехов В.М. 323
 Терехова А.М. 298
 Тимофеев А.А. 184
 Тимошенко В.Ю. 26, 81
 Тимченко Е.В. 29, 85, 88
 Титов А.И. 314
 Толоконский А.О. 109, 211
 Тон О. 316
 Трапезников Д.С. 88
 Троценко И.В. 87
 Тряпышко А. В. 168
 Тупицын Н.Н. 67, 77
 Турлыбекулы К. 318
 Туфиков Е.В. 170

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Тимченко П.Е. 29, 85, 88

Тычкин И.С. 192, 320

У

Удалов Н.Н. 130

Усманов М.З. 323

Умбеталиева К.Р. 81

Усов Н.А. 63, 92

Унатлоков И.Б. 321

Успенская М.В. 87

Ф

Федоров Д.В. 236

Фирсов Г.А. 327

Федосеев В.Н. 284

Фомин Р.В. 330

Федотов И.В. 83, 199, 279

Френкель М.А. 67, 77

Филимонова М.В. 54

Фролов О.О. 85

Филоненко Е.В. 31

Фролов М.В. 172

Филонов В.В. 325

Фролова М.А. 172

Филонова Ю.С. 325

Х

Харин А.Ю. 81

Хомутов Г.Б. 69

Харитонов В.С. 307

Хорасанов Г.Л. 217

Хисамова Г.И. 87

Хорт А.М. 24

Ховайло В.В. 113, 124, 160

Ч

Чаушанский С.А. 192, 320

Чеснакова Е.А. 54

Чеботкевич Л. А. 158

Чигарев С.Г. 147

Челебиев Р. А. 332

Чубарова А.Н. 174

Чепурнов А.С. 278

Чуйко Г.Ю. 170

Черепенин В.А. 69

Чуйко Д.А. 290

Черкесова Н.В. 149

Чулков Д.И. 176

Чермошенцев Д.А. 314

Чусовитин Е.А. 166

Черных А.А. 180

Чусовитина С.В. 166

Черных Д.О. 335

Ш

Шабанов А. И. 336

Шейно И.Н. 196

Шалковская П.Ю. 88

Шершнев Р.В. 92

Шаман Ю.П. 154

Шитилова О.И. 180

Шаманин И.В. 281

Шомахов З. В. 182

Шарапова Т.В. 338

Шорин А.М. 111

Шариков Р.В. 90

Штанов В.М. 340

Шахматов В. С. 126

Шульженко И.А. 246

Шачнева Е.А. 178

Шустов А.Е. 190

Шевлягин А.В. 166

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Щ

Щагин А.В. 224, 278

Щеголев О.Б. 342

Щеколдин В.В. 105

Щербина Н.А. 304

Э

Элькин М.Д. 56

Эпштейн Н.Б. 63

Ю

Юнусова Н.Р. 184

Юрин К.О. 342

Юсупов А.Н. 345, 347

Я

Яковенко А.Г. 24

Яковлев И.А. 94

Ярославов А.А. 69

Яшин И.И. 246, 321

Подписано в печать 17.04.2017
Формат 60×84 1/16 Заказ № 586. Тираж 70 экз. Печ. л. 22,5.

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