



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

V Международная молодежная
научная школа-конференция

18—23 апреля 2016 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 2

Москва

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

Современные проблемы физики и технологий

V Международная молодежная научная школа-конференция

18–23 апреля 2016 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Часть 2

МОСКВА

УДК 53 + 539.1
22.3
М 43

Современные проблемы физики и технологий. V-я Международная молодежная научная школа-конференция, 18–23 апреля 2016 г.: Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2016.– 372 с.

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 и студентов 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 V Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках V Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: теоретическая физика, космо- и астрофизика, ядерная физика и технологии, физика твердого тела и нанотехнологии, лазерная физика, оптика и физика плазмы, материаловедение и технологии производственных процессов, кибернетика, автоматика и электроника, биомедицинская физика и технологии, а также доклады на английском языке.

Тезисы докладов издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2251-6

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2016

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 и студентов 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 V Международной молодёжной научной школы объединил работы студентов, аспирантов и молодых ученых, выполненные в исследовательских центрах и лабораториях РФ, стран СНГ и зарубежья. В рамках V Международной молодёжной научной школы-конференции организованы тематические секции: Теоретическая физика, космо- и астрофизика, Ядерная физика и технологии, Физика твердого тела и нанотехнологии, Лазерная физика, оптика и физика плазмы, Материаловедение и технологии производственных процессов, Кибернетика, автоматика и электроника, Биомедицинская физика и технологии, а также доклады на английском языке.

Место проведения

V Международная молодёжная научная школа-конференция пройдет с 18 по 23 апреля 2016 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
- Российский Фонд Фундаментальных Исследований

Сопредседатели программного комитета

- О.Н. Крохин – академик РАН
- М.Н. Стриханов – ректор НИЯУ МИФИ

Секции программного комитета:

Теоретическая физика, космо- и астрофизика

- А.А. Петрухин (НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- В.В. Борог (НИЯУ МИФИ)
- А.М. Гальпер (НИЯУ МИФИ)
- В.В. Дмитренко (НИЯУ МИФИ)
- С.В. Колдашев (НИЯУ МИФИ)
- Н.Г. Полухина (ФИАН)
- С.В. Попруженко (НИЯУ МИФИ)
- И. И. Яшин (НИЯУ МИФИ)

Ядерные физика и технологии

- С.А. Попов (НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- Г.К. Барышев (НИЯУ МИФИ)
- А.В. Берестов (НИЯУ МИФИ)
- Н.И. Гераскин (НИЯУ МИФИ)
- В.Б. Глебов (НИЯУ МИФИ)
- В. В. Кондаков (НИЯУ МИФИ)
- К.В. Куценко (НИЯУ МИФИ)
- Г.В. Тихомиров (НИЯУ МИФИ)
- В.С. Харитонов (НИЯУ МИФИ)

Физика твердого тела и нанотехнологии

- Н.И. Каргин (НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- В.А. Кашурников (НИЯУ МИФИ)
- Ю.Н. Кульчин (ДВО РАН, НИЯУ МИФИ)
- В.С. Лебедев (ФИАН, МФТИ)
- А.П. Менушенков (НИЯУ МИФИ)
- Ю.А. Митягин (ФИАН)

Лазерная физика, оптика и физика плазмы

- В.И. Конов (ИОФАН, НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- Н.Н. Евтихийев (НИЯУ МИФИ)
- И.Г. Зубарев (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
- А.П. Канавин (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
- С.В. Киреев (НИЯУ МИФИ)
- С.П. Котова (СФ ФИАН)
- В.А. Курнаев (НИЯУ МИФИ)

- В.А. Макаров (МГУ)
- В.Я. Никулин (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
- В.Н. Петровский (НИЯУ МИФИ)
- В.Ю. Тимошенко (МГУ)

Материаловедение и технологии производственных процессов

- Б.А. Калинин (НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- А.С. Аверин (ЗиО Подольск, НИЯУ МИФИ)
- В.Г. Бекетов (ВИТИ НИЯУ МИФИ)
- М.Г. Исаенкова (НИЯУ МИФИ)
- И.В. Могутов (ЗиО Подольск, НИЯУ МИФИ)
- Д.Б. Одлис (АЭМ-технологии, НИЯУ МИФИ)
- В.В. Столяров (ИМАШ РАН, НИЯУ МИФИ)
- А.Г. Суслов (МГИУ, НИЯУ МИФИ)
- В.М. Терехов (ЗиО Подольск, НИЯУ МИФИ)

Кибернетика и автоматика

- В.В. Ужва (НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- В.В. Климов (НИЯУ МИФИ)
- С.А. Королев (НИЯУ МИФИ)
- Н.М. Леонова (НИЯУ МИФИ)
- А.А. Малюк (НИЯУ МИФИ)
- С.М. Садчиков (НИЯУ МИФИ)
- А.О. Толоконский (НИЯУ МИФИ)

Биомедицинская физика и технологии

- А.В. Кабашин (Ун-т Марселя, Франция) – председатель секции
- Ю.Н. Анохин (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)
- В.Н. Беляев (НИЯУ МИФИ)
- В.В. Дмитриева (НИЯУ МИФИ)
- Л.Н. Комарова (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)
- А.А. Котляров (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)
- И.Р. Набиев (Реймский Университет Шампань-Арденн (Франция), НИЯУ МИФИ)
- В.Г. Никитаев (НИЯУ МИФИ)
- Н.Б. Эпштейн (ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

Доклады на английском языке

- Ю.А. Алещенко (ФИАН, НИЯУ МИФИ) – председатель секции
- Е.А. Комочкина (НИЯУ МИФИ)

- О.Ф. Клочкова (НИЯУ МИФИ)
- А.А. Мустафина (НИЯУ МИФИ)

Организационный комитет:

- И.Н. Завестовская (НИЯУ МИФИ, ФИАН) – председатель
- А.А. Фроня (НИЯУ МИФИ) – ответственный секретарь
- М.А. Алхимова (НИЯУ МИФИ)
- А.А. Ананская (НИЯУ МИФИ)
- А.В. Евсович (НИЯУ МИФИ)
- В.С. Казакевич (СФ ФИАН)
- Н.В. Карпов (НИЯУ МИФИ)
- П.Ф. Карцев (НИЯУ МИФИ)
- Н.А. Козловская (Кубанский ГУ)
- Н.Е. Котова (НИЯУ МИФИ, CGG, Великобритания)
- А.Н. Малов (ИГМУ)
- А.В. Парфенов («Лазерные технологии», США)
- О.В. Родионова (НИЯУ МИФИ)
- И.М. Тупицын (НИЯУ МИФИ)
- Л.П. Яценко (ИФ НАН, Украина)

Содержание

Материаловедение и технологии производственных процессов

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИПОЯ ДЛЯ ПАЙКИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ <i>Антоновская В.В., Рзаев Р.А.</i>	20
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>Атуев Ш.М., Рзаев Р.А.</i>	23
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ X18N10T И X16N15M3B, ОБЛУЧЕННЫХ В РЕАКТОРЕ СМ-3 <i>Бакиутова Г.Н., Макаров Е.И., Неустроев В.С.</i>	26
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ <i>Березнер А.Д., Фёдоров В.А., Плужникова Т.Н.</i>	29
ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕНСОРНОЙ АКТИВНОСТИ <i>Беспалова П.Г., Кондратьева А.С.</i>	32
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАСООБМЕНА В АППАРАТАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ОТКРЫТОГО ПАКЕТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ <i>Варсеев Е.В., Коновалов М.А.</i>	34
ЗАДЕЛКА ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ 07X12NMФБ В ТРУБНЫЕ ДОСКИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ РАБОТАЮЩИХ С РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ БН-1200 <i>Винников Виктор Сергеевич, Терехов Виктор Михайлович</i>	36
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ 20ГФЛ <i>Даубарайте Д.К., Нечайкина Т.А., Ли Э.В.</i>	39

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКСТУРЫ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ СЛИТКОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ <i>Демченко В.Д., Табачкова Н.Ю., Воронин А.И.</i>	41
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Егоров В.И.</i>	44
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В СТАЛИ 07Х12МНФБ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ <i>Жарков С.Н., Могутов И.В.</i>	47
ЗАВИСИМОСТЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ДАВЛЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КРИОГЕННЫХ СРЕДАХ <i>Жилов Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.</i>	50
СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ (ЖСС) ПОСЛЕ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ <i>Козлов Андрей Петрович, Терехов Виктор Михайлович</i>	53
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ <i>Козлов М.Д., Атуев Ш.М., Рзаев Р.А.</i>	56
РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВОДОВ МЕТОДОМ ГИБКИ ТРУБ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ <i>Кузичкин К.Л.</i>	59
РАЗРАБОТКА МУЛЬТИФАЗНОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА <i>Кузьмин В.С., Посохов Д.В., Луцик И.О.</i>	61
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПАН-ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ <i>Малкина К.А., Зубова Н.Г.</i>	63

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ГЦК МЕТАЛЛОВ <i>Матвеев М.В., Селиваникова О.В., Черепанов Д.Н.</i>	66
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФОРМИРУЕМЫХ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПЛАСТМАСС ТИПА CR-39 <i>Матросова М.Ю., Литвиненко О.В.</i>	69
ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК НА СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ <i>Минаков А.А., Плохих А.И.</i>	72
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НКТ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ <i>Несветайло Т.В.</i>	75
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР AlGaAs/GaAs <i>Пачин М.М.</i>	78
РАЗРАБОТКА МАТРИЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В РЕЖИМЕ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА <i>Посохов Д.В., Кузьмин В.С., Луцик И.О.</i>	81
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН <i>Сошкина Е.А., Крышилина Д.В., Щербина Н.А.</i>	83
МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОСЛОЙНОЙ ТЕКСТУРНОЙ И СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЛИСТАХ ФЕРРИТНОЙ СТАЛИ <i>Столбов С.Д., Перлович Ю.А., Исаенкова М.Г., Доброхотов П.Л.</i>	86
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРЛЕНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ <i>Толстов И.В., Аверин А.С.</i>	89
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛЗУЧЕСТИ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА <i>Фроня М.А.</i>	94

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ	
<i>Храмов Д.А., Федюк Р.С.</i>	96
АНАЛИЗ СОСТАВА ВОДЫ И НАЛИЧИЯ ПРИМЕСЕЙ В НЕЙ МЕТОДАМИ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ	
<i>Яббарова Д.Р., Русяев Н.Н.</i>	99
<u>Теоретическая физика, космо- и астрофизика</u>	
РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ФОККЕРА-ПЛАНКА МЕТОДОМ ЧИСЛЕННО-ЛОКАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ О КУЛОНОВСКОМ ТОРМОЖЕНИИ ИОНОВ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ	
<i>Васильев М.С., Орищенко А.В.</i>	102
ГЛОБАЛЬНЫЕ КОНФОРМНЫЕ БЛОКИ АЛГЕБРЫ ВИРАСОРО	
<i>Гейко Р.В.</i>	105
ПРИЗНАКИ МЕТАМОРФИЗМА В ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТАХ	
<i>Гонцова С.С., Максимова Е.М., Наухацкий И.А., Милюкова Е.Т.</i>	107
ПОИСК СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРОНОВ ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА	
<i>Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.</i>	110
ПРОЦЕССЫ РАССЕЯНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТИ ГЕТЕРОГРАНИЦ МЕЖДУ УРОВНЯМИ ЛАНДАУ В СТРУКТУРАХ ИЗ КВАНТОВЫХ ЯМ	
<i>Еланцев Д.А., Доан Тхе Нго Винь, Теленков М.П., Митягин Ю.А.</i>	113
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ГРОЗЫ	
<i>Кобранова А.А.</i>	116
ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАСТЕРА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ ДЕТЕКТОРА НЕВОД-ШАЛ	
<i>Кутовой В.Ю., Ликий О.И., Шульженко И.А.</i>	118
ЗАВИСИМОСТЬ ФЕМТОСКОПИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ ОТ БЫСТРОТЫ И ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SELEX	
<i>Ларин Д.А., Нигматкулов Г.А.</i>	120

СОДЕРЖАНИЕ

РАМАНОВСКОЕ РАССЕЙЯНИЕ <i>Мулярчик Е.И., Калашиников Н.П.</i>	122
МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ <i>Попова А.А., Вебер А.Е.</i>	126
ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ¹⁴ C В ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРА МАЛОГО ОБЪЕМА В НИЗКОФОНОВОЙ КАМЕРЕ БНО ИЯИ РАН <i>Рован Е.Д., Синев В.В.</i>	128
МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ АНТИПРОТОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В СПЕКТРОМЕТРЕ ПАМЕЛА <i>Роденко С.А., Майоров А.Г.</i>	131
РАЗБОР ОШИБОК В СИ <i>Соломатенко А.В., Соломатенко В.Н.</i>	133
АЭРОТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ <i>Филонов В.В.</i>	136
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ МИГРАЦИИ РАДИОСТРОНЦИЯ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ <i>Шарапова Т.В., Макин Р.С.</i>	139
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА АТМОСФЕРНЫХ МЮОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ЗЕНИТНЫХ УГЛОВ 85 – 94° <i>Яковлева Е.И., Хомяков В.А., Хохлов С.С.</i>	142

Физика твердого тела и нанотехнологии

НАМАГНИЧЕННОСТЬ И ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ ПОТЕРИ В МНОГОЖИЛЬНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА МАГНИЯ <i>Абин Д.А., Минеев Н.А., Осипов М.А., Покровский С.В., Руднев И.А.</i>	145
МЕХАНИЗМ РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ УРОВНЕЙ ЛАНДАУ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ <i>Агафонов В.В., Теленков М.П., Митягин Ю.А., Нагараджа К.К.</i>	148

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СТОПОК ВТСП ЛЕНТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ <i>Анищенко И.В., Покровский С.В., Минеев Н.А.</i>	151
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ И ТЕРМООТЖИГА НА СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНО-ПЛЕНОК CdS, ОСАЖДЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ <i>Ахоян Л.А., Геворкян В.А., Мангасарян Н.Р., Гладышев П.П.</i>	153
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕСКОНТАКТНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДНИКОВ <i>Безотосный П.И., Гаврилкин С.Ю., Иваненко О.М., Мицен К.В., Цветков А.Ю.</i>	157
ФРУСТРИРОВАННЫЙ МАГНЕТИК $Ni_3(VO_3)_2$: ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ <i>Болдырев К.Н., Молчанова А.Д., Писарев Р.В., Каменский Д.</i>	160
ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ АКТИВНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ПОРАХ ОПАЛОВОЙ МАТРИЦЫ <i>Брынза Н.П., Моисеенко В.Н.</i>	163
ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НА МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОКСИДА ГРАФЕНА <i>Бурицева Е.К., Неустроев Е.П.</i>	166
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В РЕЛАКСОРЕ $SR0.6BA0.4NB2O6$ ИЗ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДИФFUЗНОГО РАССЕЯНИЯ <i>Ванина П.Ю., Босак А.А., Борисов С.А., Набережнов А.А.</i>	170
ТАУТОМЕРИЯ ДИФИЛЬНОГО β -ДИКЕТОНА В РАСТВОРЕ И МОНОСЛОЕ ЛЕНГМЮРА <i>Васильев В.Е., Девтерова Ю.М., Степаниденко Е.А., Ляшенко М.С., Островский С.С., Куликов Н.Д., Репина И.Н., Соколов М.Е.</i>	173
ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СИСТЕМЫ 11 <i>Власенко В.А., Гаврилкин С.Ю.</i>	176

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛАНАРНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ СО СВЕРХСИЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТОРОИДНЫМ ОТКЛИКОМ	
<i>Вольский Н.А., Башарин А.А.</i>	179
ИЗМЕРЕНИЕ КОМПОНЕНТ ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ	
<i>Гавриков А.А., Смирнов В.И., Шорин А.М.</i>	181
МЕЖПОДЗОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КВАНТОВОЙ ЯМЕ В КВАНТУЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ	
<i>Доан Т.Н.В., Теленков М.П., Митягин Ю.А.</i>	184
АСИМПТОТИЧЕСКИ ТОЧНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ ФЕРМИ-СИСТЕМ	
<i>Жумагулов Я.В., Каширников В.А., Красавин А.В.</i>	187
РАЗРАБОТКА БЕТАВОЛЬТАИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ β -РАСПАДА ^{14}C С РЕСУРСОМ ДО 100 ЛЕТ ДЛЯ МЭМС	
<i>Заводов С.П., Чепурнов В.И., Кирпичев А.А.</i>	189
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НУЛЕВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В КРИСТАЛЛАХ	
<i>Замковская А.И., Максимова Е.М.</i>	192
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ	
<i>Зубаирова А.А., Гончар К.А.</i>	195
РАСЧЕТЫ АДСОРБЦИИ, ДЕСОРБЦИИ И ДИФФУЗИИ ХЛОРА НА ГРАНИ МЕДИ (110) НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ	
<i>Канищева О.И., Павлова Т.В.</i>	197
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИОБИЯ В МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ КАСКАДА АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ В БИНАРНОМ СПЛАВЕ ZR-1%NB	
<i>Капустин П.Е., Тихончев М.Ю., Светухин В.В.</i>	200

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОХОЖДЕНИЯ КАСКАДА АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВБЛИЗИ ШАРОВОГО БИНАРНОГО ПРЕЦИПИТАТА Nb-20%Zr В МАТРИЦЕ Zr	
<i>Капустин П.Е., Тихончев М.Ю., Светухин В.В.</i>	203
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АНСАМБЛЯХ СОЛИТОНОВ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ ИЛИ СИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ.	
<i>Карпов П.И., Бразовский С.А.</i>	206
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ ДЛЯ БИОСЕНСОРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ	
<i>Коваль А.А., Осминкина Л.А.</i>	209
ДИАМАГНИТИЗМ ВСЛЕДСТВИЕ ТОРОДИНОГО МОМЕНТА	
<i>Кожокарь М.В.</i>	212
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИКРОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА	
<i>Козлов И.В.</i>	215
МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОКИНЕТИКИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В ОРГАНИЗМЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ КОНЦЕПЦИИ РВРК-МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Кормазева Е.С., Соловьев В.Ю.</i>	218
УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗОНДОВ ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА NanoEducator II	
<i>Кузнецова Е.В., Носков А.И.</i>	222
СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЛЛУАЗИТНЫХ НАНОТРУБОК С ОСАЖДЕННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА	
<i>Куралбаева Г.А., Гончар К.А., Кондакова А.В., Исакулов А.Б.</i>	224
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОМОЛА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ	
<i>Латуга А.А., Смирнов М.В., Логинова С.В.</i>	226

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОТОТИП ТОМОГРАФИЧЕСКОГО АТОМНОГО ЗОНДА С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ	
<i>Лукьянчук А.А., Рогожский С.В., Алеев А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Кириллов С.Е.</i>	229
РАСЧЕТ КИНЕТИКИ РЕЛАКСАЦИИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В СИСТЕМЕ «НАНОКРИСТАЛЛ КРЕМНИЯ – ТОЧЕЧНЫЙ ДЕФЕКТ»	
<i>Мананков А.А., Гонгальский М.Б., Тимошенко В.Ю.</i>	232
КЛАСТЕРНЫЕ ИОННЫЕ ПУЧКИ КАК НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХГЛАДКИХ ПОДЛОЖЕК В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	
<i>Матющенко И.А.</i>	235
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ CVD-ГРАФЕНА, ПЕРЕНЕСЕННОГО НА СТЕКЛО МЕТОДОМ ТЕРМОСКОТЧА	
<i>Ноговицына М.В., Иннокентьева Н.Н., Неустроев Е.П.</i>	238
МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТИТАНА VT1-0 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ	
<i>Осинцев К.А., Комиссарова И.А., Коновалов С.В., Косинов Д.А., Завацкий О.В., Иванов Ю.Ф., Тересов А.Д., Иванова О.В.</i>	241
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ОБРАТИМОГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ	
<i>Рожков Д.А., Шеляков А.В., Березин М.Ю.</i>	244
НЕЙРОМОРФНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ	
<i>Сафин А.Р.</i>	248
СИНТЕЗ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ ВКЛЮЧЕНИЯ EuF_3	
<i>Седов В.С., Мартыанов А.К., Маякова М., Кузнецов С., Ральченко В.Г., Переверзев В.Г.</i>	251

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Fe И ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАССИВНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА $Ni_{57-x}Fe_xMn_{21}Al_{22}$ ($x = 2, 4, 6, 8$) <i>Середина М.А., Лянге М.В., Ховайло В.В., Реснина Н.Н., Карпенков Д.Ю.</i>	254
МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛЫХ АЛМАЗНЫХ НАНОСФЕР <i>Совык Д.Н., Ральченко В.Г., Курдюков Д.А., Голубев В.Г., Хомич А.А., Конов В.И.</i>	257
МЕТАМАТЕРИАЛЫ С ТОРОИДНЫМ ОТКЛИКОМ НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРОВ С ВОДОЙ <i>Стенищев И.В., Башарин А.А.</i>	259
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ (ВТСП) <i>Тысячных Юрий Владимирович, Демихов Евгений Иванович, Костров Евгений Александрович, Маркелов Антон Викторович, Калитка Владислав Сергеевич, Молодых Александр Александрович</i>	262
НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНОГО ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОННОГО КОНДЕНСАТА НА ГРАНИЦЕ ЗОНЫ БРИЛЛЮЭНА <i>Чарухчян М.В., Честнов И.Ю., Алоджанц А.П., Егоров О., Ма Х.</i>	264
ОПТИМИЗАЦИЯ И АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА “ПАЗЛ-3D” <i>Шутов А.С., Лукьянчук А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А.</i>	267

Ядерные физика и технологии

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ БЛИЖНЕГО ДЕТЕКТОРНОГО КОМПЛЕКСА ND280 НЕЙТРИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА T2K <i>Антонова М.М., Измайлов А.О.</i>	270
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ И ТВС РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПОРИСТОГО ТЕЛА <i>Баясхаланов М. В., Власов М.Н., Корсун А.С., Меринов И.Г.</i>	273

СОДЕРЖАНИЕ

БОРИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ РАО <i>Бородай А.Ю., Таракаенко П.В., Соболев В.К., Беденко С.В.</i>	276
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ X-, Г- ФОТОНОВ И ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА ИЗОТОПОВ ЙОД-125 (¹²⁵ I) И ЙОД-131 (¹³¹ I) <i>Голубева К. В., Попов Ю.С.</i>	279
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОТОПА ¹⁰ B В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ <i>Зайцев А.А., Зарубин П.И., Артеменков Д.А.</i>	283
РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ В ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ <i>Иванов А.В., Ефимов Е.И., Тебелев Л.Д.</i>	285
СИСТЕМА ИНТЕРНЕТ ТЕСТИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ КАТАРАКТЫ <i>Кирилловых К.Д., Никитаев В.Г., Трубилин В.Н., Пронищев А.Н., Орлова О.М., Поляков Е.В.</i>	288
НОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ВОЛН НА ЦИРКУЛЯЦИЮ В ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГЕ ИГУАСУ <i>Кислов В.А., Боговалов С.В., Тронин И.В.</i>	290
ТОПЛИВО ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ <i>Кнышев В.В., Кузнецова М.Е., Шаманин И.В., Беденко С.В.</i>	293
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ НАМАМАТСU R11410-20 <i>Козлова Е.С., Акимов Д.Ю.</i>	296
МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООТДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ <i>Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.</i>	297
РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ <i>Лагойда И.А., Трушин А.В.</i>	300
МОНТАЖ И НАЛАДКА ЭЛЕКТРОННО-НЕЙТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ <i>Лахонин А.А., Богданов Ф.А.</i>	303
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В СПП-500-1 <i>Легкоступова В.В.</i>	306

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЕРИМЕНТ SNIP (ЦЕРН)

Лихачева В.Л., Куденко Ю.Г. 309

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ РЕАКТРОНЫХ УСТАНОВОК ТИПА ВВЭР-1000

Максимкин А.И., Тутнов И.А., Соколов С.А., Крюков И.С. 312

ВВЭР-МТ

Масенко С.А. 315

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ В ДВУХФАЗНОМ ЭМИССИОННОМ ДЕТЕКТОРЕ

Масленкина А.Ю., Кирсанов М.А. 318

БРАХИТЕРАПИЯ С ИТТЕРБИЕВЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Михайлова Т.С., Акулиничев С.В., Чаушанский С.А., Яковлев И.А. 321

ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРИКОРПУСНЫХ УСТРОЙСТВ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Мовчан Ю.С. 323

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В СЕТЕВОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛА ОЙ ХАНГАЛАССКОГО УЛУСА

Наумова К.А., Егорова С.Е., Степанов В.Е., Рафаилова Н.А. 326

ОЦЕНКА ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, ПОСТУПАЮЩИХ ЧЕРЕЗ ЯГОДЫ И ИВАН-ЧАЙ

Наумова К.А., Филатова З.Д., Степанов В.Е., Мохначевская М.М. 329

ТЕОРИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДОЗИМЕТРИИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕНА НЕРАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Наумова К.А., Степанов В.Е. 332

ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТРИТИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. БЕЧЕНЧА ЛЕНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) И Г. ЯКУТСКА

Наумова К.А., Игнатъева Г.А., Степанов В.Е., Корякина А.Ю. 334

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОФИЗИКЕ

Носова Е.М., Аверьянов Г.П., Будкин В.А., Дмитриева В.В. 337

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОПОГЛОЩЕНИЯ ГАММА-КВАНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ <i>Осинов В.Ю., Потапова К.Г., Степанов В.Е.</i>	340
КСЕНОНОВЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО СОРТИРОВКИ И СЕГРЕГАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ <i>Петкович Е.В., Дмитренко В.В.</i>	343
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И БЕПЛОТДАЧЕЙ В ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ КОРИДОРНЫХ И ШАХМАТНЫХ ПУЧКАХ ТРУБ <i>Писаревский М.И., Федосеев В.Н., Корсун А.С., Балберкина Ю.Н.</i>	346
ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ 3D СТРУКТУР ЦИТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ <i>Поляков Е.В., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Шабалова И.П., Джангирова Т.В., Зайцев С.М.</i>	349
ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ КОНТАКТА СПЛАВОВ РЬ-Mg-Zr И СТАЛИ ЭП-823 В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 300 – 900 °С <i>Стручалин П.Г., Круглов А.Б., Круглов В.Б., Харитонов В.С., Орлова Е.А., Загребаев С.А., Жмурин В.Г.</i>	352
НЕОБРАТИМОСТЬ РАДИОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ НЕЙТРОНОВ <i>Тебелев Л.Д., Ефимов Е.И.</i>	354
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В НЕЙТРИННОМ ДВУХФАЗНОМ КСЕНОНОВОМ ДЕТЕКТОРЕ <i>Тоболкин А.А.</i>	357
ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСИОННОГО ТОПЛИВА ОТ ОТНОШЕНИЯ МАТРИЦА/ТОПЛИВО <i>Чуйкина А.В.</i>	360
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ <i>Шеметов А.Н.</i>	363
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	365

Материаловедение и технологии производственных процессов

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИПОЯ ДЛЯ ПАЙКИ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Антоновская В.В., Рзаев Р.А.

ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет»,

г. Астрахань.

Тел.: 89064582895, e-mail: Var3999_96@mail.ru

В различных изделиях современной техники характерным является использование значительного числа разнородных по свойствам металлов. Используемые в одном изделии разнородные металлы повышают коррозионную стойкость в различных средах, жесткость и прочность, уменьшают вес изделия, экономят драгоценные и дефицитные металлы.

Пайка является одним из важных технологических процессов в практике выполнения электромонтажных и радиомонтажных работ, при ремонте электрооборудования и эксплуатации электроустановок для соединения между собой деталей из однородных и разнородных металлов, составляющих изделие. Применение низкотемпературной пайки сохраняет неизменными структуру и свойства металла соединяемых деталей. Важным преимуществом пайки является разъемность паяных соединений, что делает этот процесс незаменимым при монтажных и ремонтных работах.

Цель нашего исследования состоит в том, чтобы разработать универсальный припой и тем самым сделать технологический процесс пайки более удобным и качественным.

При выборе металлов и сплавов в качестве припоя, следует учитывать металлургическую совместимость припоя с паяемыми материалами, температуру его плавления, физико-механические и термодинамические свойства, основные показатели паяемости, смачивания, растекания, диффузии, растворения, образования интерметаллидных фаз и формирования переходных зон паяного шва.

Главными преимуществами алюминиевых припоев являются низкая температура плавления; малый удельный вес; хорошая совместимость с паяемыми титановыми сплавами, в частности, хоро-

шее смачивание и затекание в зазор. Поэтому алюминиевым припоям уделялось особое внимание технологов с момента, когда сплавы на основе титана нашли применение в авиакосмической отрасли.

Существует большая номенклатура как отечественных, так и зарубежных припоев, для пайки черных и цветных металлов. Чаще всего это припои на серебряной и медной основе, а для специальных отраслей широко используются золотые припои (золото содержащие или на золотой основе).

Металлофизический анализ условий формирования паяных соединений между конструкционными материалами и сплавами, при использовании в качестве припоя алюминия и его сплавов показывает, что повышение механических показателей соединений титана, паяных алюминием объясняется тем, что диффузионные зоны в паяных соединениях узкие, по сравнению с рассмотренными ранее паяемыми материалами. Кристаллическое строение интерметаллидных фаз, которые образуются на границах, таковы что направление и скорости их роста при переходе от железа или малоуглеродистой стали к титану, существенно, в разы, отличаются и это объясняется разностью термодинамической активностью взаимодействующих материалов. Но эти показатели чаще всего ответственны за конечный результат - за прочность, но для того чтобы получилось качественное соединение элементов конструкции имеющих развитые формы и большие площади контакта, необходимо наличие определенных свойств которым должны отвечать припои: имея невысокую температуру плавления (γ алюминия = 660°C) но эвтектические сплавы алюминия с кремнием, могут иметь меньшую температуру (577°C), более того при дополнительном легировании медью известный припой 34А разработанный Лоцмоновым имеет температуру плавления 525°C . С позиции доступности, невысокой стоимости, невысокой температуры плавления – алюминиевые припои претендуют на всеобщее применение для пайки большинства материалов. Расширить номенклатуру материалов, которые можно паять с помощью алюминия или его сплавов можно, используя известный метод применения промежуточных покрытий или прокладок в качестве, которых могут применяться (тугоплавкие, монокристаллические, многослойные или монометаллические материалы) сплавы которые уменьшают диффузионные потоки, снижают

скорость растворения и задерживают время до образования хрупких и опасных интерметаллидов, со временем, соизмеримым со временем пайки.

Литература

1. В. Ф. Хорунов, В. В. Воронов, С. В. Максимова, Пайка титановых сплавов с использованием припоев на основе алюминия, Международный научно-технический и производственный журнал № 11 (715) Ноябрь 2012 [3]
2. Б.А. Калинин, В.Т. Федотов, О.Н. Севрюков, Разработка и применение быстро закалённых сплавов для пайки и плакирования конструктивных элементов атомной техники. [1]
3. И.А. Фролов, Контактно-реактивная пайка тонкостенных деталей из титановых сплавов через медную прослойку, Московский инженерно-физический институт (государственный университет), г. Москва.[226]

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Атуев Ш.М.¹, Рзаев Р.А.¹

*¹ФГБОУ ВО Астраханский государственный университет,
г. Астрахань (Россия)
+79275710079, atuevshamil@mail.ru*

Быстрый рост цен на медь побуждает производителей электрического оборудования к замене меди на алюминий в шинах, радиаторах, щитах и т.д. Это в свою очередь приводит к необходимости соединения медных и алюминиевых деталей. Традиционно используемое болтовое соединение не отвечает требованиям стабильности и долговременности электрического контакта [1]. Соединение сваркой плавлением из-за сложности удаления оксида алюминия и большой разницы температур плавления, приводит к образованию хрупкого интерметаллического шва, легко разрушающегося при динамических нагрузках. Достаточно распространен также метод, в котором используется третий металл, имеющий сродство, с одной стороны, к алюминию, а с другой - к меди. Однако он является технологически сложным из-за многоэтапности и зачастую экологически неблагоприятным, поэтому используется для соединения мелких деталей.

Цель работы заключается в разработке технологии сварки соединений разнородных металлов, которые по физическим, химическим и механическим свойствам не уступали свойствам основных металлов и при этом процесс получения соединений доводился до автоматизма.

Решением поставленной цели будет разработка технологии сварки трением с перемешиванием (СТП) разнородных металлов. СТП является процессом соединения материалов в твердом состоянии, при котором специальный вращающийся инструмент, конструктивно состоящий из плоского или профилированного основания (заплетника) и расположенного на нем наконечника с различным профилем (пина), перемещается вдоль поверхностей стыка свариваемых деталей (рис.1). Трение заплетника и пина в контакте со свариваемым материалом вызывает тепловыделение, за счет ко-

того происходит размягчение материала. Процесс трения при СТП сопровождается пластической деформации тонких приконтактных слоев, в которых реализуется внутреннее трение. Основными функциями пина являются перемешивание и перенос материала путем его выдавливания между поверхностью инструмента и не размягченным материалом, а заплечника - создание необходимого давления в зоне сварки [2].



Рис.1. Схема сварки трением перемешиванием

Для проведения опытов металлов были спроектированы, а позднее изготовлены инструменты для СТП (рис.2).



Рис.2. Инструменты для опытов

Достоинствами данного вида сварки являются:

1. Высокая производительность процесса;
2. Высокая энергоэффективность;
3. Высокое качество соединения, при правильно подобранных параметрах сварки;

4. Гигиеничность процесса, из-за отсутствия выделяемых вредных газов, ультрафиолетового излучения, брызг раскаленного металла;

5. Низкие требования к зачистке свариваемых деталей.

6. Стабильное качество соединений. Детали, свариваемые при одинаковых режимах сварки, по свойствам отличаются друг от друга не более чем на 7-10%.

7. Процесс может выполняться на машинах с числовым программным управлением (ЧПУ) с низким использованием ручного труда или вовсе без него.

Литература

1. M Satya Narayana Gupta Finite element modeling and thermomechanical analysis of friction stir welded Al/Cu bimetallic lap joints/ M Satya Narayana Gupta, B Balunaik and K G K Murti// Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. 2012 - Vol. 1, No. 2. - P. 162-173.

2. Thomas W M et al, Friction stir welding, US patent 5460317.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ X18H10T И X16H15M3B, ОБЛУЧЕННЫХ В РЕАКТОРЕ СМ-3

Бакуштова Г.Н.¹, Макаров Е.И.², Неустроев В.С.^{1,2}

¹ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград

²АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград

89279836346, galina.bakshutova.94@mail.ru

Обоснование повышения срока службы внутрикорпусных устройств (ВКУ) и корпуса реактора СМ-3 требует получения новых данных по и структуре образцов коррозионно-стойких сталей и знания закономерностей изменения физико-механических свойств и структуры сталей, в частности, X18H10T и X16H15M3B при низко-температурном облучении 90°C до повреждающей дозы 46 сна. Таких данных было получено немного, например [1], поэтому есть необходимость в расширении существующей базы данных.

Для получения новых данных по структуре образцов аустенитных сталей X18H10T и X16H15M3B проводились металлографические исследования структуры и измерение микротвердости.

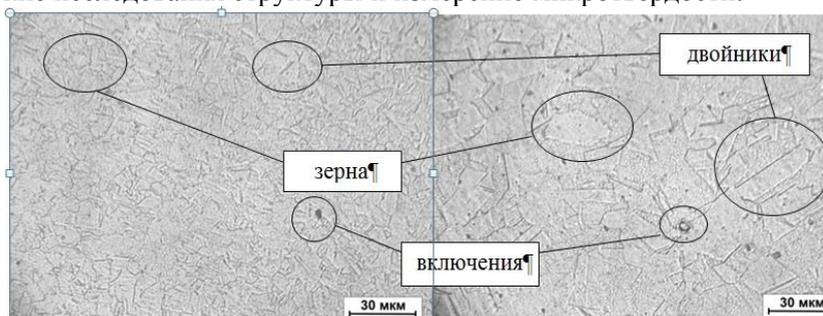


Рис.1. а) Микроструктура стали X16H15M3B, облученной в реакторе СМ-3, б) микроструктура стали X18H10T, облученной в реакторе СМ-3

Металлографический анализ структуры образцов проводился на серийных металлографических микроскопах УМСД и МИМ-15. Примеры исследования микроструктуры сталей приведены на рисунке 1. Во всех исследуемых образцах обнаружена структура, характерная для сталей аустенитного класса – достаточно четкие гра-

ницы зерен, двойники и включения. Средний размер зерен для образцов стали X16H15M3Б равняется 9-11 мкм, а для образцов стали X18H10Т – 20-25 мкм. В ходе исследования микроструктуры облученных образцов аустенитных коррозионно-стойких сталей X18H10Т и X16H15M3Б не было обнаружено видимых изменений в структуре с ростом повреждающей дозы.

Испытания образцов на микротвердость выполнялись на дистанционном микротвердомере типа ПМТ-6, расположенном в «горячей» камере отделения реакторного материаловедения АО «ГНЦ НИИАР».

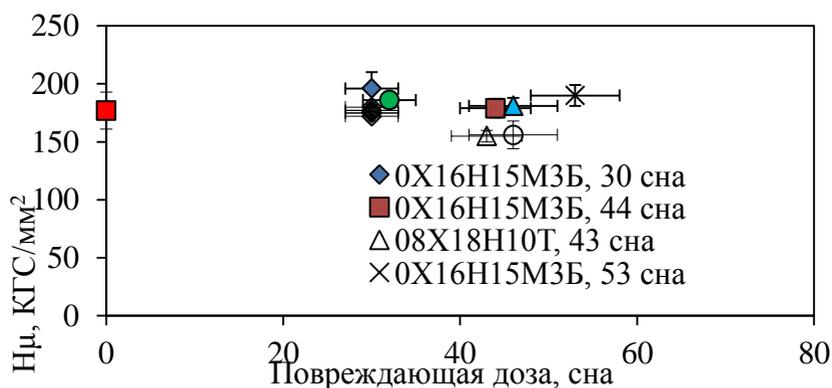


Рис.2. Зависимость микротвердости образцов от повреждающей дозы

Проведено сравнение микротвердости образцов стали X18H10Т, облученных в реакторе СМ-3 с массивом данных, полученных при исследовании микротвердости образцов этой стали, облученных в реакторе БОР-60 и реакторах ВВЭР [2,3].

Полученные данные могут войти в базы данных для обоснования увеличения срока службы внутрикорпусных устройств и корпуса реактора СМ-3.

Литература

1. В.К. Шамардин, А.М. Печерин, Е.П. Клочков, Ю.Д. Гончаренко, Т.Н. Колесова. Механические свойства облученных аустенитных хромоникелевых сталей применительно к условиям работы

корпусов и внутрикорпусных устройств реакторов СМ-2 и БОР-60. (М: ЦНИИ Атоминформ. (1986).

2. В.С.Неустроев. Экспериментальное исследование упрочнения и его корреляции с микротвердостью в облученных аустенитных нержавеющей сталях. – Сборник статей. Моделирование поведения реакторных материалов под облучением, Ульяновск, УлГУ. С.67-75 (2007).

3. Неустроев В.С., Белозёров С.С., Макаров Е.И., Маркелов Д.Е., Обухов А.В. «Радиационные явления в облученных аустенитных сталях после длительного облучения в реакторе БОР-60» // XXI Международный Уральский семинар «Радиационная физика металлов и сплавов»: сборник тезисов докладов. Кыштым, С.50-51 (2015).

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

Березнер А.Д.¹, Фёдоров В.А.¹, Плужникова Т.Н.¹

¹*Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Тамбов
8-960-668-85-88, qwert1009@mail.ru*

Исследование процессов, протекающих в аморфных металлических образцах, представляет интерес ввиду наличия у данного вида материалов уникальных магнитных и механических свойств по отношению к классическим металлам. Известно, что в процессе нагрева аморфных и нанокристаллических металлов их структура способна перестроиться, и, следовательно, могут измениться вышеуказанные свойства. Несмотря на наличие работ [1], [2], [3], направленных на поиск опорных параметров состояния механической деформации, явное установление связи этих величин со структурой материала осложнено неоднозначностью моделей, в рамках которых были предложены эти параметры. Чаще всего рассматриваются три модели, применяющиеся для качественного описания процессов, протекающих в аморфных металлических сплавах. К ним относятся: модель свободного объема, модель структурной релаксации, жидкостная модель. В рамках данных моделей предлагаются опорные величины, связанные с деформацией: вязкость, величина относительной деформации при ползучести и др. Однако, ввиду отсутствия явного вида функции удлинения, применение экспериментальных результатов в рамках имеющихся моделей затруднено. В связи с этим, целью работы является: экспериментальное и аналитическое исследование деформационного поведения аморфного и нанокристаллического металлических сплавов при комбинированном воздействии температурного поля и постоянной нагрузки. В экспериментах использовали аморфные и нанокристаллические металлические сплавы на основе кобальта с размерами: 50×3,5×0,02 мм. Предварительно нагруженные образцы нагревали в печи при температурах от 300 до 1023 К. Скорость нагрева поддерживали постоянной. Также проводили нагружение

при постоянных температурах, не превосходящих температуру кристаллизации исследуемых сплавов. Температуру образца фиксировали лазерным пирометром Testo-845. Удлинение образцов измеряли триангуляционным датчиком, рельеф поверхности лент фиксировали профилометром Wyko NT 9080 (длина волны излучения $\lambda = 670$ нм). Для определения кристалличности структуры выполняли исследования на дифрактометре. Экспериментально установлено, что при переменном нагреве и постоянной нагрузке кривая деформации является гладкой или сопровождается локальными скачками (рис.1.).

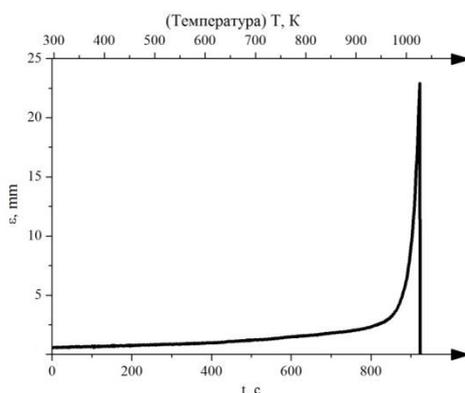


Рис. 1. Кривая ползучести, построенная в условиях ползучести при влиянии переменного температурного поля

При фиксированной нагрузке и постоянной температуре образцы аморфных сплавов заметно деформируются лишь при достижении критической температуры, необходимой для активации процесса ползучести.

Установлено, что для всех экспериментальных кривых на всем интервале применимости классической физики (до масштаба микрометра) возможен подбор гиперболической или линейной зависимости (в случае нагрева в постоянном температурном поле). Из литературы [4] известно, что деформация аморфных образцов является негетерогенным процессом, что свидетельствует об отсутствии ньютоновского течения в процессе ползучести. Это позволяет провести проверку практической применимости предложенных урав-

нений посредством альтернативного доказательства отсутствия ньютоновского течения в структуре аморфных и нанокристаллических сплавов, при воздействии переменного и постоянного температурного поля.

Размерность предложенных величин сохраняется во всех преобразованиях. В случае линейной зависимости ползучести, при деформации с постоянной температурой нагрева, условие ньютоновского течения также не выполняется ввиду постоянства величины скорости деформации, что приводит к неоднозначной зависимости сдвиговой нагрузки и скорости деформации.

Литература:

- [1] J. Strombom , P. Henderson, S.J. Savage. Script.Met.et Mat. 27, (1992);
- [2] K. Csach, J.Miskuf, A. Jurikova. Acta Phys. Pol. 113, (2008);
- [3] P.Kozikowski et al., Script.Mat. 67, (2012);
- [4] Люборский, Ф. Е. Аморфные металлические сплавы. М. Металлургия, 1987.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-00432) и гос. задания (проект № 2476)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕНСОРНОЙ АКТИВНОСТИ

Беспалова П.Г.¹, асп. Кондратьева А.С.¹

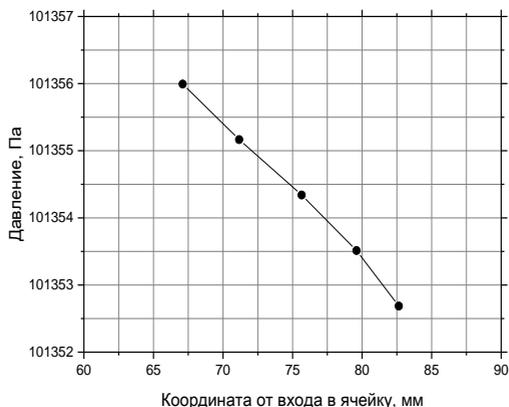
¹НИУ СПбПУ, Санкт-Петербург
8(921)322-40-13, polinlin0508@mail.ru

На сегодняшний день полупроводниковые сенсоры привлекают внимание исследователей в связи с их низкой стоимостью и простотой производства, широким спектром детектируемых газов, высокой величиной отклика на малые концентрации детектируемого вещества, длительным сроком службы и возможностью миниатюризации устройств на их основе [1]. Газочувствительность большинства полупроводниковых сенсоров проявляется в интервалах температур 500 ÷ 750 К, при этом температурный режим подбирается отдельно для каждого из газов [1].

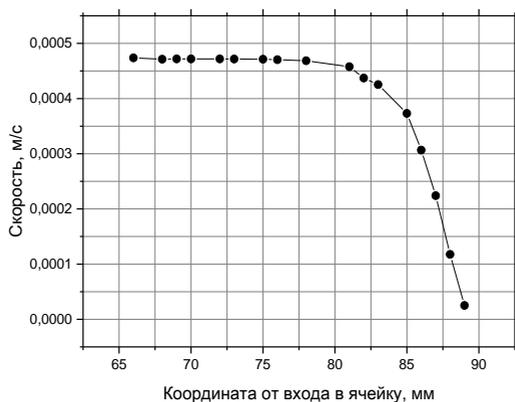
Целью проведенной работы было создание и оптимизация установки для исследованию характеристик газовых сенсоров.

Разработанная установка позволяет изучать зависимости отклика сенсора от температуры (нахождение оптимальных температур работы сенсора), от концентрации подаваемого газа, устойчивость сенсора к постоянному сигналу, время отклика и восстановления, а также моделировать условия контролируемой влажности.

С помощью программы COMSOLMultiphysics были смоделированы газовые потоки в реакторе при различных режимах подачи реагента [2]. На основании этого была определена граница использования установки по скоростям при $p=1$ атм, $T=293,15$ К, $v=1\div 250$ м/с. В этих условиях давление над сенсором изменяется линейно (рис.1а), скорость же распределяется по закону, представленному на рис. 1б и сохраняется таким в широком интервале температур.



а)



б)

Рис.1 а) зависимость между давлением и координатой от входа в ячейку,
б) зависимость между скоростью и координатой от входа в ячейку

Литература

1. C.Wang, L.Yin, L. Zhang, D. Xiang and R.Gao ,Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors, Sensors 2010, 10, 2088-2106.

2. Введение в ComsolMultiphysics [Электронный ресурс] // URL:https://www.comsol.ru/shared/downloads/IntroductionToCOMSO LMultiphysics_5.2_ru.pdf (Дата обращения: 28.03.2016).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В АППАРАТАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ОТКРЫТОГО ПАКЕТА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Варсеев Е.В., Коновалов М.А.

НИЯУ МИФИ, Москва
eugeny.varseev@gmail.com

В работе рассматриваются различные подходы к моделированию тепло- и массообмена в установках с натриевым теплоносителем с помощью открытого пакета OpenFOAM. Применена методика поэтапного теплогидравлического и массообменного расчета для двух задач, рассматривающих аппараты, охлаждаемые натрием: расчет коэффициента удержания холодной ловушки реактора на быстрых нейтронах и исследование застойных зон системы охлаждения печи для плавления металлических отходов. Расчеты выполнены с помощью стандартных решателей *buoyantSimpleFoam* и *scalartTransportFoam*, входящих в набор расчётных подпрограмм пакета OpenFOAM по умолчанию.

Для получения распределения взвесей в решаемых задачах применялся модифицированный решатель *scalartTransportFoam* с источником взвешенной фазы. Учет образования взвешенной фазы в расчете производится за счет пересыщения теплоносителя примесью при охлаждении. Для этого в решатель были введены уравнение конвективно-диффузионного транспорта примеси и уравнение предельной растворимости примеси в теплоносителе в качестве замыкающего соотношения.

В результате проведенных расчетов получены картины течения теплоносителя и распределения концентрации примесей в рассматриваемых жидкометаллических системах. Показано, что предлагаемая методика позволяет рассчитывать тепломассообменные характеристики аппаратов сложной конфигурации, однако требует набора дополнительных входных параметров, таких как: коэффициент массоотдачи, температурные зависимости растворимости и диффузии примеси в рассматриваемой среде, а также концентрация примеси на входе в расчетную область.

Литература

1. Варсеев Е.В., Коновалов М.А., Алексеев В.В. Результаты численного моделирования тепломасообмена в макете холодной ловушки. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: ядерно-реакторные константы. – 2014. – №2. – С. 105-112.

ЗАДЕЛКА ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ 07X12НМФБ В ТРУБНЫЕ ДОСКИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ РАБОТАЮЩИХ С РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ БН-1200

Винников Виктор Сергеевич, Терехов Виктор Михайлович

*ПАО «ЗИО-Подольск», город Подольск, Московская обл.
конт. тел 89672599655., v.vinnikov@eatom.ru*

Аннотация

Проблема ресурса и безопасности работы оборудования работающего в первом контуре АЭУ становится все более актуальной проблемой.

Многочисленными исследованиями установлено, что одной из причин преждевременного выхода из строя парогенераторов является нерациональные технологические процессы закрепления в них теплообменных труб.

Заделка теплообменных труб в трубные доски парогенераторов работающих с реакторными установками БН-1200, предполагает использование жаропрочных труб из стали 07X12НМФБ ранее не используемой при производстве теплообменного оборудования для АЭС[1].

Цель работы.

Тема проведенной работы предполагает установление причин которые могут вывести из строя парогенератор с заделкой труб из стали 07X12НМФБ, определить метод (гидрораздача, запрессовка взрывом, заделка механическими роликовыми вальцовками) и технологическую последовательность заделки, повышающую надежность и безопасность парогенератора и применяемых материалов РУ-БН-1200.

Направление исследований.

Исследования проводились на однотрубных, семитрубных, девятнадцатитрубных, моделях. В трубных досках различной толщины (60, 200, 270, 310мм) из стали 07X12НМФБ закреплялись трубы Ø16х2 мм из стали 07X12НМФБ.

Выполнен комплекс исследований узла закрепления труб в трубных досках из стали 07X12НМФБ механическим вальцеванием участков труб при различных крутящих моментах и частотах вра-

щения веретена[2], запрессовки труб энергией взрывчатых веществ и гидрораздачей с варьированием режимов на специальном стенде.

Таблица 1. Механические свойства стали 07Х12НМФБ

Временное сопротивление σ_b , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное ужение Ψ , %	Ударная вязкость KCV, Дж/см ²
не менее				
638	490	15	60	118

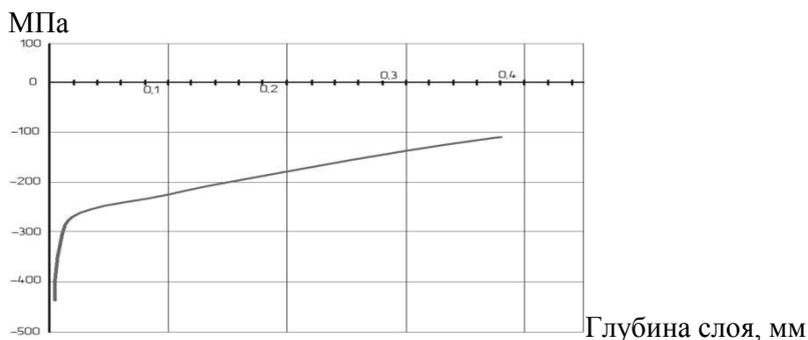


Рис.2. Остаточные напряжения в поверхностном слое наружной поверхности трубы из стали 07Х12НМФБ после вальцевания

Исследованы механические свойства материалов труб и трубной доски из стали 07Х12НМФБ.

Исследованы остаточные напряжения в поверхностных слоях трубы и отверстиях трубной доски с учетом метода Давиденкова-Биргера после закрепления труб [3,4].

Вывод

На основании полученных опытных данных определены режимы закрепления труб в трубные доски из стали 07Х12НМФБ при механическом вальцевании, гидрораздаче, запрессовке энергией

взрывчатых веществ. Выбран рациональный метод закрепления труб.

Литература

1. Соломатина А.В., Блохина А.Н. «Перспективный корпусной парогенератор для реактора БН-1200». ОКБ «ГИДРОПРЕСС» 2014.- 8с.

2. Отраслевой стандарт ОСТ 26-02-1015-85 «Крепление труб в трубных решетках».

3. Котов И.В. «Совершенствование технологии изготовления высоконагруженных резьбовых соединений атомных энергоустановок типа БН-800, БН-1200» 2015.- 165с.

4. Терехов В.М. «Технологические основы обеспечения качества глубоких отверстий и соединений теплообменных труб с трубными решетками и коллекторами аппаратов атомных энергоустановок» 2006. – 476с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕМНО- ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ 20ГФЛ

Даубарайте Д.К.¹, Нечайкина Т.А.², Ли Э.В.³

*¹Национальный Исследовательский технологический Университет
«МИСиС», г. Москва*

*²Национальный Исследовательский технологический Университет
«МИСиС», г. Москва*

*³Национальный Исследовательский технологический Университет
«МИСиС», г. Москва*

+7 (985) 216 03 76, darya.daubarayte@mail.ru

Литые детали подвижного состава железнодорожного транспорта, изготавливаемые из стали типа 20ГЛ, подвержены большим динамическим и ударным нагрузкам, работают в тяжелых климатических условиях, различной влажности и составе воздуха, в том числе при отрицательных температурах. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является повышение эксплуатационной надежности ответственных деталей подвижного состава путем обеспечения более высоких механических свойств используемых сталей.

Перспективным методом упрочнения сталей для ответственных деталей железнодорожного транспорта является метод объемно-поверхностной закалки (ОПЗ) [1]. ОПЗ включает нагрев детали в шахтной электропечи, выдержку при температуре аустенитизации и охлаждение в быстродвижущемся потоке воды. Метод ОПЗ позволяет за один прием осуществлять закалку поверхностного слоя на мартенсит и производить упрочнение сердцевины рабочего сечения детали. Однако влияние ОПЗ на коррозионные свойства сталей практически не исследовано. В связи с этим, целью работы являлось изучение структуры механических свойств и коррозионной стойкости стали 20ГФЛ после нормализации и ОПЗ.

В работе проведены исследования изменения структуры и микротвердости по сечению образцов фрагментов боковых рам из стали 20 ГФЛ после нормализации (в состоянии поставки) и после ОПЗ. Установлено, что ОПЗ создает градиент твердости по сечению изделия: 450-500 НRC на поверхности и 350 НRC в центре за

счет образования тростомартенсита на поверхности и сорбита в сердцевине.

Разработана и опробована методика коррозионных испытаний образцов, вырезанных из боковой рамы, в атмосфере и в камере соляного тумана. Проведен качественный анализ продуктов коррозии. При испытаниях образцов в соляном тумане установлена разная скорость коррозии после нормализации и ОПЗ различных структурных областей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (Соглашение № 14.581.21.0009 от 03.10.2014, уникальный идентификатор № RFMEFI58114X0009).

Литература

1. С.А. Никулин, В.М. Федин, А.Б. Рожнов, С.О. Рогачев, А.А. Армизонов. Влияние объемно-поверхностной закалки на циклическую прочность фрагментов боковых рам тележек грузовых вагонов // *Металловедение и термическая обработка металлов.*—2015.— № 11.—С. 42-46

АНАЛИЗ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКСТУРЫ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ СЛИТКОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Демчегло В.Д.¹, Табачкова Н.Ю.¹, Воронин А.И.¹

¹НИТУ «МИСиС», Москва

8 (985) 257 63 62, vdmtrievna@yahoo.com

Термоэлектричество является одним из перспективных направлений в альтернативной энергетике в связи с необходимостью масштабного освоения экологически безопасных источников энергии. В качестве основных материалов для термоэлектрических охлаждающих устройств и термогенераторов, работающих при температурах ниже 300 °С, используются твердые растворы на основе халькогенидов висмута и сурьмы. Эти соединения имеют ромбоэдрическую кристаллическую решетку и слоистую структуру, что определяет значительную кристаллографическую анизотропию, и связанную с ней анизотропию физических свойств: вдоль плоскостей спайности значения этих свойств значительно больше, чем поперек [1]. Термоэлектрическая эффективность определяется добротностью Z , зависящей от отношения анизотропных коэффициентов электро- и теплопроводности.

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa} \quad (1)$$

Для получения высокоэффективных термоэлектрических материалов необходимо добиться максимального значения термоэлектрической добротности Z .

Целью данной работы было провести анализ анизотропии свойств твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Se}_{0,3}\text{Te}_{2,7}$. Построить указательные поверхности для удельной электропроводности, теплопроводности и коэффициентов термоэлектрической эффективности и термического расширения.

Сечение эллипсоидов вращения описывается уравнением указательной поверхности тензора (2):

$$\frac{x_i^2}{x_{\max}^2} + \frac{y_i^2}{y_{\max}^2} = 1 \quad (2)$$

где x_i, y_i - соответствуют текущим координатам - значениям свойства;

x_{\max}, y_{\max} - максимальные значения этих свойств.

По полученным данным можно легко оценивать влияние ориентации кристаллитов на электрофизические свойства образца (рис. 1).

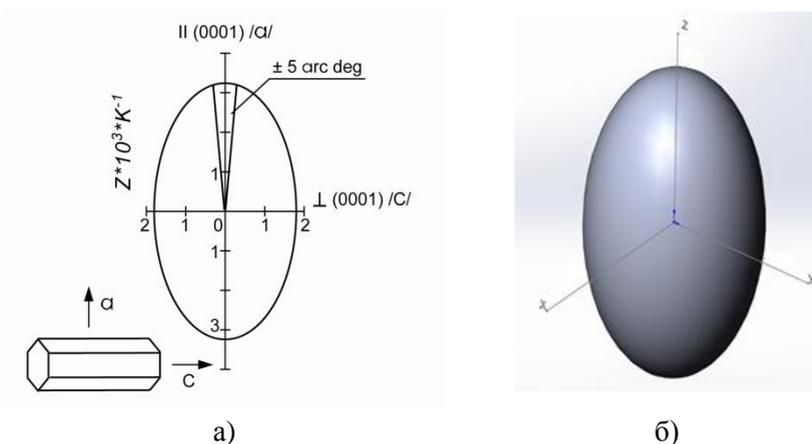


Рис. 1. а) Указательная поверхность коэффициента термоэлектрической эффективности Z для твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$, б) объемное изображение.

В работе показано, что текстура является важным фактором, формирующим анизотропию свойств и технологическую пригодность слитка для изготовления модулей. Проведен анализ анизотропии свойств на основе изучения текстуры в слитках, полученных методом зонной плавки и модифицированным методом Бриджмена (выращивание термоэлектрических пластин в плоской полости).

Анализ текстуры показал, что для предложенного метода кристаллизации существенным фактором, влияющим на формирование структуры твердых растворов термоэлектрического материала,

является не только скорость кристаллизации, но и конструктивное исполнение кристаллизационной полости. При уменьшении толщины пластины в результате изменения условий теплоотвода в тонком зазоре можно получить более совершенную структуру.

Литература

1. Л.Е. Шелимова, О.Г. Карпинский, П.П. Константинов и др. Неорганические материалы. 2004. Т.40. No5. С.530-540.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Егоров В. И.

*Череповецкий государственный университет, г. Череповец
+79210533193, rvladegorov@rambler.ru*

В настоящее время интенсивно развивается область знаний, связанная с управлением поверхностными свойствами материалов. Особое внимание уделяется вопросам регулирования смачивания поверхности субстратов для придания супергидрофобных свойств [1-2]. Такими свойствами обладают шероховатые и пористые поверхности, имитирующие структуру листа лотоса. Гидрофобные свойства материала позволяют ему самоочищаться за счёт вбирания грязи водой, скатывающейся по поверхности. Важным моментом является изменение свойств (в том числе и гидрофобных) такого материала при механических воздействиях (деформациях, изгибах). В данной работе рассматривается растяжение поверхности с полимерным покрытием.

Для исследования деформации поверхностей с полимерным покрытием была создана дискретно-континуальная модель (рис.1), состоящая из ротаторов, связанных с подложкой, представляющей собой континуальную среду. Система находится под внешним растягивающим воздействием с силой F , приложенной как к подложке, так и к гидрофобному покрытию с обеих сторон.

Потенциальная энергия всей системы является суммой энергии упругой деформации подложки и взаимодействий между ближайшими сегментами, описываемых потенциалом Штокмайера (совокупность потенциала Леннарда-Джонса и энергии дипольных ориентационных взаимодействий). Методом Монте-Карло с использованием алгоритма Метрополиса при заданной температуре определена равновесная конфигурация системы; рассчитаны зависимости энергии, силы (рис.2) и модуля Юнга (рис.3) от величины относительной деформации системы.

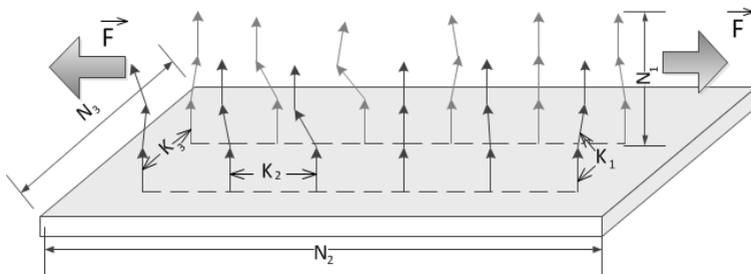


Рис. 1. (а) Дискретно-континуальная модель: модель трехмерной упорядоченной полимерной системы N_2N_3 цепей, состоящих из N_1 жестких кинетических единиц – сегментов. N_2 и N_3 – число цепей вдоль каждого из направлений поперечного сечения системы), связанных с подложкой.

Система подвержена растяжению силой \vec{F} .

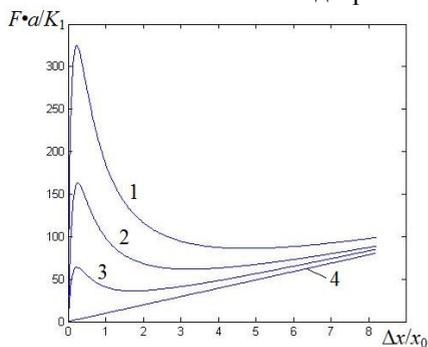


Рис.2. Зависимость приложенной к системе приведенной силы $F \cdot a / K_1$ от величины ее относительной деформации $\Delta x / x_0$ при условных значениях параметров внутри ($K_1 = 10$) и межцепных взаимодействий: $K_3 = 1$ (1), 0,5 (2), 0,1 (3); зависимость силы $F \cdot a / K_1$ от деформации $\Delta x / x_0$ для подложки по закону Гука-Юнга (4).

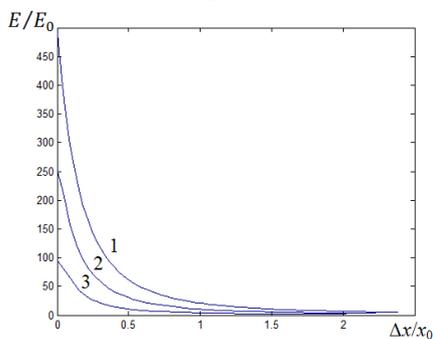


Рис.3. Зависимость приведенного модуля Юнга E / E_0 (E_0 – модуль Юнга подложки) системы от величины ее относительной деформации $\Delta x / x_0$ при условных значениях параметров внутри ($K_1 = 10$) и межцепных взаимодействий: $K_3 = 1$ (1), 0,5 (2), 0,1 (3).

Убывание силы после пика на рис. 2 объясняется разрывом связей между сегментами полимерного покрытия (при этом происходит нарушение гидрофобной структуры поверхности) и ростом роли подложки в процессе деформации. Похожие зависимости наблюдаются при растяжении тонких пленок кристаллических полимеров, но в этом случае объяснение хода зависимостей объясняется перестройкой внутренней структуры полимеров [3].

Литература

1. Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение. Успехи химии. 2008. Т. 77. Вып. 7. – С. 619-638.
2. O.I. Vinogradova, A.V Belyaev Wetting, roughness and flow boundary conditions. J. Phys.: Condens. Matter. 2011. Vol. 23, p. 184104.
3. Аскадский А.А. Деформация полимеров. М.: Химия, 1973. 448 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В СТАЛИ 07X12МНФБ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Жарков С.Н.¹, Могутов И.В.^{1,2}

¹ ПАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск», г. Подольск

² НИЯУ МИФИ, г. Москва

Тел. 8-903-134-96-92, e-mail: s.zharkov@eatom.ru

При изготовлении корпусных деталей теплообменных аппаратов обработка глубоких отверстий является одной из наиболее сложных и трудоёмких операций механической обработки [1]. Для обеспечения эксплуатационной надёжности теплообменных аппаратов к обрабатываемым глубоким отверстиям предъявляются высокие требования по точности и характеристикам поверхностного слоя, в том числе остаточным напряжениям и деформационному упрочнению [2].

Целью данной работы стало исследование влияния различных вариантов обработки глубоких отверстий на остаточные напряжения 1-го рода в поверхностном слое заготовок из стали 07X12МНФБ, которая является новым и перспективным материалом для энергетического машиностроения. Обработка глубоких отверстий выполнялась на станке «ТВТ ВВW500-3-1800», исследование остаточных напряжений проводилось на оборудовании ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» по методу Давиденкова-Биргера.

Установлено, что наиболее благоприятные параметры поверхностного слоя обеспечиваются при обработке глубоких отверстий по двухпроходной технологии – сверлении инструментом типа ВТА с последующим развёртыванием.

Определено, что при сверлении инструментом ВТА со скоростью резания $V = 42-46$ м/мин и подачей $F = 0.015-0.02$ мм/об в поверхностном слое обработанных отверстий формируются остаточные напряжения сжатия, как показано на рис. 1.

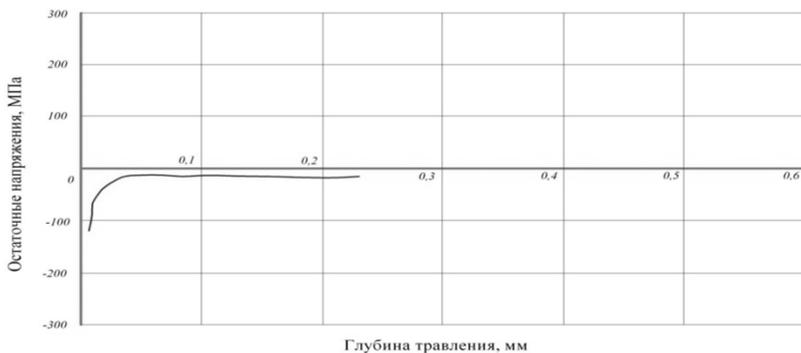


Рис. 1 – Остаточные напряжения после сверления сверлом типа ВТА. Режимы резания: скорость резания $V=46$ м/мин; подача $F=0.02$ мм/мин.

При сверлении инструментом типа ВТА со скоростью резания $V=42-46$ м/мин и подачей $F=0.09-0.1$ мм/об в поверхностном слое обработанных отверстий формируются остаточные напряжения растяжения, как показано на рис. 2.

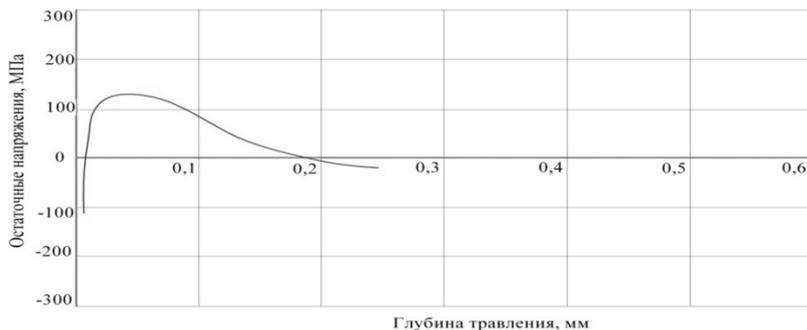


Рис. 2 – Остаточные напряжения после сверления сверлом типа ВТА. Режимы резания: скорость резания $V=46$ м/мин; подача $F=0.09$ мм/мин.

При сверлении инструментом типа ВТА и развёртывании со скоростью резания до $V=20$ м/мин и подачей $F=0.35-0.375$ мм/об в поверхностном слое обработанных отверстий стабильно формируются остаточные напряжения сжатия, как показано на рис. 3.

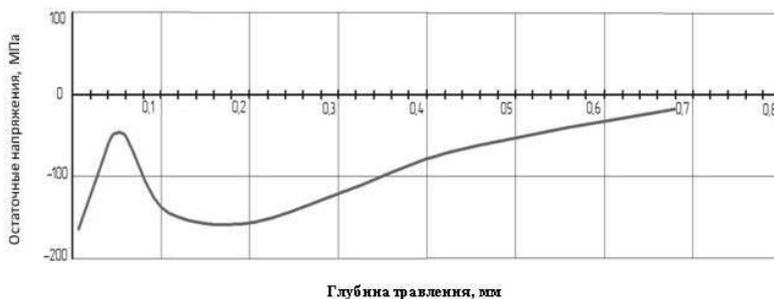


Рис. 3 – Остаточные напряжения после сверления сверлом типа ВТА и развёртывания.

Режимы резания при сверлении: скорость резания $V=46$ м/мин; подача $F=0.1$ мм/мин.

Режимы резания при развёртывании: скорость резания $V=20$ м/мин; подача $F=0.35$ мм/мин.

Полученные результаты исследований позволили разработать рациональную технологию обработки глубоких отверстий в деталях из стали 07Х12МНФБ.

Литература

1. Могутов И.В., Клауч Д.Н., Ягуткин Е.Г. Особенности обработки глубоких отверстий // Технология машиностроения. 2013. №7. С. 16-18
2. Терехов В.М. Исследование состояния поверхностного слоя глубоких отверстий в деталях ответственных теплообменных аппаратов // Технология машиностроения. 2001. №3. С.41-45

ЗАВИСИМОСТЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО КРИТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ОТ ДАВЛЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ КРИОГЕННЫХ СРЕДАХ

Жилов Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
тел. +7(904)397-88-03, e-mail: zhilovs@mail.ru*

Известно [1, 2], что при нестационарном тепловыделении кризис кипения, приводящий к пережогу нагревателя, в некоторых жидкостях может происходить при тепловом потоке, существенно меньшем, чем величина первого критического теплового потока $q_{кр1}$, достигаемого при квазистационарном подводе тепла. Минимальное значение теплового потока при котором происходит переход к пленочному режиму кипения будем называть нестационарным критическим тепловым потоком $q_{кр,мин}$. Значение нестационарного критического теплового потока зависит от рода жидкости, приведенного давления и целого ряда других факторов. При этом должно выполняться следующее неравенство:

$$q_{кр2} \leq q_{кр,мин} \leq q_{кр1}, \quad (1)$$

где $q_{кр2}$ – второй критический тепловой поток, при котором происходит сход паровой пленки. Некоторые формулы для расчета величины нестационарного критического теплового потока представлены в работах [1, 3].

В работе [2] показано, что величина $q_{кр,мин}$ будет меньше, чем $q_{кр1}$, если отношение энергии, которая запасается в тепловом пограничном слое в процессе нестационарной теплопроводности, $E_{зап}$ к энергии $E_{исп}$, необходимой для образования устойчивой паровой пленки, больше единицы:

$$\Psi = \frac{E_{зап}}{E_{исп}} \geq 1 \quad . \quad (2)$$

В данной работе рассматриваются условия возникновения нестационарного кризиса кипения для различных криогенных жидкостей, в зависимости от приведенного давления $P/P_{кр}$. На рис. 1а представлены результаты расчета зависимостей $q_{кр1}$, $q_{кр2}$ и $q_{кр,мин}$ от приведенного давления для жидкого азота в условиях насыщения

по формулам, приведенным в работе [4]. Расчет $q_{кр2}$ производился по различным моделям (заштрихованная область). На рис. 1б показана область изменения зависимости Ψ от приведенного давления, рассчитанная по различным соотношениям [4].

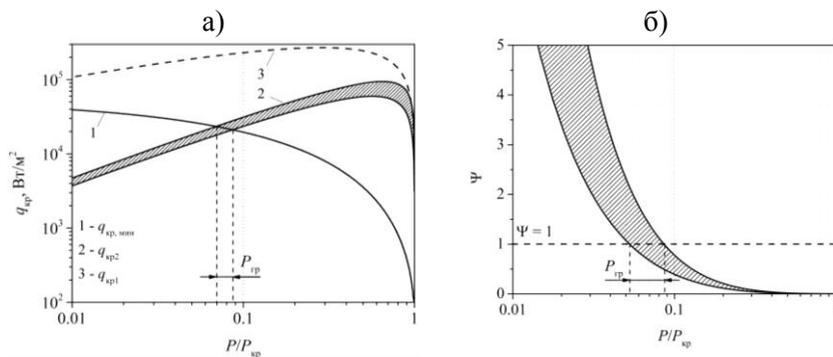


Рис. 1. Зависимость критических тепловых потоков (а) и отношения энергий Ψ (б) от приведенного давления для жидкого азота в условиях насыщения

Как видно из рисунков, существует область давлений $P < P_{гр}$, в которой выполняются условия (1) и (2). В таблице 1 представлены результаты расчетов для других криогенных сред. Важно отметить, что в области $P < P_{гр}$ плотность теплового потока $q_{кр,мин}$ во всех рассмотренных жидкостях существенно меньше, чем $q_{кр1}$, что следует учитывать при конструировании и расчете криогенных систем (сверхпроводниковое оборудование, космическая техника и другое технологическое оборудование).

Таблица 1. Результаты расчета граничного значения давления $P_{гр}$ для различных криогенных жидкостей

Жидкость	$P_{гр}/P_{кр}$	$P_{кр}$, атм
Азот	0.052 - 0.086	34.0
Аргон	0.040 - 0.080	48.6
Кислород	0.046 - 0.082	50.4
Криптон	0.042 - 0.090	55.3
Неон	0.034 - 0.090	26.8

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. Деев В.И., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А., Влияние темпа нарастания тепловыделения в нагревателе на нестационарный критический тепловой поток // Труды шестой российской национальной конференции по теплообмену, 2014, с. 545 - 547
4. Теплообмен при кипении криогенных жидкостей / Веркин Б.И., Кириченко Ю.А., Русанов К.В. – Киев: Наук. думка, 1987

СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ (ЖСС) ПОСЛЕ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Козлов Андрей Петрович¹, Терехов Виктор Михайлович²

¹ПАО «ЗиО-Подольск», город Подольск, Московская обл.
конт. тел.: 89165123043, e-mail: a.kozlov@eatom.ru,

²ПАО «ЗиО-Подольск», город Подольск, Московская обл.

Аннотация

Развитие современного газотурбиностроения характеризуется расширяющимся применением жаропрочных лопаточных материалов с повышенными физико-механическими свойствами. Неуклонное возрастание требований к качеству поверхностного слоя деталей лопаточного производства, необходимость повышения производительности труда требуют совершенствования методов финишной обработки.

Совершенствование финишной обработки лопаточных ЖСС, основывающееся на изыскании условий их шлифования кругами из синтетических сверхтвердых материалов (ССТМ) на металлической связке, обеспечивающих повышение производительности труда, стабильное состояние параметров поверхностного слоя, является актуальной задачей, решение которой позволит снизить трудоемкость и себестоимость изготовления деталей лопаточного производства и повысить их эксплуатационную надежность [1, 2].

Цель работы.

Исследование состояния поверхностного слоя в процессе шлифования ЖСС кругами из ССТМ на металлической связке и выявление на этой основе технологических параметров, обеспечивающих высокую производительность.

Направление исследований.

Исследование процесса шлифования жаропрочных сплавов и сталей проведено с применением шлифовальных кругов из синтетического алмаза и эльбора с маркой зерна АС6, АС15, АС20, АС32, и зернистостью от 160/125 до 400/315 на металлических связках М016, МШ-Т2, 50, 100 и 150%-ной концентрации ССТМ.

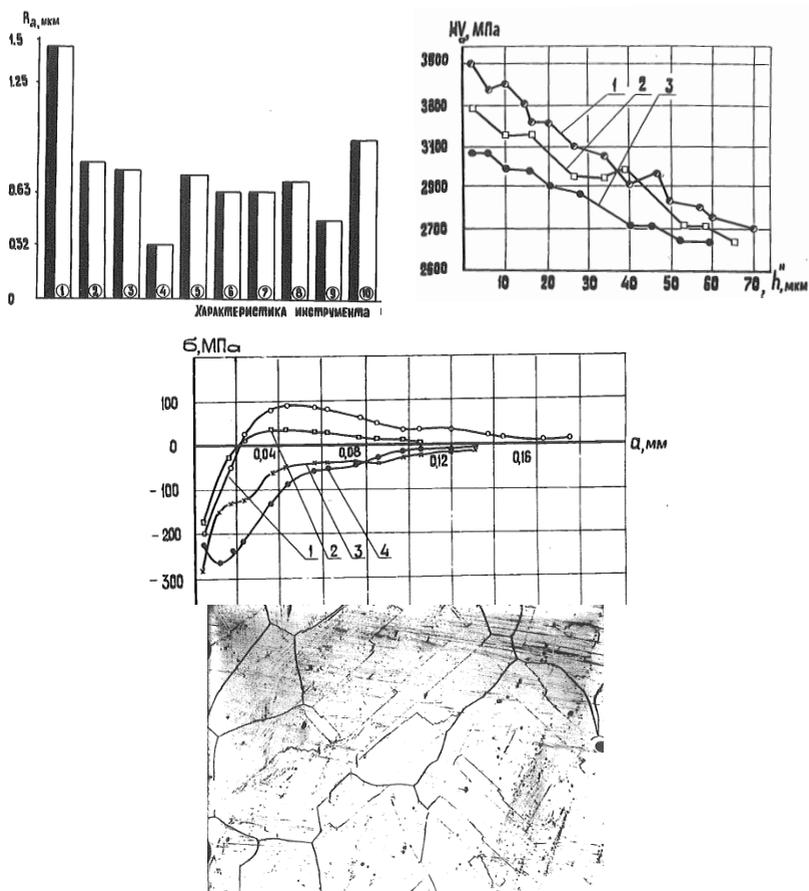


Рис. 1. Шероховатость поверхности, наклеп, остаточные напряжения после алмазного шлифования

Исследования проведены главным образом на теплоустойчивой сложнелегированной хромистой стали ЭИ961, а также на лопаточных никелевых жаропрочных сплавах - ЭИ893, ЭИ929, ЖС6К, ЭП539, ЭП800 и ЭП957.

Для исследования состояния поверхностного слоя (основные параметры: шероховатость поверхности, деформационные упрочнения и остаточные напряжения) применены прогрессивные методики.

Выводы

1. Исследованием состояния поверхностного слоя определено, что алмазное шлифование ЖСС на установленных из условий экономически обоснованной производительности режимах способствует формированию более однородной микроструктуры поверхностного слоя по сравнению с абразивным шлифованием.

2. Экспериментами по исследованию эффективности рабочих сред при алмазном шлифовании ЖСС установлено:

- применение смазывающих охлаждающих жидкостей (СОЖ) на водной основе, обладающих пассивирующими свойствами, позволяет увеличить производительность обработки, снизить удельный расход алмаза, улучшить состояние поверхностного слоя и санитарно-гигиенические условия труда;

3. Высокую эффективность процесса алмазного шлифования ЖСС показали круги с маркой зерна АС15, АС32 на металлической связке М016, МШ-Т2 со 100% концентрацией, при пассивирующих свойствах СОЖ на основе полиалкиленгликолей, а также водного раствора на основе трехзамещенного фосфорнокислого калия.

Литература

1. Козлов А.П. «Изыскание и исследование прогрессивного технологического процесса шлифования жаропрочных сталей и сплавов кругами из синтетических сверхтвёрдых материалов применительно к лопаточному аппарату энергетических газовых турбин»: магистерская диссертация - Москва 2015г., 149 с.

2. Терехов В.М. «Изыскание и исследование прогрессивного технологического процесса шлифования деталей лопаточного производства из жаропрочных сталей и сплавов кругами из синтетических сверхтвёрдых материалов»: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук.- Москва 1989 г., 263 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Козлов М.Д.¹, Атуев Ш.М.¹, Рзаев Р.А.¹

¹ФГБОУ ВО Астраханский Государственный Университет, г. Астрахань
(Россия)

+79171930185, kozlovmarkd@gmail.com

Вопросы теплопереноса при сварке трением с перемешиванием (СТП) представляют большой интерес, как с точки зрения теории, так и практики. В процессе СТП температура в зоне сварки и ее распределение по металлу существенным образом влияют на скоростные и технологические характеристики, а также на процессы массопереноса и фазовые превращения. Рассматриваемый метод относится к способам сварки материалов в твердой фазе, где скорость диффузионных процессов, обеспечивающих надежное соединение свариваемых деталей, очень сильно зависит от температуры в области сваривания [1].

Цель работы заключается в теоретическом моделировании температурной динамики при СТП для получения параметров режима сварки металлов и сопоставление теоретических параметров с экспериментальными.

Рассмотрим два разнородных соприкасающихся металлических диска с общей осью и относительно небольшой толщиной h_I и h_{II} . В результате вращения инструмента (пина с заплечником) в центральном цилиндре радиусом r_0 , и концентрически примыкающем к нему цилиндрическом кольце с внешним радиусом r_1 выделяется тепловая мощность, являющаяся некоторой функцией времени: $P = P(t)$. Это приводит к осесимметричному потоку тепла.

Выделим внутри каждого диска концентрические цилиндрические поверхности с нелинейно возрастающими радиусами $r_0, r_1, r_2, \dots, r_N$. Они разбивают диски на N кольцевых участков, отделяемых друг друга этими поверхностями (рис.1). Радиус пина равен r_0 , а заплечника - r_1 . Радиус внешнего цилиндрического торца равен r_N .

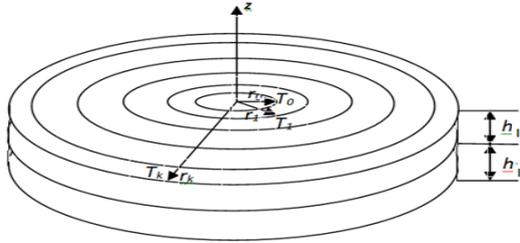


Рис.1. Схема выделения кольцевых элементов биметаллического диска

За температуру k -го биметаллического кольца ($k = 0, 1, \dots, N-1$) принимаем абсолютную температуру T_k на внутренней цилиндрической поверхности с радиусом r_k . Полагаем температуру одинаковой для обоих составляющих кольца из-за большой теплопроводности и относительно малой толщины пластин. Энтальпию кольца выражаем как

$$H_k = (m_{kI}c_I + m_{kII}c_{II})T_k + const. \quad (1)$$

Здесь c_I и c_{II} - удельные изобарные теплоемкости I-го и II-го металлов. Массы составляющих кольца соответственно равны $m_{kI} = \pi(r_{k+1}^2 - r_k^2)h_I\rho_I$ и $m_{kII} = \pi(r_{k+1}^2 - r_k^2)h_{II}\rho_{II}$, где ρ_I и ρ_{II} - плотности I-го и II-го металлов.

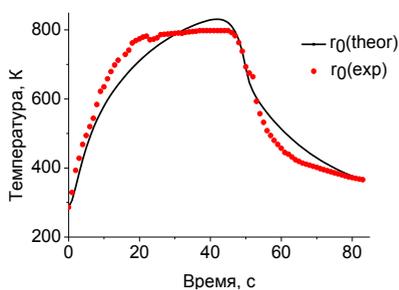
Скорость изменения энтальпии для выделенного k -го кольца можно представить в виде уравнения энергетического баланса:

$$\frac{dH_k}{dt} = wP\delta_{k,0} + (1-w)P\delta_{k,1} + P_k^a + P_k^b + P_k^r + P_k^e. \quad (2)$$

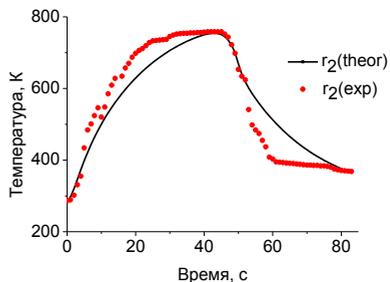
Здесь w - доля мощности, выделяющейся в области контакта с образцом пина, от величины P мощности, идущей на нагрев образца. Остальная ее часть выделяется в области контакта с заплечником. $\delta_{k,k'}$ - дельта-символ Кронекера.

Вид кривых зависимости вводимой мощности и ее производной по температуре в области, примыкающей к пину, показан на рис.2.

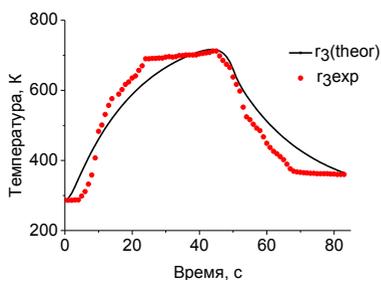
На рис. 2 приведены результаты измерения температуры в указанных точках в процессе подвода мощности инструментом с фиксированным относительно образца положением оси.



а)



б)



с)

Рис. 2. Расчетная (сплошная кривая) и экспериментальная (пунктирная кривая) зависимости температуры от времени: а – на расстоянии 2.5 мм; б – на расстоянии 7.5 мм; с – на расстоянии 15 мм от оси инструмента.

Литература

1. Рзаев Р.А., Чуларис А.А., Джалмухамбетов А.У., Атуев Ш.М. динамическая модель распределения температуры в металле при сварке трением с перемешиванием// *Фундаментальные исследования*. - 2016. - № 3-1. - С. 47-55.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВОДОВ МЕТОДОМ ГИБКИ ТРУБ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Кузичкин К.Л.

¹ ПАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск», Московская область

+7(495)7471025*2031., kkuzichkin@yandex.ru

Отводы (криволинейные участки) являются одним из самых распространенных элементов трубопроводов ТЭС и АЭС, на которые при производстве приходится до 50% объема выпуска продукции. Вместе с тем отводы, вследствие сложного напряженного состояния, являются наиболее часто повреждаемыми элементами трубопроводов, разрушение которых в процессе эксплуатации, приводят к большому материальному ущербу и другим тяжелым последствиям. Качеству изготовления отводов уделяется особое внимание, поскольку оно во многом является определяющим фактором работоспособности и безопасной эксплуатации трубопроводов энергетических установок в целом.

В последнее время для производства отводов широко применяется метод гибки труб на установках с индукционным нагревом, который, по сравнению с традиционными методами изготовления, имеет ряд специфических особенностей, не нашедших должного отражения в нормативно-технической документации. Вследствие чего, при изготовлении отводов гибкой с индукционным нагревом применяются правила, относящиеся к иным методам, что приводит, с одной стороны, к разнообразию толкования правил отдельными производителями отводов, препятствующих их унифицированной качественной оценке, с другой стороны, применения избыточных технологических операций, влекущих дополнительные затраты.

Цель работы: исследовать влияние температурно-скоростных параметров процесса гибки труб с индукционным нагревом на структуру и механические свойства металла отводов, величину остаточных напряжений для определения оптимального технологического режима, обеспечивающего требуемое качество изделий и

разработать руководящие технические материалы для применения в производстве.

Литература

1. ОСТ 108.030.124-85 Детали и сборочные единицы из сталей перлитного класса для трубопроводов атомных станций. Общие технические условия;

2. СТО ЦКТИ 10.003-2007 Трубопроводы пара и горячей воды тепловых станций. Общие технические требования к изготовлению;

3. PFI ES-24 Pipe Bending Methods, Tolerances, Processes and Material Requirements.

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИФАЗНОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА

Кузьмин В.С.¹, Посохов Д.В.¹, Луцик И.О.¹

¹Томский политехнический университет, 634034, г.Томск, пр. Ленина, 30
Тел. 89234036474, e-mail: vsk23@tpu.ru

Одной из перспективной технологии иммобилизации РАО является использование матричных материалов на основе цирконолита, перовскита и т.д. полученного в режиме СВС [1], [2].

В данной работе рассмотрен синтез матричного материала на основе перовскита с добавлением Ni в исходную шихту компонентов. Наличие добавки должно существенно увеличить выход реакции синтеза и сместить фазообразование в сторону получения перовскита.

Для приготовления смеси использовались промышленно изготовленные порошки никеля марки ПНК–ОТ1 и алюминия марки ПА–4. В ходе проведения синтеза матричных образцов к исходной шихте в качестве имитаторов радиоактивных отходов добавляли порошок Nd_2O_3 (марки ч., ТУ 609-4272-84).

На рисунке 1 представлена рентгенограмма образца с молекулярным соотношением реагентов $\text{Ni}/\text{Al}/\text{Nd}_2\text{O}_3$ 1,2/1/0,5. Анализ образца показал наличие фазы перовскита NdAlO_3 в количестве 37,9 % масс.

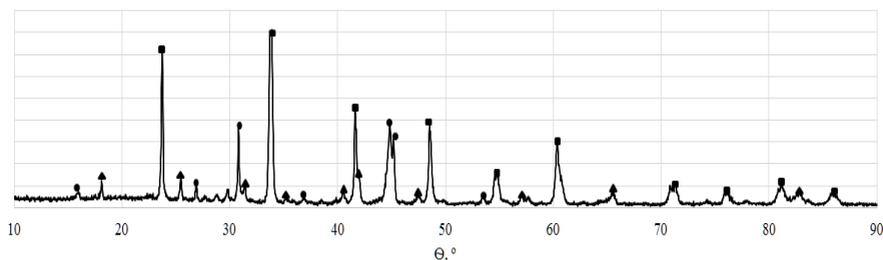


Рис.1 – Рентгенограмма образца,
где ■ – NdAlO_3 – 37,9 %, ▲ – Ni_2Al_3 – 54,5 %, ● – NiAl_3 – 7,6 %.

Таким образом, наличие никелевой добавки позволяет увеличить количество синтезируемого перовскита на основе алюминия по сравнению с традиционной реакцией синтеза.

Литература

1. М. Скачек, Обращение с отработавшим топливом и радиоактивными отходами АЭС, Издательство: МЭИ, 488 с.

2. Петров Г. А.; под ред. Мержанова А. Г. Инновационные энергосберегающие технологии переработки радиоактивных отходов. – М.: Книжный мир, 2012. – С. 122 – 123.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПАН-ВОЛОКОН В ТЕХНОЛОГИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Малкина К.А., Зубова Н.Г.

*Балаковский инженерно-технологический институт -
филиал НИЯУ МИФИ, г.Балаково
89063168737, xenka.vasha@yandex.ru*

Развитие современной авиации, ракетно-космической техники, судостроения, машиностроения базируется на применении полимерных композитов, для которых возможно широкое регулирование состава, структуры и свойств. Основной задачей современного материаловедения композиционных материалов является изучение вопросов совместимости компонентов с точки зрения их физико-химического взаимодействия, а также структуры границ раздела и свойств композитов при использовании различных методов получения и исследование полимерных материалов при эксплуатации в различных условиях [1-2].

В связи с этим целью работы являлось исследование влияния модифицированного полиакрилонитрильного волокна (ПАН-волокон) на эксплуатационные и функциональные свойства композита на основе термореактивного связующего.

В качестве модифицирующей ванны, в которой обрабатывалось ПАН-волокно, применялся 5%-ный раствор сульфата гидроксомеди (II) ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), в качестве термореактивного связующего — эпоксидная смола (ЭД-20), отверждаемая полиэтиленполиамином (ПЭПА). Модификацию ПАН-волокон проводили при времени обработки 60 с. Сушку волокна осуществляли при комнатной температуре в течении 24 ч.

Оценку физико-механических показателей модифицированных ПАН-волокон проводили по изменению относительной разрывной нагрузки элементарных волокон, в сН/текс. При этом относительная разрывная нагрузка модифицированных ПАН-волокон 5%-ным раствором $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ повышается на 12% по сравнению с исходной нитью.

Получение эпоксидного композиционного материала на основе модифицированных ПАН-волокон проводили методом прессования с предварительной пропиткой наполнителя, в массовом соотношении 1:1, с последующим отверждением в замкнутой форме под давлением $5,0 \pm 0,5$ МПа при температуре 110°C в течение 1 ч.

Влияние модифицированных волокон на технологические свойства композиционных материалов оценивали по исследованию кинетики отверждения эпоксидной смолы в присутствии армирующих систем, которое показало, что модифицированное ПАН-волокно сокращает время гелеобразования в 3 раза, время отверждения - в 2 раза, максимальную температуру отверждения - в 2 раза.

Эпоксидные композиционные материалы на основе модифицированного сульфатом гидроксомеди (II) ПАН-волокна, характеризуются высокими значениями эксплуатационных свойств. Результаты испытаний показывают, что для образцов композита, наполненного волокном, модифицированным 5%-ным раствором соли, разрушающее напряжение при растяжении повышается на 10%; разрушающее напряжение при изгибе на 26%; твердость по Бринеллю на 75%, по сравнению с образцами композитов, армированных немодифицированной нитью.

Композиционные материалы на основе модифицированных ПАН-волокон и эпоксидной смолы исследовали на стойкость к действию агрессивной среды, в качестве которой применяли концентрированную фосфорную кислоту. Анализ влияния фосфорной кислоты на образцы композиционных материалов проводили по изменению массы композитов (рис. 1).

Данные по изучению влияния химически-агрессивной среды на полимерные материалы свидетельствуют о незначительном изменении массы образцов эпоксидного композита на основе ПАН-волокна, модифицированного сульфатом гидроксомеди (II) в зависимости от времени.

Таким образом, использование в качестве армирующего наполнителя модифицированных волокон в терморезистивное связующее способствует повышению эксплуатационных и функциональных свойств разработанного композита.

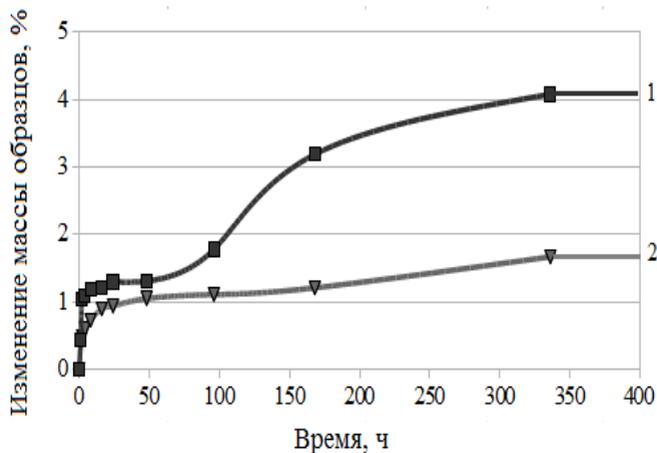


Рис. 1. Зависимость изменения массы образцов от времени: 1 — ЭД-20; 2 — ЭД-20+ПАН-волокно+CuSO₄·5H₂O

Литература

1. А.В. Шульга. Композиты. Ч. 1. Основы материаловедения композиционных материалов. (М.: НИЯУ МИФИ. 2013).
2. В.М. Сутягин. Общая химическая технология полимеров. (Томск: Из-во Томского политехнического университета. 2007).

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ УПРУГИХ МОДУЛЕЙ ГЦК МЕТАЛЛОВ

Матвеев М.В.¹, Селиваникова О.В.¹, Черепанов Д.Н.²

¹Томский Политехнический университет, г. Томск

²Томский Государственный Архитектурно-Строительный университет,
г. Томск

7-909-538-27-09, ohgres@yahoo.com

Математическая модель изменения свойств материала может нести в себе различные параметры, наиболее важными из которых являются упругие модули, характеризующие напряженное состояние материала. Наиболее часто используемым параметром в математических моделях является модуль сдвига, определяющий способность металла сопротивляться сдвиговой деформации. Есть множество методов экспериментального определения упругих модулей монокристаллов [1], с помощью которых можно произвести расчет модуля Юнга и модуля сдвига, однако из-за сложности их изготовления ведутся исследования для создания методов их теоретического расчета [2][3]. Поэтому, целью данной работы является получение температурных зависимостей модулей сдвига чистых металлов на основе экспериментальных данных упругих модулей монокристалла, которые впоследствии верифицируются по экспериментальным данным для модуля Юнга поликристаллов.

Расчет по известным методам определения модуля сдвига поликристалла приводит к тому, что расчетные данные существенно отклоняются от экспериментальных в диапазоне высоких температур (рис.1).

В связи с этим предлагается введение поправок на нелинейный характер отклонения. Это может быть вызвано тем, что с увеличением температуры изменяются межатомные расстояния и энергия активации диффузии атомов, но точная природа данного явления еще не известна. Предлагается использовать следующие формулы:

$$E(T) = E_0 \left(1 + A \left(\frac{T}{T_{nl}} \right) + B \left(\frac{T}{T_{nl}} \right)^2 + C \left(\frac{T}{T_{nl}} \right)^3 \right)$$

или

$$E'(T) = E_i \left(1 + A' \left(\frac{T}{T_{nl}} \right) + B' \left(\frac{T}{T_{nl}} \right)^2 + C' \left(\frac{T}{T_{nl}} \right)^3 \right),$$

где: E_0 – значение модуля Юнга при температуре 0К;
 E_i – значение модуля Юнга при i -й температуре.
 Коэффициенты уравнений приведены в таблице 1.

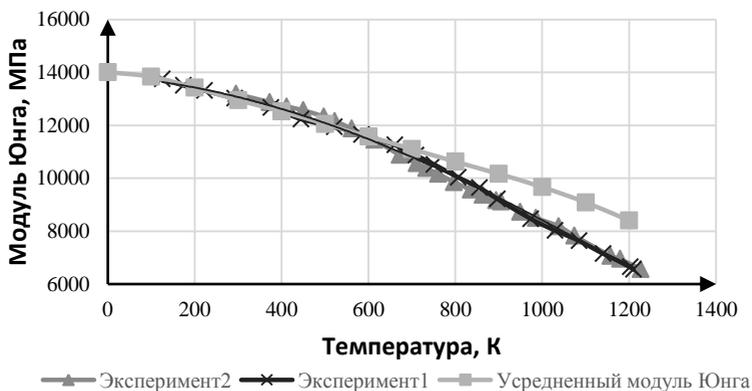
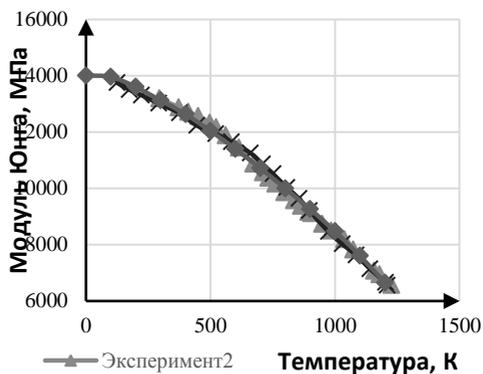


Рис. 1. Температурная зависимость модуля Юнга поликристалла меди от температуры

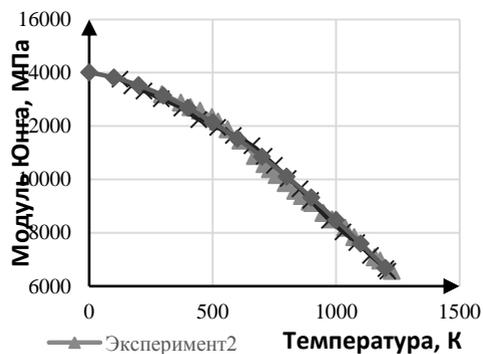
Таблица 1. Коэффициенты уравнений для различных металлов

	Медь	Никель	Алюминий
A	0,15	-0,1	-0,05
B	-0,4	-0,09	0,41
C	-0,04	0,25	-0,5
A'	-0,14	-0,25	-0,18
B'	-0,67	-0,13	0,34
C'	0,18	-0,14	-0,05

Из графиков видно, что при использовании предложенных поправок наблюдается соответствие экспериментальных и теоретических данных, таким образом возможно использование данных формул на практике для получения температурных зависимостей модуля Юнга ГЦК металла, без многократных экспериментов при различных температурах.



а)



б)

Рис. 2. а) Температурная зависимость модуля Юнга $E(T)$, б) Температурная зависимость модуля Юнга $E'(T)$

Литература

1. Г. Хантингтон. Упругие постоянные кристаллов. 1961. т. LXXIV, вып. 2
2. Z. Hashin, S. Shtrikman. A variational approach to the theory of the elastic behavior of polycrystals. 1962 — 343-352 p.
3. R. Hill, Proc. Phys. Soc. London A 65 (1952) 349

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ФОРМИРУЕМЫХ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПЛАСТМАСС ТИПА CR-39

Матросова М.Ю.¹, Литвиненко О.В.¹

*¹Дмитровградский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
Россия, г. Дмитровград*

При использовании полимеров для регистрации ионизирующего излучения образуются латентные треки, которые возможно визуализировать посредством травления. В настоящее время не существует модели травления треков в пористых полимерах, т.к. нет точного описания механизма химического травления, поэтому целью данной работы является уточнение структурных особенностей полимеров на примере CR-39 для последующего создания модели травления треков.

CR-39 получают путем полимеризации диэтиленгликоль-бисаллилкарбоната (АДК) при участии диизопропилпероксидикарбоната (ИПП) в качестве инициатора. Присутствие аллильных групп позволяет полимеру формировать поперечные связи, что делает его реактопластом [1]. Пока молекулы полимера обладают определённой подвижностью, формируется развитая пористость. Стенки сформированных пузырьков имеют после стеклования напряжённую стеклоподобную структуру. В низкомолекулярной жидкости регулярность в расположении молекул существует только между соседними молекулами; уже на расстоянии 4 или 5 молекулярных диаметров эта регулярность полностью исчезает.

В полимерах размеры упорядоченных областей могут быть много больше. При охлаждении значительно уменьшается свободный объём. Можно было бы ожидать, что при достаточном охлаждении свободный объём уменьшится до нуля. В действительности этого не происходит, поскольку сегменты макромолекул, в которые входит по 5-20 атомов углерода, могут участвовать в тепловом движении лишь при наличии достаточных по размеру пустот по соседству с ними. В эти пустоты и перемещаются сегменты в процессе теплового движения. Если свободный объём становится менее 2,5% от общего объёма полимера, размеры пустот и их число ста-

новятся настолько малыми, что тепловое перемещение сегментов прекращается.

При охлаждении полимер перестает быть эластичным и становится твердым. Температура, при которой это происходит, и есть температура стеклования T_c . В области стеклообразного состояния изменение ближнего порядка при охлаждении уже не происходит и удельный объем уменьшается только за счет уменьшения расстояний между молекулами [2]. Переход полимера в стеклообразное состояние при охлаждении сопровождается фиксацией определенной структуры определенного ближнего порядка, которые не меняются при дальнейшем охлаждении. Фиксация структуры, исключение возможности ее перестройки при охлаждении делают стеклообразный полимер неравновесным.

В аморфном стеклообразном состоянии, представляющем собой в первом приближении состояние переохлажденной жидкости, существует свободный объем, состоящий из дефектов в виде пустот микроскопических масштабов, а также множества более крупных каверн-пузырьков. Данный свободный объем не накладывает ограничений на структурную модель собственно аморфного состояния, поскольку он рассматривается в качестве дефекта, а не структурного элемента. С другой стороны каверны-пузырьки могут рассматриваться в качестве структурного элемента полимера.

Свободный объем при температуре выше T_c подразделяется на два компонента: вакансионный свободный объем и междоузельный свободный объем. Первый определен как доля незанятого объема в полимере, который может быть перераспределен без какой-либо поставки энергии.

Изучение структурных особенностей полимера посредством исследования гигроскопических свойств CR-39 в нашей лаборатории показал, что:

- материал полимера CR-39 действительно пористый и хорошо впитывает воду;
- после высыхания масса детектора восстанавливает своё первоначальное значение, т.е. влага полностью удаляется из объёма полимера.

Полученные результаты позволяют нам сделать следующие выводы о том, что материал полимера CR-39 имеет хорошо развитую пористую структуру, а также, что ячеистый объём «открыт» к по-

верхности полимера. Пористость полимера типа CR-39 имеет, скорее всего, технологическое происхождение, поскольку в материале полимера, в процессе его полимеризации наблюдается значительное газовыделение [3], которое приводит к формированию пористой структуры конечного полимера.

Библиографический список:

1. Пластики конструкционного назначения (реактопласты) / П.Г. Бабаевский [и др.] – М.: Химия, 1974. – 304 с.
2. Каргин, В.А. Краткие очерки по физико-химии полимеров / В.А. Каргин, Г.Л. Слонимский – М.: МГУ, 1960. – 175 с.
3. Клемпнер, Д. Полимерные пены и технологии вспенивания / Д. Клемпнер, В. Сенджаревич; перевод с англ. под ред. А.М. Чеботаря. – СПб. : Профессия, 2009. – 600 с.

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК НА СТАБИЛЬНОСТЬ СТРУКТУРЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Минаков А.А.¹, Плохих А.И.¹

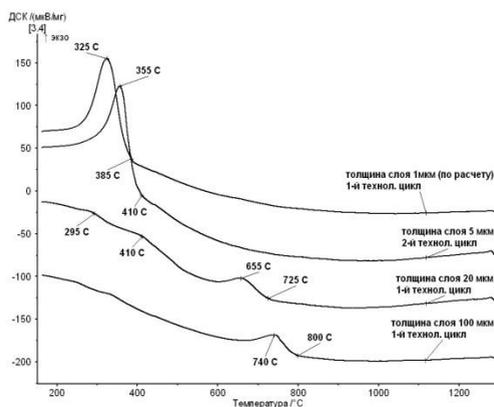
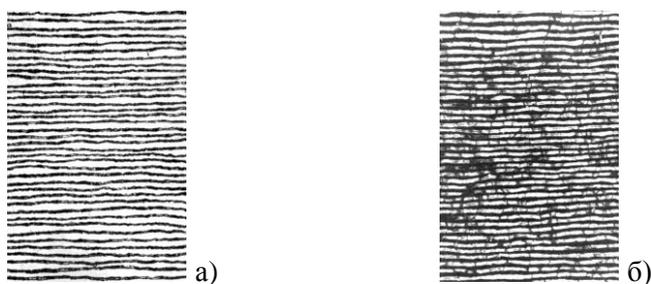
*¹ФГБОУ ВПО Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва
8-915-344-72-70, crytoicem@rambler.ru*

Наиболее эффективным и экономичным методом получения многослойных металлических материалов является метод горячей пакетной прокатки композитных заготовок. Применение этого метода позволяет получать слоистую структуру с толщинами микронного и субмикронного диапазона в многослойных материалах на основе сталей [1]. При этом получение материалов со слоистой структурой является сложной задачей, т.к. нарушение строения приводит к невозможности равномерного утонения слоёв материала пластической деформацией. Поэтому актуальным является исследование причин нарушения многослойной структуры в таких материалах.

Объектами исследования служили четыре модельные стальные композиции: У8+08Х18Н10, 08кп+08Х18Н10, У8+08Х18 и 08кп+08Х18. Вначале каждая многослойная заготовка состояла из 100 чередующихся через один листов сталей с толщинами 0,5 мм по 50 штук каждой марки. При реализации экспериментального технологического маршрута, включающего в себя мерную резку заготовок из листов, их последующую обработку поверхности и сборку в пакет, вакуумирование пакета и его дальнейшее пластическое деформирование при температуре 1000 °С, были получены полосы толщиной 10 и 2 мм. Толщина отдельного слоя в стослойном композите, после проведения первого технологического цикла, составила 100 и 20 мкм. Для реализации второго технологического цикла из полученных полос толщиной 2 мм был собран пакет, прошедший такой же технологический маршрут. В результате были получены многослойные заготовки толщиной 10 и 2 мм с толщиной отдельного слоя, соответственно, 5 и 1 мкм, с количеством слоев около 2000 шт. (рис.1. а). При реализации второго цикла в

ряде образцов композитов наблюдалось нарушение многослойной структуры (рис.1. б).

Основным методом исследования в ходе проводившихся экспериментов служил метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с использованием калориметра DSC 404 F1 Pegasus фирмы Netzsch. Образцы каждой из композиций были нагреты до температуры 1000 °С в инертной среде аргона, далее выдерживались в течение 5 минут, а затем охлаждались со скоростью 10 °С/мин. Для каждой из композиций в режиме охлаждения были получены термограммы охлаждения.



в)

Рис.1. а) Микроструктура поперечного сечения многослойного образца композиции У8+08Х18Н10, толщина слоя 5 мкм; б) Микроструктура поперечного сечения многослойного образца композиции У8+08Х18, толщина слоя 5 мкм; в) Термограмма охлаждения образцов модельной композиции У8+08Х18

При анализе полученных термограмм было установлено, что для всех композиций наблюдался общий характер дрейфа положения критических точек, что наиболее ярко наблюдается в композиции У8+08Х18 (рис.3 в). Главной причиной изменения положения критических точек прямого превращения, может служить диффузия легирующих элементов, приводящая к усреднению химического состава [2]. Учитывая особенности экспериментального технологического маршрута изготовления, изменение положения критических точек может приводить к многократной структурной перекристаллизации на границах слоев многослойного композита и, как следствие, к нарушению формирующейся многослойности структуры.

Литература

1. Колесников А.Г., Плохих А.И., Комиссарчук Ю.С., Михальцевич И.Ю. Исследование особенностей формирования субмикронаноразмерной структуры в многослойных материалах методом горячей прокатки//МиТОМ. – 2010. – № 6. – С. 44–49

2. Плохих А. И., Власова Д.В., Ховова О.М., Полянский В.М. Исследование влияния диффузионной подвижности легирующих элементов на стабильность структуры многослойных металлических материалов // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. - №11, страница размещения: <http://technomag.edu.ru/doc/262116.html> (дата обращения 02.03.2016)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НКТ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Несветайло Т.В.

*Омский государственный технический университет, г. Омск
8-904-584-51-68, nesvet_22@mail.ru*

Насосно-компрессорные трубы (НКТ) широко применяются в нефтегазовой отрасли. В связи с тем, что агрессивность грунтов постоянно оказывает влияние на НКТ, последние подвергаются коррозии и эрозии. К наиболее эффективным и защищенным относят НКТ с покрытиями.

Для восстановления пропускной способности труб требуется их очистка, что является актуальной задачей на сегодняшний день. Определение значимости повторного использования НКТ для нефтепромыслового оборудования является целью данной статьи. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- 1) проанализировать существующие методы и подходы к очистке труб на примере нефтедобывающих предприятий;
- 2) рассмотреть принцип работы очистных сооружений.

В настоящее время в связи с высокой стоимостью вновь приобретаемых НКТ и штанг, а также значительных затрат на их приобретение и транспортировку до мест эксплуатации большую актуальность приобретает ремонт труб. Таким образом, предполагается, что повторное использование качественно отремонтированных труб позволит сэкономить финансовые средства также за счет сокращения количества аварий в скважинах.

В процессе эксплуатации НКТ на внутренних и наружных поверхностях труб образуются отложения парафиносмолообразований, что приводит к сужению проходного сечения труб. В связи с этим снижается подача нефти, НКТ становятся непригодными для дальнейшего использования. В [2] подробно рассмотрена сепарация газа, отрицательно влияющая на работу внутрискважинного насосного оборудования, предлагается откачка газа из затрубного пространства в колонну НКТ.

Перед проведением всего комплекса ремонтных работ происходит очистка в цехе мойки и диагностики, который разработан с учётом использования в производстве современных систем контроля, а также управления технологическими процессами. В [1] подробно рассмотрены способы и устройства для удаления асфальто-смолопарафиновых отложений с внутренней поверхности НКТ.

Наружная и внутренняя поверхность трубы проводится мойкой пароводяным способом. Она осуществляется горячей водой (температура $t=90-95^{\circ}\text{C}$), подаваемой под напором 0,4-0,5 МПа.

Представляет интерес подход к очистке труб ООО «Игринский трубно-механический завод». В [3] говорится, что «трубы, поступающие от заказчика, проходят гидротермическую обработку с целью очистки их поверхности. Трубы, не удовлетворяющие требованиям технических условий и не имеющие соответствующих параметров, отбраковываются. Пригодные для ремонта трубы подвергаются отрезке резьбовой части, которая изнашивается сильнее всего. Нарезается новая резьба, навинчивается новая муфта и маркируется. Восстановленные трубы увязываются в пакет и отправляются поставщику».

Итак, анализ современных источников и литературы показал, что именно от состояния внутренней поверхности деталей трубопровода зависит долговечность и экономичность эксплуатации. Таким образом, НКТ, определенные для повторного использования, должны быть своевременно очищены от различных грязей, асфальто-смолопарафиновых отложений.

Несмотря на то, что значимость повторного использования НКТ до конца не определена нефтегазовыми предприятиями, в настоящее время появляются новые технологии, улучшаются процессы, разрабатываются и внедряются новые методы модернизации.

Литература

1. А.Н. Миннивалеев. Совершенствование очистки насосно-компрессорных труб от асфальтно-смолопарафиновых отложений (АСПО). Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». С. 218-226 (2013).
2. М.Д. Валеев. Технология увеличения производительности нефтяных скважин. Экспозиция Нефть Газ. №6(38). С. 53-56 (2014).

3. Насосно-компрессорная труба: рецепт долголетия. Аналитика - Нефть и Газ. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.energyland.info/analytic-show-24063> (дата обращения: 04.04.2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР AlGaAs/GaAs

Пачин М.М.

НИЯУ МИФИ, Москва

тел. +79164622256, e-mail irdav2007@rambler.ru

Актуальность:

Данное исследование необходимо из-за потребности создания излучателей повышенной выходной мощности (Высокой мощности выходного излучения). Данные излучатели получили широкое распространение в силу их востребованности в промышленной обработке материалов, лазерной резке металлов и лазерной сварке. Оценка температурных параметров излучателей $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ позволит сформировать основные критерии окружения для температурного режима работы системы, где планируется использовать излучатель.

Цель работы:

Целью настоящей работы является получение оценок распределения температур в излучателе на основе $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$. Получить оценки взаимосвязей между габаритами и дизайном гетероструктуры $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ и оценками распределения температур. На основании данных оценок будут сделаны выводы о критериях к внешнему окружению излучателя и условиям применимости.

Оценить какая часть энергии выделяется в виде излучения, а какая в виде тепла можно согласно следующему представлению:

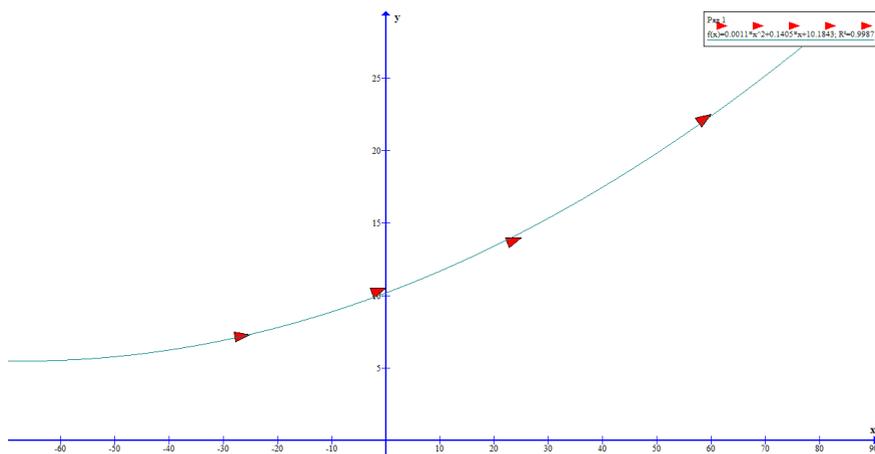
$$Q_{p-n} = J_{раб.} U - (J_{раб.} - J_{нор.}) U \eta \quad (1)$$

$$J_{нор.} = 8\pi N^2 E_g^2 \Delta E d \quad (2)$$

данное приближение основывается на том, что не весь ток идет на излучение, часть тока накачки переходит в основном в тепло. Так же текущий рабочий ток зависит от материала, точнее от содержания алюминия в $Al_xGa_{1-x}As$, так как ширина запрещенной зоны имеет следующую эмпирическую зависимость

$$E_g(x) = 0.43x^2 + 0.63x + 0.354 \quad (3)$$

Таким образом, выведенная экспериментально зависимость довольно точно согласуется с моделью, так как показания приборов независимы, то события независимы и в результате получаем суммарную дисперсию в виде суммы дисперсий (погрешностей) измерений. Получили значения порогового тока J_0 генерации в зависимости от температуры:



Тем самым мы можем сравнить графические результаты с экспериментом.

Выводы:

- данные полученные экспериментально и при помощи численного моделирования расходятся в среднем на 10%, расхождение данных связано с погрешностью приборов эксперимента.

- моделирование позволяет оценить состав и геометрические параметры излучателей на гетеропереходе $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ согласно техническому заданию заказчика.

Температура, С	Мощность излучения, Вт	Пороговый ток, А $J_{\text{пор}} = 60$	Температура, С	Мощность излучения, Вт	Пороговый ток, А $J_{\text{пор}} = 45$
5	100		5	101,1	
10	97,9		10	73,3	
15	83,5		15	63,9	
20	74,7		20	57,7	
25	69		25	52,5	
30	60		30	40,1	
35	56		35	38	
40	53		40	36	
45	50		45	34	
50	44		50	27	
55	38,8		55	24,1	
60	34		60	20	

Литература

1. А.В. Волотельников. Тепловые процессы в гетеролазерах. (Труды ФТИ им. Иоффе 2014г).

РАЗРАБОТКА МАТРИЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В РЕЖИМЕ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Посохов Д.В.¹, Кузьмин В.С.¹, Луцик И.О.¹

¹*Томский политехнический университет, 634034, г.Томск, пр. Ленина, 30
Тел. 89234410022, e-mail: posokhov.d.v@gmail.com*

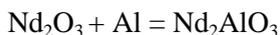
В настоящее время на территории Российской Федерации накоплено порядка пяти ста шестидесяти (560) миллионов кубических метров РАО, 50% из которых находятся во временных хранилищах до дальнейшей переработки. И каждый год накапливается около пяти миллионов кубических метров.

На данном этапе реализованы два технологических процесса по иммобилизации РАО в матрицы: цементирование и использование матриц на основе стекла. Однако, с точки зрения долговременной экологической безопасности стеклянные матрицы не могут быть использованы для иммобилизации радиоактивных отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды, представляющие угрозу в течение десятков и сотен тысяч лет [1].

Для того чтобы включённые в матрицу радионуклиды были надёжно иммобилизованы в течение необходимого времени, она должна обладать определённым комплексом физических и химических характеристик, такими как: теплопроводность, теплоемкость, достаточными механические характеристики. К другим важным характеристикам матричных материалов можно отнести радиационную стойкость и химическую стабильность [2].

Существуют различные керамические матричные материалы. Одним из которых является перовскитная керамика, аналог природных устойчивых минералов, отвечающие установленным требованиям к свойствам материалов для иммобилизации РАО. Которые могут быть использованы в качестве надежных матриц для окончательного захоронения РАО в течение долгого времени.

Синтез матричного материала осуществлялся в соответствии с реакцией:



Фазовые композиции синтезируемого соединения определялась с помощью дифрактометра Rigaku D/Max-2200 (CuK α излучение, шаг 0.02, экспозиция 1 сек).

На рисунке 1 представлена рентгенограмма образца с молекулярным соотношением реагентов Ni/Al/Nd $_2$ O $_3$ 0,8/1/0,3. Анализ образца показал наличие фазы перовскита NdAlO $_3$ в количестве 11,3 %.

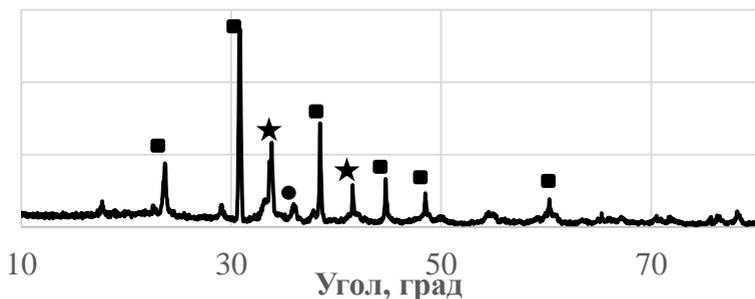


Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ,
где \blacksquare – NdAlO $_3$ – 11,3 %, \bullet – Nd $_2$ O $_3$ – 19,6%, \star – Al – 69,1 %.

В синтезируемых образцах в РФА обнаружен незначительная концентрация перовскитной фазы. Следовательно, для увеличения фазообразование перовскита требуется повышения энергетического выходы реакции. NiAl $_3$ начинает образовываться с температуры 854 °С, а для синтеза NdAlO $_3$ требуется достижение температуры выше 1000 °С. Повышение энергетического выхода реакции позволит развить требуемые для синтеза температуры и приведет к уменьшению тепловых потерь за счет конвективного излучения при СВС в техническом вакууме.

Литература

1. Петров Г. А.; под ред. Мержанова А. Г. Инновационные энергосберегающие технологии переработки радиоактивных отходов. – М.: Книжный мир, 2012. – С. 122 – 123.
2. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд во ТГУ, 1989. – 214 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Сошкина Е.А., Крышилина Д.В., Щербина Н.А.

*Балаковский инженерно-технологический институт -
филиал НИЯУ МИФИ, г.Балаково
927-229-12-03 ekaterina_soshkina@mail.ru*

Текстильные материалы являются серьезным источником опасности во время пожаров: легко воспламеняются, способствуют распространению пламени и при горении выделяют большое количество дыма и газов. С целью повышения огнестойкости волокон применяют модификацию волокон различными по составу огнезамедлительными системами. Для получения текстильных изделий и углеродных волокон широко применяются полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, а так же они перспективны в качестве армирующих систем в композиционных материалах, тепло- и звукоизоляционных материалов [1-2].

В связи с этим целью работы являлось исследование влияния состава огнезамедлительной системы на процессы пиролиза модифицированного волокна.

Пожарная опасность материалов и изделий из них определяется следующими характеристиками: 1) горючестью, то есть способностью материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения; 2) дымовыделением при горении и воздействии пламени; 3) токсичностью продуктов горения и пиролиза.

Методы определения воспламеняемости материалов – это методы определения кислородного индекса, температуры воспламенения, вспышки и самовоспламенения. Кислородный индекс – это минимальная объёмная концентрация кислорода, в атмосфере которого самопроизвольно возможно горение материала. Кислородный индекс выше 27-28 % об. позволяет отнести полимерный материал в категорию трудновоспламеняемым материалам.

Большинство показателей горючести: теплота сгорания и коксовый остаток, скорость горения и теплота сгорания, температура самовоспламенения и кислородный индекс, связаны функциональными зависимостями.

В качестве исследования выбрана фосфор – бор- азотсодержащая модифицирующая система. Соединения огнезамедлительной системы хорошо растворимых в воде и могут быть использованы в качестве пропиточных растворов для полиакрилонитрильных волокон с целью повышения их огнестойкости.

Процесс модифицирования готового волокна включал следующие стадии: • пропитку готового волокна водными растворами огнезамедлительной системы при различном соотношении компонентов при температуре 20 °С при модуле ванны $M_v = 5$; • термообработку при температуре 150 °С в течении 10 мин., для фиксации ЗГ на волокне; • промывку холодной водой и температурой 40 °С, для удаления непрореагировавшего препарата; • сушку до постоянной массы.

Способность полимерного материала к горению определяется значением кислородного индекса (КИ), который показывает концентрацию кислорода в кислородо-азотной смеси. Экспериментально в муфеле получен коксовый остаток при температуре 850 °С, в режиме времени от 1-10 минут. КИ рассчитали согласно формуле:

$$\text{КИ} = 17,5 + 0,4\text{КО} \quad (\text{I})$$

$$\text{КИ} = 0,34 * \text{КО} + 19,6 \quad (\text{II})$$

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Техническим результатом проведенного исследования является модифицированное полиакрилонитрильное волокно с повышенными эксплуатационными характеристиками; наблюдается влияние состава огнезамедлительной системы на процессы пиролиза модифицированного волокна; подтверждена взаимосвязь выхода коксового остатка и показателя воспламеняемости материала - кислородного индекса.

Таблица 1. Влияние состава модифицирующей ванны и времени пиролиза на показатели горючести волокон

Параметры эксп.	1 мин	2 мин	3 мин	4 мин	5 мин	6 мин	7 мин	8 мин	9 мин	10 мин
Состав образца: ПАН +ОГЗС										
m1	0,039	0,034	0,448	0,032	0,040	0,039	0,043	0,039	0,042	0,059
Δ	0,034	0,029	0,038	0,032	0,030	0,032	0,352	0,031	0,040	0,055
%	87,9	85	86,5	82,7	75	80,8	81	79,9	95	93
КО	13,0	15,0	13,5	17,3	25	19,2	19	20,1	5	7
КИ	22,7	23,5	22,9	24,4	27,5	25,3	25,1	25	20	20,3
Состав образца: ПАН+ОГЗС+БК										
m1	0,060	0,047	0,028	0,040	0,041	0,039	0,043	0,030	0,048	0,044
Δ	0,047	0,039	0,024	0,032	0,032	0,031	0,034	0,023	0,038	0,034
%	78	83,7	84	81	78	78,5	79	77,5	78,7	78
КО	22	16,3	16	19	22	21,5	21	22,5	21,3	22
КИ	23,6	24,0	23,9	25,1	26,3	26,1	25,9	26,5	26,0	26,3

Литература

1. А.В. Шульга. Композиты. Ч. 1. Основы материаловедения композиционных материалов. (М.: НИЯУ МИФИ. 2013).
2. К.Е. Перепелкин. Волокнистые композиционные материалы. Химические волокна. 2006 №1-6.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОСЛОЙНОЙ ТЕКСТУРНОЙ И СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЛИСТАХ ФЕРРИТНОЙ СТАЛИ

Столбов С.Д.¹, Перлович Ю.А.¹, Исаенкова М.Г.¹,
Доброхотов П.Л.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
89160883435, stolbser@rambler.ru*

В настоящее время материалы из ферритных сталей широко используются в различных областях техники. Высокопрочные стали хорошо зарекомендовали себя в качестве бронированных пластин, и для их эксплуатации требуется достижение должного уровня механических свойств. Одной из технологических операций, осуществляемых при изготовлении стальных листов, является горячая прокатка. Известно [1], что в горячекатаных материалах наблюдается послойная текстурная и структурная неоднородность, которая обусловлена как захлаживанием материала за счет взаимодействия с прокатными валками, так и проникновением в поверхностные слои примесей внедрения из атмосферы. Неоднородность преимущественной кристаллографической ориентации зерен в различных слоях стального листа в существенной степени предопределяет его механические свойства. Целью данной работы является выявление причин и установление механизмов формирования текстурной и структурной неоднородности горячекатаных листов высокопрочной бронированной стали марки 55ХН2МА-Ш. Возможность варьирования технологических параметров для управления такой неоднородностью позволит целенаправленно изменять свойства изделия до требуемого уровня.

Исследования проведены на рентгеновских дифрактометрах D8 Discover и ДРОН-3. Для обработки экспериментальных данных использовано собственное программное обеспечение и программы фирмы Bruker. Восстановление функции распределения ориентаций (ФРО) по неполным прямым полюсным фигурам (ППФ) для дальнейшего расчета обратных полюсных фигур (ОПФ) произведено с помощью программы «Labotex». Также в работе применен

метод обобщенных прямых полюсных фигур (ОППФ) [2], который позволяет оценивать субструктурное состояние зерен разных ориентаций: мелкодисперсность и микроискажения кристаллической структуры путем регистрации полного профиля рентгеновской линии и построения распределения полюсной плотности, полуширин и микроискажений на стереографической проекции.

В процессе рентгеновского исследования обнаружена послойная неоднородность и переход текстуры внешнего слоя с компонентами $\{110\}\langle 111\rangle$, $\{110\}\langle 112\rangle$, $\{112\}\langle 111\rangle$ в текстуру внутренних слоев горячекатаного листа с компонентами $\{001\}\langle 011\rangle$, $\{112\}\langle 110\rangle$.

При более детальном послойном исследовании образцов методом обобщенных прямых полюсных фигур обнаружено, что с увеличением координаты исследуемого слоя по толщине горячекатаного листа происходит изменение распределения микроискажений структуры зерен на стереографической проекции, и, как следствие, величины и знака вычисляемых из ОППФ макронапряжений. В то же время, распределение полуширин линий на стереографической проекции свидетельствует о малости размеров областей когерентного рассеяния с различными ориентациями, уровень которых сохраняется в разных слоях прокатанной стали.

Перед горячей прокаткой листов осуществляется их нагрев до температуры, соответствующей аустенитной области диаграммы состояний железо-углерод. В процессе прокатки возможно образование слоев, отличающихся развитием различной кристаллографической текстуры и структурным состоянием: средние слои листа соответствуют деформации ГЦК-фазы, претерпевающие последующее фазовое превращение в ОЦК-фазу; поверхностные слои могут деформироваться как при температуре существования ГЦК-, так и ОЦК-фаз в зависимости от конкретных условий прокатки, т.е. температурного режима; промежуточные слои могут наследовать текстуру поверхностных или внутренних слоев. К тому же, необходимо учитывать возможность реализации выдвинутого нами ранее [1] механизма, обусловленного процессом динамического деформационного старения (ДДС). ДДС инициируется в условиях доступа примесей внедрения к поверхности деформируемого металла и повышенной температуры его прокатки. Вследствие малой растворимости примесей внедрения в ОЦК решетке дислокационное

скольжение в поверхностных слоях металла по системам $\{011\}\langle 111\rangle$ или $\{112\}\langle 111\rangle$ блокируется, и его деформация осуществляется посредством коллективного переползания дислокаций, приводящего к формированию текстуры, отличающейся от текстуры внутренних слоев листа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-32-00180.

Литература

1. Perlovich Yu., Isaenkova M. Effects of dynamical deformation ageing on structure and texture of hot-rolled sheets from alloyed bcc metals. // Int J Mater Form, 2010, Vol.3, Suppl 1, p.1143-1146.
2. Perlovich Yu., Isaenkova M., Fesenko V. Use of generalized pole figures in the X-ray study of textured metal materials – Zietschrift fur Kristallographie, suppl.26 (2007), s.327-332.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРЛЕНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Толстов И.В.¹, Аверин А.С.^{1,2}

¹ ПАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск», г. Подольск

² НИЯУ МИФИ, г. Москва

Тел. 8-925-050-59-40 , e-mail: igoryan19862705@mail.ru

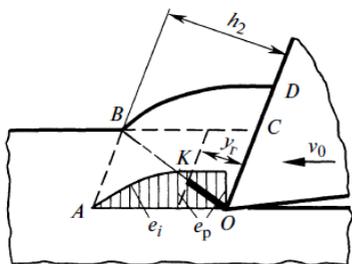
При изготовлении оборудования атомных энергетических установок значительную долю трудоемкости составляет сверление глубоких отверстий в трубных решетках и коллекторах теплообменных аппаратов [1]. Сверление глубоких отверстий обычно выполняют на многошпиндельных станках с ЧПУ, оснащенных специальным инструментом с длинным полым стеблем, который передает вращение от шпинделя к режущей головке.

Желание повысить производительность обработки отверстий за счет форсирования режимов резания приводит к увеличению крутящего момента на стебле, что ведет к его перегрузке и может служить причиной поломки инструмента. Особенно опасны в этом случае динамические нагрузки, природа появления которых еще недостаточно изучена [1].

Целью данной работы являлось теоретическое исследование взаимодействия пульсирующей составляющей крутящего момента резания и собственных крутильных колебаний инструмента при сверлении глубоких отверстий на станке «KOLB НТВ III WE».

Математическая модель работы инструмента при сверлении глубоких отверстий была построена на основе современной теории резания [2], которая делит процесс образования стружки на две стадии, как показано на рис. 1.

а)



б)

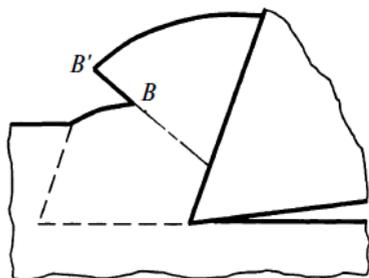


Рис. 1 - Стадии образования фрагмента стружки:

- а) накопление пластической деформации с образованием трещины
 б) перемещение фрагмента стружки по линии скольжения

На первой стадии, когда происходит пластическое деформирование металла, до образования трещины, для перемещения инструмента требуется большая энергия, чем на второй стадии, когда уже деформированный фрагмент перемещается по линии скольжения. Таким образом, усилие на режущей кромке инструмента будет периодически изменяться во времени, создавая пульсацию крутящего момента, которую можно определить по формуле:

$$\Delta M = \beta \sigma_s u h_1 \{ [1 + \mu_1 (1 - \operatorname{tg} \gamma) + (0,5 + \mu) u / k_c] \cos \varphi + k_c / (4u \cos \gamma) - 0,5(1 - e^{-e_p / 2,31}) (k_c - \sin \gamma) / \cos \gamma \} D^2 / (8 \cos \varphi), \quad (1)$$

где: $\beta = 1,155$ – коэффициент Лоде для плоского деформированного состояния;

σ_s (МПа) – предел текучести материала при заданной пластической деформации;

$u = 1$ при значении переднего угла $\gamma > 0$;

h_1 (мм) – толщина срезаемого слоя металла;

$\mu = 0,5$ – коэффициент пластического трения;

μ_1 – коэффициент трения стружки по передней поверхности;

μ_2 – коэффициент трения инструмента по обработанной;

k_c – коэффициент утолщения (усадки) стружки;

e_p – деформация разрушения обрабатываемого материала;

φ и γ – углы заточки сверла;

D (мм) – диаметр глубокого отверстия.

Частота пульсаций крутящего момента f определялась по величине перемещения режущей кромки инструмента между точками образования соседних фрагментов стружки s_p :

$$f = \pi D n / 60 S_p \quad , \quad (2)$$

где n (об/мин) – число оборотов шпинделя станка при сверлении отверстия.

Для определения величины s_p использовалась известная зависимость [2]:

$$S_p = e_p h_2 / (2,31 \cos \gamma) \quad , \quad (3)$$

где: h_2 (мм) - толщина стружки.

Для проведения расчетов использовались данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета пульсаций момента резания при сверлении				
Параметры	Сталь 22К		Сталь 08X18H10T	
	S = 0,08мм/об n = 1500	S = 0,11мм/об n = 1500	S = 0,08мм/об n = 1500	S = 0,11мм/об n = 1500
σ_s	510 МПа		760 МПа	
h_1	0,04 мм	0,06 мм	0,04 мм	0,06 мм
μ_1	0,3			
γ	0			
μ	0,5			
k_c	2,7	3	1,8	2
D	16 мм			
φ	30°			

На основе приведенных в таблице 1 исходных данных расчетным путем были получены значения амплитуды и частоты пульсаций крутящего момента при сверлении отверстий в перлитной и аустенитной стали, приведенные в таблице 2. Результаты расчетов по частоте пульсаций подтверждаются характерным видом стружки, показанной на рис. 2.

Таблица 2. Результаты расчета пульсаций момента резания при сверлении				
Характеристики пульсаций крутящего момента	Сталь 22К		Сталь 08Х18Н10Т	
	S = 0,08мм/об n=1500об/ мин	S = 0,11мм/об n=1500об/ мин	S = 0,08мм/об n=1500об/ мин	S = 0,11мм/об n=1500об/ мин
ΔM	620 Н мм	876 Н мм	1133 Н мм	1597 Н мм
f	4984 Гц	3221 Гц	5044 Гц	3221 Гц



Рис. 2. Элементы стружки, образованные при сверлении глубоких отверстий

Сопоставление собственных частот крутильных колебаний инструмента с трубчатым стеблем, на многошпиндельном сверлильном станке «KOLB НТВ III WE», с частотами пульсаций крутящего момента от неравномерности усилия резания металла, показал принципиальную возможность появления резонанса крутильных колебаний в процессе сверления глубоких отверстий как сверлами ВТА, так и ружейными сверлами.

Литература

1. Могутов И.В. Повышение производительности обработки глубоких отверстий в трубных решётках и коллекторах теплообменных аппаратов для АЭС. – Дис. ...канд. техн. наук. М: ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», 2014. – 169 с.

2. Разработка новой теории резания. 7. Математическое описание образования стружки разных видов, пульсации силы резания и параметров контакта обработанной поверхности заготовки с задней поверхностью резца. / Воронцов А.Л., Султан-заде Н.М., Албагачиев А.Ю. // «Вестник машиностроения» 2008. № 7. с 56-61.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛЗУЧЕСТИ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА

Фроня М.А.¹

¹ *ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г.
Москва
mikhail@fronya.com*

В представленной работе обсуждается методика моделирования процесса ползучести, основанная на представлениях о наследственном характере процесса деформирования полимерных композитов. Используемые представления позволяют построить модель, в основе которой лежит интегральное уравнение Вольтера 2-го рода, имеющее нелинейный характер. Особое внимание при построении модели уделяется проблеме выбора вида ядра нелинейного уравнения, характеризующего свойства исследуемого материала. В работах [1-4] было показано, что используя уравнение наследственного типа с параметрами, определенными из кратковременных экспериментов, можно достаточно точно моделировать процесс ползучести полимерных композитов.

В данной работе использовались нанокompозитные материалы на основе полимера - полиамида с включениями в виде углеродных нанотрубок (УНТ) и ультрадисперсных алмазов (УДА). Используя экспериментальные измерения кратковременной ползучести (до 160 часов) [5], были получены изохронные кривые, а также рассчитаны кривые мгновенного деформирования для всех 3-х типов исследуемых материалов (исходный полимер, полимер с добавлением УНТ и полимер с добавлением УДА).

В результате работы показано, что используемая для полимеров модель наследственного типа для моделирования процесса ползучести, может быть применена к композитам на основе полимеров с углеродными включениями в виде УДА и УНТ.

Литература

1. Осокин А.Е., Суворова Ю.В. Нелинейное определяющее уравнение наследственной среды и методика определения его параметров // Прикладная математика и механика. 1978. № 6.

2. Суворова Ю.В., Сорокина Т.Г., Викторова И.В., Михайлов В.В. Влияние скорости нагружения на характер разрушения стеклопластиков // Механика композитных материалов, №5, 1980, с.847.

3. Suvorova J.V. The influence of Time and Temperature on the reinforced plastic strength. — In book: Failure mechanics of Composites, North- holland, 1985, v. 3, pp. 177-214.

4. Суворова Ю.В., Алексеева С.И. Инженерные приложения модели наследственного типа к описанию нелинейного поведения полимеров и композитов с полимерной матрицей // Заводская лаборатория, №5, 2000, с.47.

5. Фроня МА. Моделирование процесса ползучести полимерных нанокомпозитов на основе полиамида с использованием наследственной теории. Проблемы машиностроения и автоматизации. №2. 2014. С. 94-98.

ФИЗИКО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Храмов Д.А., Федюк Р.С.

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток
89502817945, roman44@yandex.ru*

Современное строительное материаловедение направлено на разработку экологически безопасных материалов в триаде «человек – материал – среда обитания». В связи с этим, необходимо применения новейших методик и современного оборудования для всестороннего неразрушающего контроля строительных материалов и изделий. В ДВФУ используется целый ряд таких методик на самом современном цифровом оборудовании.

Хроматографический анализ. Для оценки количественного и качественного состава токсических веществ, выделяющихся, например, при деструкции пенополистирола, применяется ФГХ-1 - автономный носимый газовый хроматограф с применением высокочувствительного фотоионизационного детектора. Благодаря высокой чувствительности и автоматизации, ФГХ-1 без пробоподготовки позволяет анализировать содержание вредных веществ в воздухе в широком диапазоне концентраций: от ПДК в атмосфере до промышленных выбросов, а также при чрезвычайных ситуациях. ФГХ-1 является уникальным средством экспресс-анализа, предназначен для работы, как в лабораторных, так и в «полевых» условиях непосредственно на исследуемом объекте, т.к. содержит собственные средства электрического и газового питания. Результаты анализа, комментарии к ним и сами хроматограммы автоматически документируются в памяти компьютера. Помимо определения концентрации веществ, ФГХ позволяет автоматически их идентифицировать.

Рентгенофазовый анализ. Изучение качественного и количественного состава и свойств исходных материалов и композитов на их основе проводится с использованием стандартных методов. Исследование минерального состава и структуры проведено с помощью рентгенофазового анализа на порошковом рентгеновском ди-

фрактометре D8 Advance фирмы Bruker AXS. Рентгеновская дифрактометрия – это неразрушающий метод анализа веществ в порошковом виде. Обеспечивает возможность проведения качественного и количественного анализа кристаллических фаз, установления кристаллической структуры неорганических, органических, элементоорганических и металлокомплексных соединений в поликристаллической форме, установления состава поликристаллических материалов, степени кристалличности полимеров.

Дифференциально-термический анализ и термогравиметрия. В зависимости от фиксируемых показателей при нагревании различают следующие методы термического анализа: дифференциально-термический анализ (ДТА) – показывает изменение энергии системы (образца); термогравиметрия (ТГ) – изменение массы. Дериватограммы образцов получаются на термогравиметрическом анализаторе Shimadzu DTG-60H. Программный нагрев печей от 20 до 1500°C осуществляется электронным термонагревателем со скоростью 20°C/мин. Платиновой термопарой с точностью 5°C производится измерение температуры (Т), при этом со скоростью развертки 2,5 мм/мин четырехканальным самописцем на бумаге регистрируется сигнал.

Определение радиоактивности материалов. Известно, что такие материалы как , например, отсев гранитного щебня и зола ТЭС имеют некоторый радиоактивный фон. В связи с тем, что концепция современного строительства имеет направленность на создание условий для экологической безопасности жилища, необходимо количественно проверять радиационный фон строительных материалов. Удельная (объемная) активность бета- и гамма-излучающих нуклидов в счетных образцах определяется спектрометрическим методом с помощью универсального спектрометрического комплекса УСК «Гамма Плюс». Принцип работы комплекса основан на преобразовании в рабочем объеме детектора энергии гамма-квантов или бета-частиц в световые вспышки (сцинтилляции), интенсивность которых пропорциональна энергии, потерянной гамма-квантом или бета-частицей в детекторе. Световые вспышки, попадая в фотоэлектронный усилитель (ФЭУ), преобразуются в поток электронов, которые размножаются под действием приложенной разности потенциалов, в результате чего на выходе ФЭУ образуются импульсы электрического тока, амплитуда которых пропорцио-

нальна энергии частицы, потерянной в детекторе. Это обстоятельство обеспечивает принципиальную возможность измерения энергетического спектра регистрируемого гамма -, или бета-излучения.

Литература

1. R.S. Fediuk, D.A. Khramov. Research on porosity of the cement stone of composite binders. International Research Journal.-2016.-Issue 1 (43).-Vol. 2.- Pp. 77-79. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.039.

2. R.S. Fediuk, D.A. Khramov. Physical equipment spectroscopic study of coal ash. Modern Construction and Architecture. 2016. № 1. – Pp. 57-60. Doi: 10.18454/mca.2016.01.11.

3. R.S. Fediuk, A.M. Yushin. Composite binders for concrete with reduced permeability. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 116 (2016) 012021 doi:10.1088/1757-899X/116/1/012021.

4. R.S. Fediuk. High-strength fibrous concrete of Russian Far East natural materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 116 (2016) 012020 doi:10.1088/1757-899X/116/1/012020.

АНАЛИЗ СОСТАВА ВОДЫ И НАЛИЧИЯ ПРИМЕСЕЙ В НЕЙ МЕТОДАМИ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Яббарова Д.Р., Н.Н. Русяев

Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет

им. А.Н. Туполева - КАИ

yabbarova_dinara@mail.ru, 89274035779

Спектрофотометрия – один из наиболее часто используемых физико-химических методов исследования растворов и твердых веществ; отличается быстротой проведения эксперимента, высокой точностью измерения, простотой пробоподготовки, возможностью анализировать малые количества образцов и малые содержания компонентов в них [1].

В данной работе проведено исследование проточной воды с целью выявления состава и концентрации однокомпонентных примесей. Измерение проводилось двумя спектрофотометрическими методами: абсорбционной фотометрией и турбидиметрией. Измерения в обоих случаях производились на диапазоне 340 и до 700 (нм), с выделением трёх отдельных участков по 120 нм. Границы диапазона выбиралась с целью достаточного охвата спектров поглощения (пропускания) искомым примесей. Скорость сканирования составляла 0,1 нм/с. Использовался одноканальный режим измерения с автоматическим переключением источника излучения. Для обеспечения точных результатов для каждого метода и на каждом диапазоне перед началом измерения проводилась калибровка прибора с пустой кварцевой кюветой. Эксперимент проводили на разных диапазонах волн для каждого метода исследования, таким образом получали ряд спектральных кривых поглощения и пропускания падающего света.

Интерпретация полученных кривых проводилась в два этапа:

В первую очередь определялось наличие веществ в составе воды. Для этого находились спектральные кривые или табличные данные для чистого вещества (ионов). Далее проводилось их сравнение с полученными спектрами. При наличии более 90% совпадения формы измеренной спектральной кривой с табличной, делался вывод, что в данном растворе имеется определяемый элемент.

Второй этап включал нахождение концентрации примесей. Определение производилось на основе ранее найденных для соответствующих элементов градуировочных графиков. На спектральной кривой отражения или поглощения (в зависимости от того, в каком режиме был снят градуировочный график) выделялся пик на соответствующей длине волны, и определялся его коэффициент отражения или поглощения. Сравнивая это значение с показаниями на градуировочном графике, получали концентрации веществ.

Таблица 1. Результаты определения состава и концентрации

Определяемые показатели	Нормативы (ПДК), мг/л [2]	Полученные концентрации, мг/л
Алюминий	0,5	0,48
Железо	0,3	0,27
Кадмий	0,001	0,00068
Марганец	0,1	0,087
Медь	1,0	0,846
Мышьяк	0,05	0,022
Нитраты	45	43
Ртуть	0,0005	0
Свинец	0,03	0,015
Селен	0,01	0,0071
Сульфаты	500	524
Хлориды	350	365
Хром	0,05	0,037
Цинк	5,0	4,3

По полученным данным можно сделать следующие выводы: имеются незначительные превышения по нормам содержания хлоридов на 15 мг/л, что приблизительно составляет 4%, и сульфатов на 24 мг/л $\approx 4,8\%$, поэтому такую воду перед использованием рекомендуется подвергнуть дополнительной очистке. Ртуть же в проточной воде и вовсе не удалось обнаружить. Освоенный метод даёт возможность проводить анализ технологических растворов, используемых при производстве электронных (наноэлектронных) устройств, а также растворов, требуемых для обслуживания технологического оборудования.

Таким образом, спектрофотометрические методы позволяют получать точные результаты одно и многоэлементного анализа в широком аналитическом диапазоне за короткое время, не требуют сложной пробоподготовки и реагентов, это обуславливает их экономическую выгоду, простоту работы и широкое применение.

Литература

1. Методы спектрального анализа: учебное пособие / Е.А. Кириллова, В.С. Маряхина. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 105 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» – М.: Госсанэпидемнадзор России, 2002.

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ФОККЕРА-ПЛАНКА МЕТОДОМ ЧИСЛЕННО-ЛОКАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ О КУЛОНОВСКОМ ТОРМОЖЕНИИ ИОНОВ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Васильев М.С., Орищенко А.В.

¹ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград
89603796697, mhlvs@mail.ru

Чтобы подсчитать величину кулоновского искажения энергетического спектра ионов солнечных космических лучей (СКЛ) в солнечной короне, требуется решить газокINETическое уравнение Больцмана, которое в первом приближении имеет вид (в одномерном случае) [1, 2, 3]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + V \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial(a(V)f)}{\partial V} - \frac{\partial(D(V)\frac{\partial f}{\partial V})}{\partial V} = 0. \quad (1)$$

(уравнение Фоккера-Планка).

Здесь $f = f(V, x, t)$ – искомая функция распределения ионов СКЛ по скоростям V , зависящая от положения и скорости ионов в рассматриваемой координате x и в данный момент времени t , а параметры $a(V)$ и $D(V)$ – ускорение ионов СКЛ и коэффициент диффузии в скоростном пространстве, возникающие из-за столкновений ионов СКЛ с полевыми частицами плазмы солнечной короны [1].

В данной работе был предложен следующий способ решения данного уравнения с учётом специфики поставленной задачи – метод численно-локального интегрирования.

Вводя обозначения

$$\frac{\partial}{\partial V} D \frac{\partial}{\partial V} f(V, x) = \hat{I}(f(V, x, t)),$$

$$F(V, x) = f(V, x) \cdot a(V),$$

положим в стационарном случае $\frac{\partial f(V, x, t)}{\partial t} = 0$. Тогда уравнение

(1) будет иметь вид

$$\frac{V\partial F}{a\partial x} + \frac{\partial F}{\partial V} = \hat{I} \quad (2)$$

При $\hat{I} = 0$ решение уравнения (2) запишется в виде [3]

$$F(V, x) = F(V_0),$$

причём параметр $V_0 = V_0(V, x)$ находится из условия

$$x = \int_{V_0}^V \frac{V'}{a(V')} dV' \quad (3)$$

Теперь, считая вклад \hat{I} достаточно малым, попытаемся найти решение, записав интеграл уравнения (2) в виде

$$\frac{a(V)}{V} dx = dV = \frac{dF}{\hat{I}}. \quad (4)$$

Задача заключается в том, чтобы найти все $\hat{I}(F)$ и $F(V, x)$. И, зная все $F(V, x)$, автоматически находим $f(V, x) = F(V, x)/a(V)$. При этом полагаем $F(V, 0) = f(V, 0) / a(V)$ известным из начального условия функции распределения. Как правило, в космофизике данное распределение полагается степенным: $f(V, 0) = B \cdot V^{-2\gamma}$ [3].

Для начала, как и в методе сеток [4], разделим координату x на достаточно малые интервалы $\Delta x = x_{i+1} - x_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Дальнейшая суть рассматриваемого метода заключается в том, что при малом шаге интегрирования Δx интеграл (3) без существенной потери точности можно записать в алгебраическом виде. Так, для x_1 имеем

$$x_1 = \Delta x = \int_{V_0(x_1, V)}^V \frac{V'}{a(V')} dV' \approx \frac{V}{a(V)} (V - V_0(x_1, V)),$$

откуда V_0 выражается как

$$V_0(x_1, V) \approx V - \frac{\Delta x \cdot a(V)}{V}.$$

И тогда для $F(V, x_1)$ по формуле (4) имеем

$$F(V, x_1) \approx F[V_0(V, x_1)] + \hat{I}[F(V, 0)] \cdot (V - V_0(V, x_1))$$

Далее, зная $F(V, x_1)$, мы автоматически знаем $\hat{I}(F(V, x_1))$. А отсюда по цепочке находим $F(V, x_2)$ и т. д. методом численно-локального интегрирования:

$$F(V, x_{i+1}) \approx F[V_0(V, x_i)] + \hat{I}[F(V, x_i)] \cdot (V - V_0(V, x_i)).$$

И таким образом находим все интересующие нас $F(V, x)$, а значит, и $f(V, x)$.

Итак, методом численно-локального интегрирования было найдено полуаналитическое решение уравнения Фоккера-Планка с учётом специфики поставленной задачи.

Литература

1. Б.А. Трубников. Столкновения частиц в полностью ионизованной плазме. // Вопросы теории плазмы: – под ред. М.А. Леонтовича. М.: Атомиздат, 1963. – С. 98-192.

2. Д.А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. (М.: Атомиздат, 1968).

3. А.В. Орищенко, В.В. Авдонин. Обогащение солнечных космических лучей изотопами и ядрами тяжёлых элементов. (М.: НИЯУ МИФИ, 2014).

4. С.К. Годунов, В.С. Рябовский. Разностные схемы (введение в теорию). (М.: Наука, 1977).

ГЛОБАЛЬНЫЕ КОНФОРМНЫЕ БЛОКИ АЛГЕБРЫ ВИРАСОРО

Гейко Р.В.^{1,2}

¹НИЯУ “МИФИ”, Москва

²ФИАН, Москва

89091607265, romangeiko@mail.ru

В данной работе проводится анализ конформных блоков алгебры Вирасоро при больших значениях центрального заряда c . Именно, рассматривается специальный режим перехода к пределу при $c \rightarrow \infty$. Построены четырёхточечные конформные блоки для так называемого глобального предела алгебры Вирасоро на сфере прямым вычислением и при помощи оператора Казимира неприводимого представления. Был вычислен одноточечный глобальный конформный блок на торе стандартным методом и при помощи AdS-CFT соответствия. Цель работы есть развитие методов конформной теории поля и теории струн, конкретно, обобщение известных методов, применяемых в плоской теории, на теории, определённые на торе.

В общем случае двумерные конформные теории имеют бесконечный набор генераторов симметрии.[1]. Генераторы сами по себе формируют бесконечную алгебру Вирасоро. В особом пределе $c \rightarrow \infty$ от бесконечной алгебры симметрии остаётся конечная алгебра проективных преобразований, изоморфная алгебре спина и в таком случае четырёхточечный конформный блок на сфере может быть вычислен по аналогии с вычислением сферических функций, как решение инвариантного уравнения Лапласа. Также на сфере глобальный блок был вычислен при помощи стандартных методов конформной теории поля, путём операторного разложения. [4]

Конформная теория может быть рассмотрена на римановой поверхности любого рода, в частности, мы рассмотрели теорию на торе, то есть поверхности рода 1. В добавок к конформной симметрии в этом случае появляется симметрия относительно репараметризации тора. Аналогично случаю на сфере в специальном пределе $c \rightarrow \infty$ был вычислен одноточечный глобальный блок стандартным методом [3] и при помощи недавно развитого метода,

опирающегося на AdS/CFT –соответствие.[2] Полученные результаты тесно связаны с вычислением однопетлевой амплитудой рассеяния замкнутой струны.[5].

Литература:

1. A. A. Belavin, A. M. Polyakov and A. B. Zamolodchikov, Infinite conformal symmetry in two-dimensional quantum field theory, Nucl. Phys. B241 (1984) 333–380.

2. A. Bhatta, P. Raman and N. V. Suryanarayana, Holographic Conformal Partial Waves as Gravitational Open Wilson Networks.

3. L. Hadasz, Z. Jaskolski and P. Suchanek, Recursive representation of the torus 1-point conformal block, JHEP 01 (2010) 063

4. P. Di Francesco, P. Mathieu and D. Senechal, Conformal Field Theory. Graduate Texts in Contemporary Physics. Springer-Verlag, New York, 1997. 10.1007/978-1-4612-2256-9.

5. M. Green, J. Schwarz, E. Witten, Superstring Theory: Volume 2, Loop Amplitudes, Anomalies and Phenomenology.

ПРИЗНАКИ МЕТАМОРФИЗМА В ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТАХ

Гонцова С.С.¹, Максимова Е.М.¹, Наухацкий И.А.¹,
Милюкова Е.Т.¹

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Симферополь
+79787146713, sgoncova@gmail.com

Все железные метеориты представляют собой двухфазное сращивание минералов камасита и тэнита – объемно- и гранецентрированного никелистого железа с небольшим содержанием P, S, и C. По мере охлаждения метеориты переходят из однофазного тэнита (γ) в двухфазную ($\alpha+\gamma$) область, где зарождается и растет камасит (α), рис.1, [1].

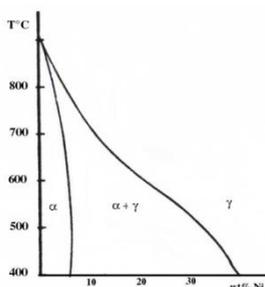


Рис.1 – Равновесная фазовая диаграмма Fe-Ni.

При дальнейшей эволюции метеориты испытывают термальный, водный и ударный метаморфизм, что значительно влияет на их первичную структуру. Основными признаками метаморфизма в железных метеоритах являются: ударно-индуцированная пластическая деформация, расплавление при ударе, аморфизация кристаллической структуры минералов, расслоение металла, [2].

В работе методами рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионного и рентгенофлуоресцентного анализа был исследован минеральный состав железных метеоритов Кампо-дель-Сьело, Дронино и Сихотэ-Алинь.

На поверхности Сихотэ-Алинского метеорита наблюдались области контактного плавления, а на поверхности метеорита Кампо-

дель-Сьело – области с большой трещиноватостью на границе камасит $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni},\text{Co})$ – рабдит $\text{Fe}_{1,5}\text{Ni}_{1,5}\text{P}$, образованные в результате ударного воздействия.

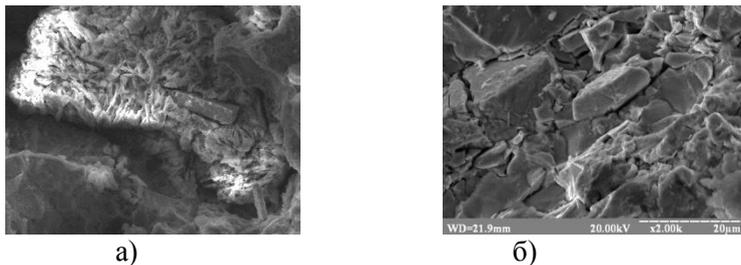


Рис.2 – Рабдит на поверхности метеоритов: а) Сихотэ-Алинского, б) Кампо-дель-Сьело.

К образованиям, обусловленным влиянием ударного метаморфизма, относятся участки, заполненные тонкозернистыми кристаллами троилита FeS на поверхности метеорита Кампо-дель-Сьело, рис.3.а. Столкновение родительского тела метеорита Дронино с астероидом вызвало частичное плавление и пластическую деформацию вещества, рис.3.б. В результате такого воздействия кристаллы троилита вытянулись по направлению действия приложенной силы, [3].

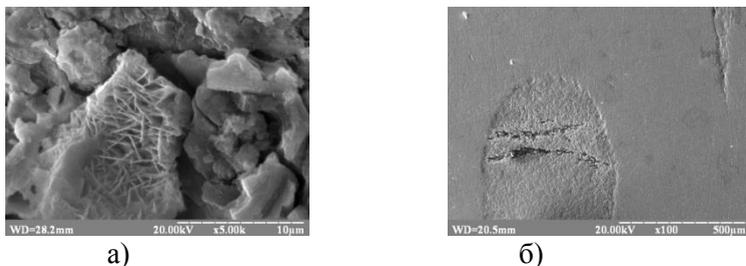


Рис.3 – Троилит в метеоритах: а) Кампо-дель-Сьело, б) Дронино.

Среди метаморфогенных образований наибольший интерес вызывают кристаллы графита, обнаруженные по межфазовым границам силикатных включений и в виде зерен, заполненных шестиугольными пластинами графита в метеорите Кампо-дель-Сьело.

Кроме графита присутствуют обогащенные углеродом участки в виде «пушистых» образований, [4].

Литература

1. J.I. Goldstein et al. Iron meteorites: Crystallization, thermal history, parent bodies, and origin. *Chemie der Erde*. № 69. P. 293-325 (2009).
2. Semenenko V.P. et al. Genetic types of nanometer grains of minerals in meteorites. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. V.10. №1. P.1-10 (2000).
3. Э.В. Соболевич, В.П. Семененко. Происхождение метеоритов. (К: Наукова думка. 1985).
4. Е.М. Максимова, С.С. Гонцова, И.А. Наухацкий, Е.Т. Милукова. Исследование нанометровых минеральных образований в метеорите Кампо-дель-Сьело. Сборник трудов XII конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». С. 91-96 (М:ИКИ РАН. 2015).

ПОИСК СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРОНОВ ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА

Горячева В.С., Воронов С.А., Михайлов В.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

Тел: 8-915-336-21-03, E-mail: mybox336@gmail.com

Единственным космическим источником нейтронов, потоки которого можно зарегистрировать на Земле, является Солнце. Во время активных процессов на Солнце (в частности, солнечных вспышек) происходит ускорение заряженных частиц до больших энергий. Заряженные частицы, вступая в ядерные взаимодействия с атомами атмосферы Солнца, генерируют в частности энергичные нейтроны. Возникшие в реакциях нейтроны могут покинуть Солнце. Регистрация потоков таких нейтронов может служить для понимания процессов ускорения в солнечных вспышках, дать информацию о времени ускорения и потоках ускоренных частиц [1]. Наблюдение солнечных нейтронов можно проводить с помощью наземных установок, ведущих постоянный мониторинг космического излучения. Однако при этом поток солнечных нейтронов будет заметно ослаблен из-за поглощения в атмосфере Земли. Поэтому исследование солнечных нейтронов предпочтительнее проводить высоко в горах или на космическом аппарате.

Спутниковый эксперимент ПАМЕЛА, предназначенный для прецизионных измерений потоков заряженных частиц и античастиц в космическом излучении [2] проводится на спутнике РЕ-СУРС-ДК1, который был запущен в июне 2006 г. на полярную эллиптическую орбиту высотой 350 – 610 км. В состав экспериментальной установки помимо магнитног спектрометра [2] входит нейтронный детектор, который служит как для идентификации частиц, так и для регистрации фоновых нейтронов. Он состоит из 36 цилиндрических пропорциональных счётчиков диаметром 18,5 мм и длиной 209 мм, наполненных газом $^3\text{He}_2$ под давлением 7 атмосфер. Фоновые нейтроны регистрируются в промежутках между событиями, регистрируемыми магнитным спектрометром (фонový канал). Для поиска солнечных нейтронов в данной работе и

были использованы данные фонового канала нейтронного детектора.

Таблица 1. Анализ солнечных вспышек

Дата	Класс вспыш- ки	Время начала вспыш- ки	Возможное время наблю- дения UT	Возмож- ность наблю- дения нейтро- нов
06 December 2006	X9.0	10:35	10:35 – 10:42	–
13 December 2006	X3.4	02:40	03:07 – 04:06	–
06 September 2011	X2.1	22:20	22:26 – 23:39	–
08 September 2011	M6.7	15:46	16:08 – 17:19	n
03 November 2011	X1.9	20:27	20:27 – 20:56	X
07 March 2011	M3.7	20:12	20:12 – 21:08	n
07 June 2011	M2.5	06:16	06:16 – 07:08	n
23 January 2012	M8.7	03:38	03:38 – 04:31	X
27 January 2012	X1.7	17:37	17:59 – 19:07	n
05 March 2012	X1.1	04:05	04:05 – 04:15	–
07 March 2012	X5.4	00:24	00:24 – 01:07	n
09 March 2012	M6.3	03:45	04:01 – 05:02	n
13 March 2012	M7.8	17:25	17:47 – 18:58	n
17 May 2012	M5.1	01:47	01:47 – 2:20	n
06 July 2012	X1.1	23:01	23:17 – 00:24	–
19 July 2012	M7.7	04:17	04:30 – 05:32	X
11 April 2013	M6.5	06:55	07:06 – 08:07	X
12 April 2013	M3.3	20:38	20:38 – 20:40	–
22 May 2013	M5.0	13:08	13:08 – 13:54	–
06 January 2014	–	08:00 ?	08:08 – 08:42	X
07 January 2014	X1.2	18:04	18:04 – 18:49	X
01 September 2014	C1.6	18:03	18:03 – 18:46	X

Были изучены темпы счета фонового канала нейтронного детектора для 16 солнечных рентгеновских вспышек с декабря 2006г. по сентябрь 2014г. [3], в которых могли родиться солнечные нейтро-

ны. Данные измерений темпов счета нейтронного детектора брались на одинаковых участках орбиты во время солнечной вспышки и на витке, предшествующем вспышке. В таблице 1 представлены результаты анализа. В качестве интервала времени наблюдения нейтронного сигнала рассматривался период от начала рентгеновской вспышки до начала появления потока солнечных протонов на орбите Земли. При этом учитывалось, что спутник должен находиться на солнечной стороне Земли. Этот метод анализа позволил найти для ряда событий статистически значимые избытки, соответствующие регистрации нейтронов от Солнца. Индекс “n” в таблице 1 означает наличие избытка нейтронов, “X” – его отсутствие. Прочерк означает отсутствие необходимых условий наблюдения.

Для окончательного заключения о природе этих избытков и определения потоков необходим более тщательный анализ вариаций фона.

Литература

1. Xiao Xia Yu, Hong Lu, Guan Ting Chen, Detection of solar neutron events and their theoretical approach //New Astronomy, 39 (2015) 25–35
2. O. Adriani; G.C. Barbarino; G.A. Bazilevskaya; The PAMELA Mission: Heralding a new era in precision cosmic ray physics //Physics Reports, 544, 4, 323-370 (2014)
3. <http://www.cbpf.br/~icrc2013/papers/icrc2013-0065.pdf>
4. <http://goes.gsfc.nasa.gov/>

ПРОЦЕССЫ РАССЕЯНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТИ ГЕТЕРОГРАНИЦ МЕЖДУ УРОВНЯМИ ЛАНДАУ В СТРУКТУРАХ ИЗ КВАНТОВЫХ ЯМ

Еланцев Д.А.¹, Доан Тхе Нго Винь¹, Теленков М.П.^{1,2},
Митягин Ю.А.^{2,3}

¹Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИ-СиС», Москва,

²Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва,

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва,

+79269454651, Archdenis@mail.ru

Задачей нашей работы, являлось, оценить вклад механизма рассеяния на шероховатости гетерограниц между уровнями Ландау в межподзонную релаксацию. Особенно, для случая выровненных уровней Ландау различных подзон

В качестве первой цели была вычислена скорость рассеяния на шероховатости гетерограниц. Данная скорость была сравнена со скоростями рассеяния для других процессов. [1,2] На рис.1. продемонстрировано, что данный механизм близок по величине с иными механизмами.

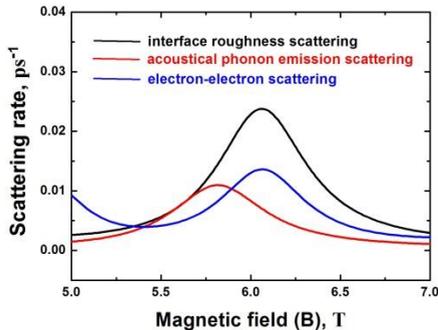


Рис.1. Сравнение скоростей рассеяния для различных механизмов рассеяния

Второй целью данной работы, являлся анализ влияния ориентации магнитного поля на изучаемый механизм рассеяния.[1] Было получено аналитическое выражение, позволившее сопоставить скорости рассеяния для поля перпендикулярного слоям к полю параллельного слоям. Оно показано в формуле (1)

$$\frac{\tau_{(2,0) \rightarrow (1,n)}(B_{\parallel}=0)}{\tau_{(2,0) \rightarrow (1,n)}(B_{\parallel} \neq 0)} = \exp \left\{ - \left[\frac{\xi^2}{2(2\gamma+1)} \right] \right\} \times P_n \left(\frac{\xi^2}{4\gamma(2\gamma+1)} \right) \quad (1)$$

Где P- полиномиальный параметр. Его коэффициенты не зависят от потенциального профиля. Вся информация о потенциальном профиле записана в параметр ξ , формула (2)

$$\xi = \frac{\langle z \rangle_2 - \langle z \rangle_1}{l_{\perp}} t g \theta \quad (2)$$

В случае симметричного потенциального профиля квантовой ямы процессы рассеяния на шероховатости гетерограниц почти не зависят от ориентации магнитного поля.

Для асимметричного потенциального зависимость имеет вид показанный на рис.2.

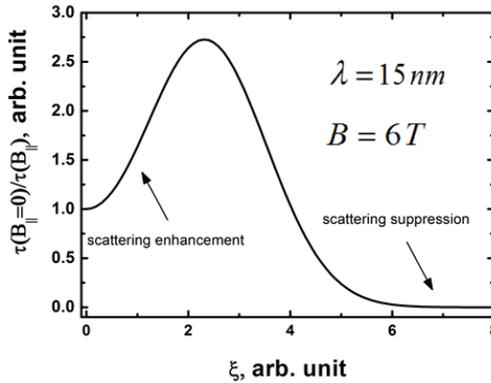


Рис.2. Отношение скоростей рассеяния для перехода (2.0) -> (1.3)

Выводы:

1) Была вычислена скорость межподзонных процессов рассеяния на шероховатости гетерограниц в квантующем магнитном поле.

2) Был оценён вклад рассеивания на шероховатости гетерограниц в общий механизм рассеивания и продемонстрировано, что величина данного вклада сопоставима по величине с другими

механизмами рассеивания. Следовательно, им можно пренебрегать далеко не всегда.

3) Было исследовано влияние ориентации магнитного поля на исследуемый механизм рассеяния. Было продемонстрировано, что для симметричной квантовой ямы данная зависимость практически отсутствует, в то время как для структур с асимметричным профилем, варьируя ориентацию магнитного поля, мы можем как усилить, так и ослабить механизм рассеяния.

Литература:

[1] R. Ferreira, G. Bastard, Phys. Rev. B **40**, 1074 (1989)

[2] М. Р. Telenkov, Yu. A. Mityagin, P.F. Kartsev, «Carrier kinetics and population inversion in Landau level system in cascade GaAs/AlGaAs quantum wellstructures», Optical and Quantum Electronics Vol. 46, Issue 6, 759-767 (2014).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ГРОЗЫ

Кобранова А. А.¹

*¹Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск
radio780.ka94@gmail.com*

Атмосферное электричество является одним из постоянно присутствующих факторов воздействия на состояние и изменение окружающей среды [1]. Важное место занимают исследования электрических характеристик нижней части тропосферы (приземного слоя), где протекает большая часть деятельности человека. Для интерпретации атмосферно-электрических явлений, происходящих в приземном слое, необходимо проведение теоретического моделирования электрогидродинамических процессов, протекающих вблизи земной поверхности. Интерпретация получаемых данных связана в ряде случаев с выделением глобальных изменений электрического поля на фоне его локальных вариаций.

В настоящей работе рассмотрены вопросы интерпретации данных мониторинга электрического состояния приземного слоя атмосферы (напряженности электрического поля, полярных проводимостей и др.) и проведено моделирование электродного слоя под влиянием вариаций электрического поля при прохождении мощной конвективной облачности и с учётом выпадения осадков во время грозы.

Для описания свойств нестационарного электродного слоя приземной атмосферы во время грозы предложен подход, в котором электрическое поле является вынуждающей внешней силой [1, 2].

Одним из важнейших внешних параметров, управляющим электропроводностью (λ_{\pm}) приземного слоя атмосферы являются осадки, которые являются стоком для легких ионов. Установлено, что при прохождении мощной конвективной облачности одним из выявленных видов вариаций является согласованное уменьшение числа легких ионов обеих полярностей, что и приводит к падению электропроводности приземного слоя атмосферы. В этом случае,

как было показано в работах [1, 2, 3], систему уравнений, описывающих динамику числа легких ионов, следует записать в виде:

$$\frac{\partial n_{1,2}}{\partial t} \pm b_{1,2} \frac{\partial}{\partial z} (E(t)n_{1,2}) - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T(z) \frac{\partial n_{1,2}}{\partial z} \right) = q(z,t) - \alpha n_1 n_2 - \eta n_{1,2} N_0, \quad (1)$$

где η – коэффициент взаимодействия легких ионов и гидрометеоров (коэффициент коагуляции); $N_0 = N_0$, $N_{1,2}$ – концентрация нейтральных и заряженных гидрометеоров, $\eta=10^{-4}$ м³/с; $D_T = (Kz+\gamma)/(z+\beta)$ – коэффициент турбулентной диффузии ($K=5$; $\gamma=5 \cdot 10^{-5}$ м³/с; $\beta=10$ м); $b_{1,2}$ – подвижность ионов; $\alpha(z)$ – коэффициент рекомбинации легких ионов. Поскольку выпадающие осадки являются, как правило, заряженными, то они представляют собой сторонний ток, который необходимо учитывать при оценке вариаций градиента потенциала:

$$\vec{j} = \lambda_{\pm} \vec{E} - \varepsilon_0 (D_T + D_M) \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} + \sum \vec{j}_{\text{ст}}. \quad (2)$$

В этом случае уравнение для напряженности электрического поля $E = -\nabla \varphi$ переписывается в виде:

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} \right) + \frac{\partial D_T}{\partial z} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} + \frac{\lambda}{\varepsilon_0} \vec{E} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \sum \vec{j}_{\text{ст}}. \quad (3)$$

Проведенный модельный эксперимент по исследованию воздействия основных факторов на электрическое состояние приземного слоя атмосферы показывает сложность и возможную неоднозначность отклика в динамике электрической структуры приземной атмосферы во время грозы.

Литература

1. Нагорский П.М., Морозов В.Н., Смирнов С.В., Пустовалов К.Н. Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 11. С. 853–863.
2. Кобранова А.А., Морозов В. Н., Нагорский П.М., Пустовалов К. Н. // Изв. вузов. Физика. – 2015. – Т. 58. – № 8/2. – С. 220–223.
3. Nagorskiy P. M., Morozov V.N., Pustovalov K.N., Ryazanov A.A., Smirnov S.V. Winter Convective Clouds and Unstationary Electrode Layer // XV International Conference on Atmospheric Electricity. 2014. Norman. Oklahoma. USA. Proc.. 4 p.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАСТЕРА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТРУЮЩИХ СТАНЦИЙ ДЕТЕКТОРА НЕВОД-ШАЛ

Кутовой В.Ю.¹, Ликий О.И.², Шульженко И.А.²

¹студент, ²аспирант

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научно-образовательный центр НЕВОД, Москва, Россия

Конт. Тел.: +79150575613, E-mail: Kutovoy.92@mail.ru

Детектор НЕВОД-ШАЛ [1-3] предназначен для определения направления прихода, положения оси и мощности широких атмосферных ливней (ШАЛ) в области энергий ПКЛ от 10^{15} до 10^{17} эВ. Основными элементами НЕВОД-ШАЛ являются кластеры сцинтилляционных детектирующих станций (ДС). Кластер включает 4 ДС, размещенных в вершинах прямоугольника с характерными длинами сторон ~ 20 м. В состав каждой ДС входит 4 сцинтилляционных счетчика частиц электронно-фотонной компоненты ШАЛ. Сигналы со счетчиков кластера поступают в локальный пункт сбора и первичной обработки данных, осуществляющий их оцифровку, отбор событий по заданным триггерным условиям и передачу данных в центральный пункт управления, сбора и обработки данных.

В 2015 году на территории НИЯУ МИФИ на базе экспериментального комплекса НЕВОД [4] были созданы и запущены 5 кластеров детектора НЕВОД-ШАЛ, составляющих его центральную часть. Начато проведение серий измерений по исследованию рабочих параметров кластеров: темпа счета событий при различных триггерных условиях, отклика ДС и сцинтилляционных счетчиков при регистрации одиночных мюонов, временных параметров отклика кластеров при регистрации ШАЛ.

В докладе обсуждаются конструктивные особенности кластеров НЕВОД-ШАЛ. Представлены методы и результаты исследования основных параметров отклика, проведенного входе тестовых серий измерений на центральной части НЕВОД-ШАЛ.

Работа выполнена на уникальной научной установке НЕВОД при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (проект RFMEFI59114X0002).

Литература

1. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Barbashina N.S. et al. Proposal of NEVOD-EAS shower array. Journal of Physics: Conference Series. 2013; 409 (1), 012098.

2. I IYashin, M B Amelchakov, N V Ampilogov. EAS array of the NEVOD Experimental Complex. Journal of Physics: Conference Series. 2015; 632, 012029.

3. Shulzhenko I.A., Amelchakov M.B., Ampilogov N.V. et al. Status of the NEVOD-EAS experiment. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2015, 79 (3), pp. 389-391.

4. Сайт УНУ НЕВОД: <http://ununevod.mephi.ru/ru/>

ЗАВИСИМОСТЬ ФЕМТОСКОПИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ ОТ БЫСТРОТЫ И ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SELEX

Ларин Д.А.¹, Нигматкулов Г.А.²

¹НИЯУ МИФИ, Москва

²НИЯУ МИФИ, Москва

89257891500, ruknez94@mail.ru

Фемтоскопия используется для изучения объектов, размеры которых составляют $\approx 10^{-15}$ м. Метод заключается в изучении корреляции частиц, вылетающих из области взаимодействия и имеющих малые относительные скорости (или для тождественных частиц импульсы) и основан на интерференции тождественных частиц. Это позволяет измерять пространственно-временные характеристики области столкновения и исследовать процессы адронизации кварков. Один из факторов, определяющих характер двухчастичных корреляций тождественных частиц с малыми относительными импульсами, связан с параметрами области их генерации [1].

Исследование корреляций заряженных пионов исследовались во взаимодействии p , π^- , Σ -пучков с мишенью, состоящей из пяти фольг (двух медных и трех углеродных), в эксперименте SELEX (E-781) тэватрона FNAL [2]. В работе было проанализировано $\approx 10^9$ триггерных событий. Тип пучковых частиц определялся с помощью пучкового детектора переходного излучения. Треки частиц, образовавшихся в результате взаимодействия, регистрировались в вершинном спектрометре, состоящем из микростриповых кремниевых детекторов, которые имели пространственное разрешение около 6,5 мкм и эффективность регистрации более 98 %. Кольцевой черенковский детектор (RICH) и детекторы переходного излучения помогали определить тип заряженных частиц. После RICH-детектора треки частиц регистрировались с помощью дрейфовых камер [2].

В данной работе представлены результаты исследования корреляций пар заряженных пионов с малым относительным импульсом. В качестве опорного распределения использовался метод перемешивания событий, который заключается в составлении пары из ча-

стиц, принадлежащих различным событиям. При этом возникает вероятность нарушения законов сохранения энергии и импульса, а следовательно возможно возникновение нефемтоскопических корреляций которые могут привести к искажению корреляционной функции. Для устранения этого эффекта используется двойное отношение: отношение экспериментальной и моделированной корреляционной функции, в каждой из которых используется в качестве опорного распределения метод перемешивания событий. Представлены зависимости корреляционных функций от эффектов мерджинга (два трека реконструируются как один), сплитинга (один трек реконструируется как два), быстроты и поперечных импульсов пары частиц.

Литература

1. Goldhaber G., Goldhaber S., Lee W. et al. // Phys. Rev. 1960. V. 120. P. 300
2. J. Russ et al. //First charm hadroproduction results from SELEX. 1998. V. 2. P. 1259-1262

РАМАНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ

Мулярчик Е.И.¹, Калашиников Н.П.¹

¹НИЯУ МИФИ, Москва
8(916)253-05-34, kot-rin@inbox.ru

Рассматриваем рамановское рассеяние, когда электроны влетают в монокристалл под углом к кристаллографической оси, движение быстрой отрицательно заряженной частицы в потенциале притягивающей струны, потенциал притягивающей струны может быть представлен в виде потенциалов Дойля-Тёрнера, Линдхарда, Мольер и т. д.

Потенциалы Дойля-Тёрнера, Линдхарда и Мольер можно аппроксимировать в простую прямоугольную яму, поэтому упростим задачу и представим потенциал в виде прямоугольной ямы (Рис. 4)

$$U(\vec{\rho}, z) = \begin{cases} \tilde{U}, \rho < R, 0 < z < L \\ 0, \rho > R, z < 0, z > L \end{cases} \quad (1)$$

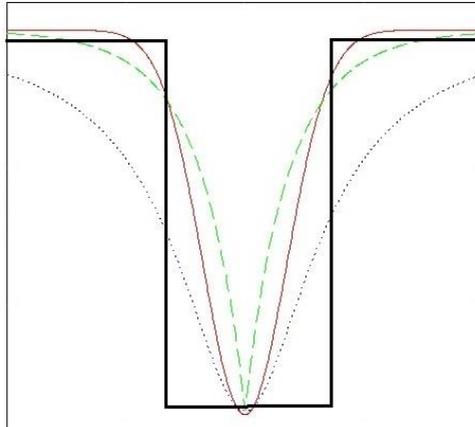


Рис. 1. Потенциал Дойля-Тёрнера (красная сплошная линия), потенциал Линдхарда (синяя пунктирная линия), потенциал Мольер (зеленая штриховая линия) и потенциал в виде прямоугольной ямы (черная сплошная жирная линия).

Здесь L - длина струны, $2R$ - ее поперечный размер. Предположим, что быстрая частица влетает в монокристалл почти параллельно оси OZ . Волновая функция частицы со спином $\frac{1}{2}$ имеет следующий вид

$$\psi = \begin{cases} e^{i\vec{p}_\perp \vec{\rho} - iz\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}, & -\infty < z \leq 0 \\ \sum_s u_s \left[A_s e^{-iz\sqrt{p^2 - p_s^2}} + B_s e^{iz\sqrt{p^2 - p_s^2}} \right], & 0 \leq z \leq L \\ e^{i\vec{p}_\perp \vec{\rho} + iz\sqrt{p^2 - p_\perp^2}} + \int \frac{d^2 \vec{k}}{(2\pi)^2} e^{i\vec{k} \vec{\rho}} \left[C_k e^{-iz\sqrt{p^2 - k^2}} + \right. \\ \left. + D_k e^{iz\sqrt{p^2 - k^2}} \right], & L \leq z < +\infty \end{cases} \quad (2)$$

где коэффициенты A_s, B_s, C_k, D_k подлежат определению, а u_s является полным ортонормированным набором собственных функций в данном потенциале (s - набор квантовых чисел). Для нахождения коэффициентов шиваем волновые функции и их производные в координатах $z=0, z=L$. Интегралы в получившихся равенствах переобозначаем за $N_{\vec{p}_\perp}$ и $N_{\vec{p}_f}^*$

$$N_{\vec{p}_\perp} = \int u_s^*(\vec{\rho}) e^{i\vec{p}_\perp \vec{\rho}} d^2 \rho = 2\pi i^m e^{im\varphi} \int_0^\infty u_s^*(\rho) J_1(p_\perp \rho) \rho d\rho \quad (7)$$

$$N_{\vec{p}_f}^* = \int u_s(\vec{\rho}) e^{-i\vec{p}_f \vec{\rho}} d^2 \rho = 2\pi (-i)^m e^{-im\varphi} \int_0^\infty u_s(\rho) J_1(-p_f \rho) \rho d\rho \quad (8)$$

$$A_s + B_s = N_{\vec{p}_\perp} \quad (9)$$

$$A_s - B_s = \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 - p_s^2}} N_{\vec{p}_\perp} \quad (10)$$

$$\sum_s 2N_{\bar{p}_f}^* N_{\bar{p}_\perp} \left[\cos\left(L\sqrt{p^2 - p_s^2}\right) - i \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 - p_s^2}} \sin\left(L\sqrt{p^2 - p_s^2}\right) \right] - e^{iL\sqrt{p^2 - p_\perp^2}} = C_k e^{-iL\sqrt{p^2 - p_f^2}} + D_k e^{iL\sqrt{p^2 - p_f^2}} \quad (11)$$

$$\sum_s 2 \frac{\sqrt{p^2 - p_s^2}}{\sqrt{p^2 - p_f^2}} N_{\bar{p}_f}^* N_{\bar{p}_\perp} \left[i \sin\left(L\sqrt{p^2 - p_s^2}\right) - \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 - p_s^2}} \cos\left(L\sqrt{p^2 - p_s^2}\right) \right] - \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 - p_f^2}} e^{iL\sqrt{p^2 - p_\perp^2}} = D_k e^{iL\sqrt{p^2 - p_f^2}} - C_k e^{-iL\sqrt{p^2 - p_f^2}} \quad (12)$$

После преобразований коэффициенты A_s , B_s , C_k , D_k оказываются

равны

$$A_s = \frac{1}{2} N_{\bar{p}_\perp} \left(1 + \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}} \right) \quad (13)$$

$$B_s = \frac{1}{2} N_{\bar{p}_\perp} \left(1 - \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}} \right) \quad (14)$$

$$C_k = e^{iL\sqrt{p^2 - p_f^2}} \left\{ \sum_s N_{\bar{p}_f}^* N_{\bar{p}_\perp} \left[\left(\frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}} - \frac{\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}}{\sqrt{p^2 - p_f^2}} \right) i \sin\left(L\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}\right) + \left(1 + \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}} \right) \cos\left(L\sqrt{p^2 (1 - \theta_0^2)}\right) \right] - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{p^2 - p_\perp^2}}{\sqrt{p^2 - p_f^2}} \right) e^{iL\sqrt{p^2 - p_\perp^2}} \right\} \quad (15)$$

$$D_k = e^{-iL\sqrt{p^2-p_f^2}} \left\{ \sum_s N_{\vec{p}_f}^* N_{\vec{p}_\perp} \left[\left(\frac{\sqrt{p^2(1-\theta_0^2)}}{\sqrt{p^2-p_f^2}} - \frac{\sqrt{p^2-p_\perp^2}}{\sqrt{p^2(1-\theta_0^2)}} \right) i \sin \left(L\sqrt{p^2(1-\theta_0^2)} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(1 - \frac{\sqrt{p^2-p_\perp^2}}{\sqrt{p^2(1-\theta_0^2)}} \right) \cos \left(L\sqrt{p^2(1-\theta_0^2)} \right) \right] - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\sqrt{p^2-p_\perp^2}}{\sqrt{p^2-p_f^2}} \right) e^{iL\sqrt{p^2-p_\perp^2}} \right\} \quad (16)$$

Литература

1. Калашников Н.П. Когерентные взаимодействия заряженных частиц в монокристаллах -М.: Атомиздат, 1981, -224 с.
2. Барышевский В.Г. Каналирование, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях.- Минск: Изд. БГУ им. В.И. Ленина, 1982, -256 с.
3. Рябов В.А. Эффект каналирования. -М.: Энергоатомиздат. 1994.-240 с.
4. Калашников Н.П., Крохин О.Н. Квантовая электроника. 2014. т.44,№12. с.с. 1109-1111. Комбинационное рассеяние фотона с удвоением частоты на канализованном позитроне.
5. Плачек Г. Релеевское рассеяние и раман-эффект. ОНТИ УССР, 1935.
6. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. т. IV Квантовая электродинамика -М.: ГРФМЛ «Наука», 1989, -728 с.
7. Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика. -М.: ГРФМЛ «Наука», 1981, -432 с.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Попова А.А., Вебер А.Е.

ТТИ НИЯУ МИФИ, г. Трехгорный

Конт. тел.: 8-919-300-33-28, e-mail: pnv1978@mail.ru

Одним из возможных путей перехода на новый уровень познания в области физической химии растворов, физики жидкостей и биофизики является разработка новых экспериментальных методов исследования жидкостей [3].

Одним из таких методов является метод исследования водных растворов с помощью переменного магнитных и электрических полей.

Существующие методы исследования диэлектрических и магнитных свойств веществ:

- 1) Кондуктометрия
- 2) Диэлькометрия

Кондуктометрия – метод физико-химического анализа, основанный на измерении электропроводности растворов.

Под диэлькометрией понимаются методы измерений, основывающиеся на определении диэлектрической проницаемости ϵ (сокращенно ДП) и тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ [2].

Целью данной работы является исследование диэлектрических и магнитных свойств водных растворов с использованием L-ячейки.

Главная цель данного метода - это измерения свойств веществ в переменном магнитном поле. L-ячейка представляет собой соленоидальную катушку индуктивности, по которой протекает переменный ток, создавая во внутреннем пространстве катушки переменное магнитное поле.

Установка, с помощью которой реализован данный метод, представляет автогенератор с LC колебательным контуром (Рис. 1).

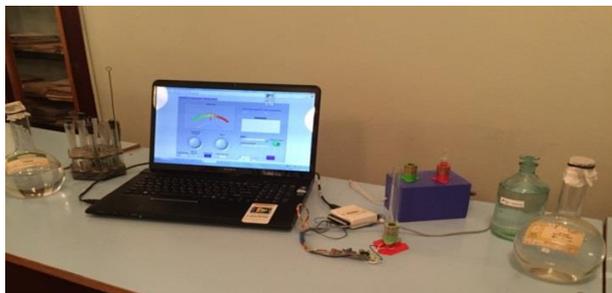


Рис. 1- Экспериментальная установка

К отличительным достоинствам метода относятся: высокая чувствительность, простота, универсальность.

Недостатком является влияние внешних магнитных полей на результаты измерений. Но он устраним с помощью применения экранирования.

Реализованный метод позволяет измерять потери в колебательном контуре в широком частотном диапазоне. Сервисные возможности используемого программного обеспечения помогают проводить математическую обработку, преобразование и протоколирование результатов измерений с представлением в необходимом виде [1].

Литература

1. Яковлев А.Д., Сбитня М.Ю., Вебер А.Е. Потери в резонансном колебательном контуре, измерения, аспекты практического применения. г. Трехгорный.
2. Надь Ш.Б. Диэлектromетрия. Под ред. В.В. Малова. Издательство “Энергия” 1976 г. -200стр.
3. Семихина Л.П. Диэлектрические и магнитные свойства воды в водных растворах и биообъектах в слабых электромагнитных полях. Издательство ТюмГУ. г. Тюмень 2005 г. -173 стр.

ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ^{14}C В ЖИДКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРА МАЛОГО ОБЪЕМА В НИЗКОФОНОВОЙ КАМЕРЕ БНО ИЯИ РАН

Рован Е.Д.^{1,2}, Синев В.В.²

¹НИЯУ МИФИ, г. Москва

²ИЯИ РАН, г. Троицк

+79035322318, Ekaterina.rovan@gmail.com

В низкофоновой лаборатории Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН, расположенной на глубине 4900 м.в.э., создана установка для измерения ультранизких концентраций изотопа ^{14}C в образцах жидкого органического сцинтиллятора. Проведены измерения концентрации радиоуглерода ^{14}C в образце сцинтиллятора на основе линейного алкилбензола. Двумя методами анализа были получены результаты, совпадающие в пределах экспериментальной погрешности $(7.9 \pm 0.9) \times 10^{-17}$ и $(7.5 \pm 1.5) \times 10^{-17}$.

В последнее время активно обсуждается ряд проектов по созданию больших сцинтилляционных жидких детекторов для регистрации крайне редких событий, в частности нейтринных потоков от различных природных источников [1-4]. Фундаментальной задачей является измерение потоков антинейтрино от распадов ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , содержащихся в земных недрах. Надежная регистрация этих антинейтрино (геонейтрино) позволит установить вклад энерговыделения от радиоактивного распада этих изотопов в общий тепловой поток Земли. С другой стороны, в работе [4] рассматривается возможность регистрации солнечных нейтрино от электронного захвата на ядрах ^{13}N , ^{15}O , ^{17}F (так называемый цикл CNO) с помощью крупномасштабного жидкого сцинтилляционного детектора (типа LENA). Измерение потока этих нейтрино позволит получить важную информацию о химическом составе солнечных недр. В настоящее время в ИЯИ РАН ведутся исследования, связанные с разработкой проекта по созданию большого сцинтилляционного детектора на Баксанской нейтринной обсерватории (БНО)[3]. Предполагаемая масса детектора $\sim 10\text{-}30$ кт. Географические особенности расположения обсерватории позволяют существенно подавить фон, связанный с потоками антинейтрино от ра-

ботающих реакторов АЭС и в то же время зарегистрировать потоки анти-нейтрино, несущие информацию о строении земной коры в данном регионе.

Для анализа измеренного фона на наличие в сцинтилляторе изотопа ^{14}C требуется знание формы спектра ^{14}C . Бета-спектр изотопа ^{14}C исследуется уже на протяжении долгих лет, но точная форма спектра остается до конца не выясненной. Сложность заключается в малой концентрации ^{14}C в веществах и большом периоде полураспада (5730 лет).

Создана установка по измерению содержания радиоуглерода ^{14}C в образцах жидкого сцинтиллятора. Проведены первые измерения со сцинтиллятором на основе отечественного ЛАБа. Результат содержания ^{14}C оказывается на порядок больше полученного в сцинтилляторе в детекторе Vorexino [5]. Наше измерение по одному методу дает значение $^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = (7.9 \pm 0.9) \times 10^{-17}$, а по другому – $(7.5 \pm 1.5) \times 10^{-17}$. Предполагается исследовать образцы сцинтиллятора с основой из растворителя, полученного из различной нефти, чтобы определить влияние месторождения на содержание ^{14}C . Также будут исследованы растворители, полученные из каменного угля. Проводится анализ фонов детектора с целью их дальнейшего подавления и снижения порога детектора для более уверенной регистрации бета-спектра ^{14}C .

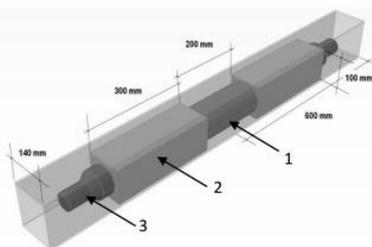


Рис. 1. Схема экспериментальной сцинтилляционной ячейки. 1 – ячейка с исследуемым ЖОС, 2 – световоды, 3 – ФЭУ.

Список литературы

1. Wurm Michael, Beacom John F., Bezrukov Leonid et al. The next-generation liq-uidscintillator neutrino observatory LENA. White Paper ArXiv: 1104.5620 [astro-ph.IM].

2. Learned John G., Dye Stephen T. and Pakvasa Sandip, Nano-Hano. A deep ocean anti-neutrino detector for unique neutrino physics geophysics studies. arXiv: 0810.4975 [hepex].

3. Барабанов И.Р., Новикова Г.Я., Синев В.В., Янович Е.А., Исследование природных потоков нейтрино при помощи сцинтилляционного детектора большого объема на Баксане. Препринт ИЯИ РАН 1228/2009. Barabanov I. R., Novikova G. Ya., Sinev V. V. and Yanovich E. A., Research of the natural neutrino fluxes by use of large volumescintillation detector at Baksan. arXiv: 0908.1466 [hep-ph].

4. Villante F.L. CNO solar neutrinos: a challenge for gigantic ultra-pure liquid scintillator detectors. arXiv:1410.2796 [hep-ph], 2014.

5. Angelo D.D., Bellini G., Benziger J. et al., Recent Borexino results and prospects for near future. arXiv: 1405.1779 [hep-ex].

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ АНТИПРОТОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В СПЕКТРОМЕТРЕ ПАМЕЛА

Роденко С.А.¹, Майоров А.Г.¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
+7 (962) 919-94-75, fenkor@yandex.ru*

Считается, что основным механизмом генерации антипротонов в Галактике являются взаимодействия высокоэнергичных космических лучей с межзвездным веществом, т.н. механизм вторичного рождения антипротонов [1]. Однако, этот механизм недостаточно хорошо описывает экспериментальные данные в интервалах энергий выше 100 ГэВ, где, по-видимому, получены свидетельства в пользу существования адронного канала аннигиляции или распада гипотетических частиц темной материи, и меньше 1 ГэВ, где наиболее ярко проявляется эффект солнечной модуляции, но недостаточно статистических данных для его изучения.

В настоящее время активно развиваются теоретические модели, в которых антипротоны также появляются в экзотических источниках, таких как аннигиляция или распад гипотетических частиц темной материи или испарение первичных черных дыр. Поэтому регистрация галактических антипротонов и измерение их энергетического спектра позволяет не только изучать механизмы генерации и распространения частиц и античастиц в Галактике, но и определять некоторые свойства различных предсказываемых астрофизических источников.

Кроме того длительное измерение потоков галактических антипротонов в области низких энергий (< 1 ГэВ) позволит лучше изучить влияние солнечной активности на распространение галактических частиц в гелиосфере. В результате наблюдения временных вариаций потоков галактических космических лучей в течение многих циклов солнечной активности было обнаружено, что потоки коррелируют с числом солнечных пятен, которые характеризуют уровень солнечной активности [2]. Этот эффект называется солнечной модуляцией и связан с распространением космических лучей в межпланетном пространстве, заполненном частицами сол-

нечного ветра и солнечным магнитным полем. По-видимому, из-за разного знака зарядов протонов и антипротонов их перенос в гелиосфере происходит по-разному, в результате чего временные вариации частиц и античастиц не будут одинаковыми. Ожидается, что применение разрабатываемой методики позволит изучить зарядовую зависимость эффекта солнечной модуляции.

Экспериментальные измерения потока антипротонов в околоземном космическом пространстве имеют важное значение для физики космических лучей. С июня 2006 г. по февраль 2016 на борту космического аппарата Ресурс-ДК1 проводился научный эксперимент ПАМЕЛА по изучению различных компонент космических лучей в широком диапазоне энергий. Спектрометр ПАМЕЛА позволяет регистрировать антипротоны низких энергий ($E < 1$ ГэВ) независимо при помощи двух детекторов – трековой системы в магнитном поле и позиционно-чувствительного калориметра [3].

Представленная в работе методика идентификации антипротонов основана на анализе топологии треков антипротона и вторичных заряженных мезонов, возникающих в процессе его аннигиляции в калориметре. Эта методика позволит восстановить дифференциальный энергетический спектр антипротонов и протонов космических лучей в диапазоне энергий 200-800 МэВ. Ожидается, что применение этого метода позволит независимо подтвердить данные магнитного анализа, а также увеличить статистику за счет большего геометрического фактора калориметра в сравнении с трековой системой.

Литература

1. Ptuskin V. S. et al., // *Astrophys. J.*, V. 642, 2006. – P. 902.
2. Гальпер А.М. Космические лучи. - М.: МИФИ, 2002.
3. Picozza P., Galper A.M., Castellini G. et al. PAMELA – A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. // *Astroparticle Physics*, V. 27, 2007. – P. 296-315.

РАЗБОР ОШИБОК В СИ

Соломатенко А.В.¹, Соломатенко В.Н.

¹ аспирант РГУТус, Пушкинский р-н Московской обл.
конт. тел. +7 925-223-8101, e-mail slmink@mail.ru

В СИ семь основных единиц, шестой из которых считается моль – единица количества вещества [1]. А единицы количества вещества один/одна/одно атом/молекула/нейтрино якобы нет. Неправда, она есть! И не только в СИ. Без одного и троих не бывает; и молчим про единицу моль, в которой таких троек более чем $2 \cdot 10^{23}$. Пошутчно даже моли считают.

Есть в СИ и символ единицы количества один/одна/одно. Он идентичен по начертанию безразмерному числу 1. С числом 1 его путают и удаляют из символов единиц многих физических величин, в том числе основной физической величины – термодинамической температуры. Принципиально ошибаются! С целью исключения таких ошибок, предлагается заменить символ 1 единицы количества вещества один/одна/одно символом Θ . Он похож на первую букву слов один и *англ.* – *one*. Но точка в центре отличает его от букв и числа. Итак, заменяем и сравниваем:

Было $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Стало $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \Theta/\text{моль} = 6,022 \cdot 10^{23} \Theta \cdot \text{моль}^{-1}$.

Было $k_B = 1.380 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$, но $R = 8,1 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$.

Стало $k_B = 1.380 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \Theta^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ и $R = 8,1 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$.

Формулы сравнимы. Но удалить из символа единицы знак Θ – явно ошибиться. Эта ошибка автоматически приводит к отсутствию символа Θ в символе единицы основной физической величины – термодинамической температуры – и далее по цепочке в символах единицы величин, связанных с температурой, например энтропии. Без вывода приведем здесь эквивалентные символы единицы термодинамической температуры. Это не только К , но и $\text{Дж} \cdot \Theta^{-1}$ и $\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \Theta^{-1}$. Соответственно, символ единицы энтропии S есть знак Θ , т.к. $S=U/T$ и соответственно, $\text{Дж}/(\text{Дж} \cdot \Theta^{-1}) = \Theta$. Соответственно, символ для размерности термодинамической тем-

пературы есть произведение $L^2MT^{-2}N^{-1}$, а символ для размерности энтропии – латинская буква N . Данная размерность подсказывает возможный физический смысл энтропии – количество элементарных носителей энергии, задействованных в квазипроцессах теплообмена в условиях термодинамического равновесия (в квазипроцессах, потому что при термодинамическом равновесии теплообмен условен).

Наведя порядок в размерностях, проще заметить, что постоянные Авогадро и Больцмана (фундаментальные физические константы ФФК) есть безразмерные коэффициенты пропорциональности между единицами сравнимых физических величин, величин одной размерности. Не имеет размерности и механический эквивалент теплоты – коэффициент пропорциональности между единицами джоуль и калория. Предлагается обозначать данный эквивалент, установленный Джоулем, символом k_J , по аналогии с постоянной Больцмана k_B , и называть последнюю константу (ФФК) механическим эквивалент температуры, по аналогии с механическим эквивалентом теплоты k_J .

Предлагается также переопределить физическую величину: она не свойство, а характеристика природы субъектом, которым может быть и мировое сообщество – Международная система величин – и индивидуум – системы величин Ермолаева Д.С, Когана И.Ш. и т.д. Свойства же природы от мнений и соглашений субъектов не зависят.

Предлагается освободиться от рода величины, как «общего аспекта для взаимного сопоставления величин» [2], [3], уточнив понятие размерности величины и не допуская ошибок в следовании этому понятию. Авторами и их коллегами по работе и учебе, в первую очередь в МГТУ им. Н.Э. Баумана, сделаны первые шаги в данном направлении. Но путь предстоит долгий, и преодолеть его мировому сообществу ученых, инженеров, и т.д. по мере открытия новых горизонтов в познании мира.

Надлежит, по мнению авторов, скорректировать также решение XXIV Генеральной конференции по мерам и весам о переопределении единиц килограмм, ампер, кельвин и моль [4], принятой в 2011 году и вызвавшее вал дискуссий с отрицательными резолюциями. А именно: внести в него изменения, обусловленные пред-

ставленными здесь новациями. Данные новации, устраняя ошибки в СИ и, соответственно, упрощая ее, снимают многие спорные вопросы переопределения упомянутых единиц.

Литература

1. Draft 9th Brochure 16 December 2013, BIPM, p. 29.
2. International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). – JCGM 200:2008, BIPM, p. 21.
3. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010, с. 80.
4. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>

АЭРОТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ КИПЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Филонов В.В.

НТУУ «КПИ», Киев

+38 (093) 596-84-65, filonov.vladislav@mail.ru

Впервые способы возмущения звуковых волн тепловым потоком в 1877 году были сформулированы Релеем в книге «Теория звука»: «Если к газу в момент максимального сжатия сообщить тепловую энергию, а в момент максимального разрежения ее отобрать, то это стимулирует акустические возмущения». Во-первых, излучение звука может происходить при изменении температуры неподвижной границы теплового источника [1], что сопровождается расширением или сжатием среды. Во-вторых, генерация звука может происходить при автоколебаниях в тепловых системах, в которых обратная связь обеспечивается образованной акустической волной, влияя на процессы нагрева или горения и на регулярный переход тепловой энергии в энергию звуковых колебаний

В общем случае тепловые и гидродинамические процессы аэротермоакустики неразрывно связаны. Поэтому для математического описания процесса необходимо использовать полную систему дифференциальных уравнений динамики неизотермического теплопроводящего сжимаемого газа [2]. Следует отметить, что использование обычных уравнений акустики приведет к принципиально неверному результату, поскольку генерация звука происходит в движущейся среде. Тем не менее, существуют условия, когда гидродинамическую и тепловую задачу можно решать отдельно, используя лишь одно совместное уравнение энергетического характера. Если рассматривать систему с гидродинамической обратной связью, то колебания тела-мишени в точности являются автоколебаниями. При отсутствии резонансных процессов звуковых волн можно пренебречь гидродинамическими процессами в явном виде (учитывая их интенсивными параметрами).

Особенностью автоколебательной системы, описываемой уравнением (1) является тот факт, что частота колебаний есть собствен-

ным числом системы. Это позволяет создавать устройства, частотные характеристики рабочей среды которых определяются лишь геометрией системы и практически не зависят от тепловой задачи, по крайней мере, в окрестности атмосферного давления. Амплитуда таких колебаний характеризуется функцией теплообмена между системой и источником.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)_0 \frac{dx}{dt} + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_0 x = 0 \quad (1)$$

Для связанной автоколебательной системы, состоящей из U – образного жидкостного манометра и цилиндрической акустической полости, сообщенных через один свободный конец, в предположении, что газ подчиняется политропическому закону с учетом диссипации, частоту связанных колебаний можно представить в виде:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho g S_L + \frac{nS^* S_L}{2V_0} p_0}{m} - \left(\frac{4.25\alpha\pi l \mu_{\text{воды}}}{m}\right)^2} \quad (2)$$

Сопоставление значений частот полученных экспериментально и рассчитанных по зависимости (2) показали (рис 1,а), что для такой геометрии предположение о независимости частоты колебаний от амплитуды весьма правдоподобны. В свою очередь амплитуда определяется лишь тем количеством энергии, которое способна воспринять система.

Одной из основных характеристик энергетического восприятия есть время отклика системы на внешнее тепловое возбуждение, которое зависит от интенсивности теплообмена в зонах подогрева и охлаждения. При повышении интенсивности теплообмена время восприятия стремительно падает, автоколебательная система возбуждается стремительнее. Поэтому введение кипения в области подвода теплоты внутри акустической полости и конденсации в области охлаждения газа существенно увеличивает внутренний коэффициент теплоотдачи, понижает значения температурного поля цилиндрического тела, и стимулирует систему к выходу на номинальные параметры колебаний спустя несколько секунд (рис. 1,б).

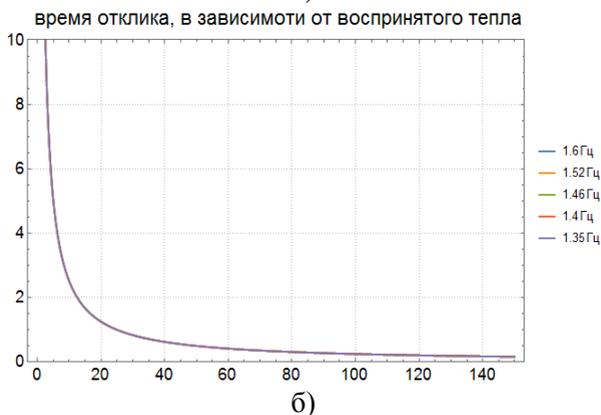
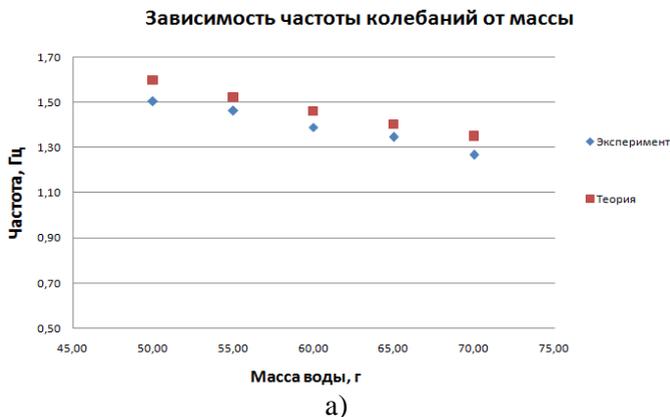


Рис. 1. а – зависимость частоты колебаний от массы воды в U – образном манометре, б) зависимость время полного отклика системы от воспринятой теплоты.

Литература

1. Зарембо Л.К. Введение в нелинейную акустику / Зарембо Л.К. , В.А. Красильков. —М. :Наука, 1966. - 521с.
2. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение / Раушенбах Б.В. . — М. : ФМ, 1961. -501 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ МИГРАЦИИ РАДИОСТРОНЦИЯ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

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

Почва является наиболее распространенным на поверхности Земли природным ионообменным материалом [1]. Отсутствие достаточной информации о движущих силах и параметрах миграционных процессов в почвах затрудняет решение многих задач по предотвращению последствий радиоактивного загрязнения. Целью работы является изучение физико-химических механизмов миграции радионуклидов в почве на основе математического моделирования.

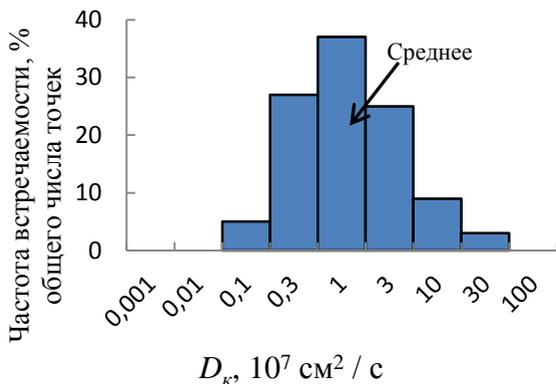
Получено выражение для доли радионуклида в верхнем слое почвы

$$q = \Phi(y), \quad (1)$$

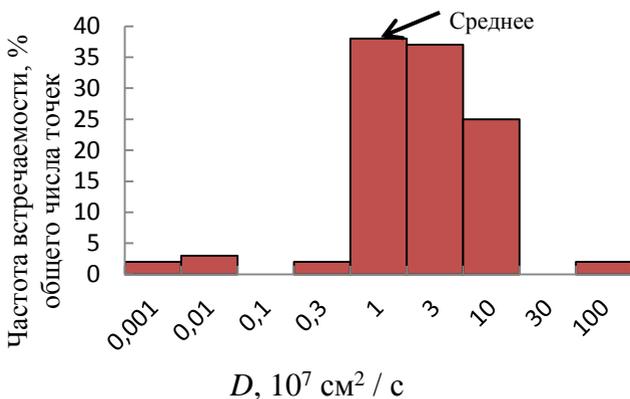
где $\Phi(y)$ – интеграл вероятностей; $y = l/2 \cdot \sqrt{D_k t}$ – безразмерный параметр; D_k – «кажущийся» коэффициент диффузии; l – слой почвы; t – время диффузии. Видно, что доля радионуклида в верхнем слое не зависит от уровня первоначального загрязнения поверхности.

Если начальная концентрация радионуклида в верхнем слое почвы не постоянна, ее можно аппроксимировать экспонентой $c(x, t) = c_0 \exp(-ax)$, где c_0 – начальная концентрация на поверхности почвы; a – константа аппроксимации. В данном случае в отличие от предыдущего величина q зависит не только от параметра y , но и от отношения $n = h/l$ [2]. Это позволяет определить отно-

сительное содержание радионуклида в верхнем слое почвы любой толщины.



а)



б)

Рис. 1. а) Частотное распределение значений «кажущегося» коэффициента диффузии D_k . Результаты обработки полевых наблюдений (175 точек); б) частотное распределение значений коэффициента диффузии D . Результаты лабораторных измерений (170 точек)

На рис. 1 представлен частотное распределение D_k ; сравнение значений D_k с полученными в лабораторных условиях, показывают

их близость (рис. 1). Тот факт, что интервал «кажущихся» коэффициентов диффузии и коэффициентов диффузии, полученных в лабораторных условиях, в значительной степени перекрывается, свидетельствует о существенной роли процесса диффузии в вертикальной миграции радионуклида ^{90}Sr .

Существенная роль диффузионной (или квазидиффузионной) миграции ^{90}Sr в почвах дает основание для приближенного расчета миграции ^{90}Sr в неоднородной почве на основе теории диффузии.

Средние отклонения $\delta_{\text{ср}}$ содержания ^{90}Sr в почвенных слоях, полученные экспериментально, от значений, вычисленных на основании полученных средних значений D_k для отдельных слоев сравнительно невелики и составляют от 3.6 до 37%. При этом они минимальны (3.6-13)% в верхних слоях всех почв, где наблюдается высокое содержание ^{90}Sr . Найдена и проанализирована частота появления различных значений отклонений δ . Около 75% всех значений δ не превышает 20%; 94% от общего числа точек не превышает 60%. Усредненные для каждой почвы значения $\delta_{\text{ср}}$ находятся в пределах (15-22)%, что с учетом положенных в основу модели допущений можно считать незначительным отклонением.

Разработана математическая модель и инженерный метод расчета миграции ^{90}Sr в неоднородных почвах, с достаточной точностью совпадающий с имеющимися экспериментальными данными.

Литература

1. Р.Ш. Малкович, В.М. Прохоров. Радиоактивные изотопы в почвах и растениях. (Л: Колос. 1969).
2. Ф.И. Павлоцкая, В.И. Баранов. Глобальное распределение радиоактивного стронция по земной поверхности. (М: Наука. 1970).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА АТМОСФЕРНЫХ МЮОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ЗЕНИТНЫХ УГЛОВ 85 – 94°

Яковлева Е.И., Хомяков В.А., Хохлов С.С.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г.
Москва
тел.(495)788-56-99 доб.97-89, e-mail EIIakovleva@mephi.ru*

В докладе приводятся результаты исследования окологоризонтального потока мюонов космических лучей в диапазоне зенитных углов 85 - 94°, в котором, в частности, регистрируются так называемые альбедные мюоны – атмосферные мюоны, вошедшие в грунт и рассеянные в верхнюю полусферу. Альбедные мюоны являются одним из основных источников фона в нейтринных экспериментах.

Измерения проводились на экспериментальном комплексе НЕВОД-ДЕКОР (рис. 1), расположенном на территории НИЯУ МИФИ. Основой комплекса является черенковский водный детектор (ЧВД) НЕВОД объемом 2000 м³ с плотной пространственной решеткой из 91 квазисферического модуля, по 6 фотоумножителей ФЭУ-200 в каждом. Вокруг ЧВД развернут координатно-трековый детектор ДЕКОР, состоящий из восьми восьмислойных супермодулей площадью 8.4 м² каждый, с вертикальными плоскостями стримерных трубок.

Координатно-трековый детектор ДЕКОР выделяет треки окологоризонтальных мюонов с хорошей угловой (~1°) и пространственной (~1 см) точностью, а также позволяет проводить оценку направления движения мюона времяпролетным методом с вероятностью ошибки ~10⁻² - 10⁻¹. Более точная оценка направления может быть получена на основе отклика ЧВД НЕВОД благодаря направленности черенковского излучения. Объединение этих двух независимых методов позволяет определять направление движения мюона с вероятностью ошибки ~10⁻⁸.

В работе анализировались данные измерительных серий, проведенных на экспериментальном комплексе в 2002 – 2004 годах (10548 часов «живого» времени), и серий, проведенных после модернизации регистрирующей и детектирующей систем ЧВД в 2011-2015 годах (19843 часа «живого» времени). В течение эксперимен-

та в диапазоне зенитных углов $85 - 94^\circ$ было зарегистрировано 5.46 млн. мюонов с пороговой энергией 7 ГэВ. Распределение мюонов по зенитному углу приведено на рис. 2а. При этом 5717 мюонов пришли в установку под зенитными углами более 91° , т.е. являются альбедными.

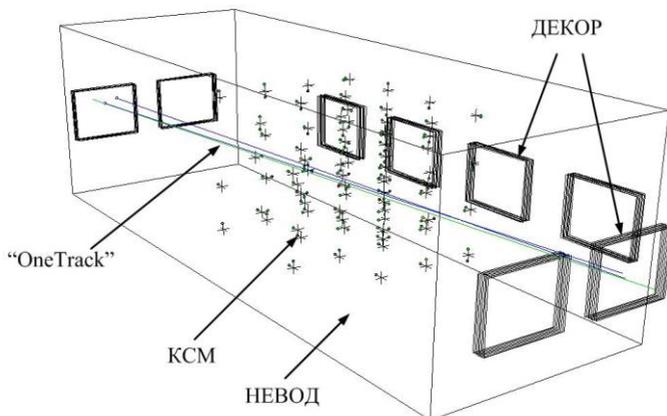
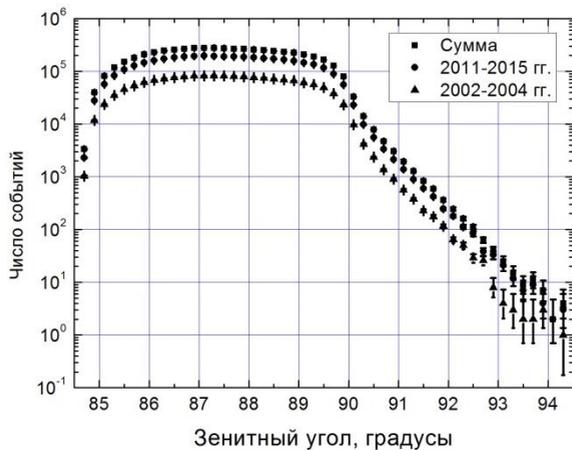


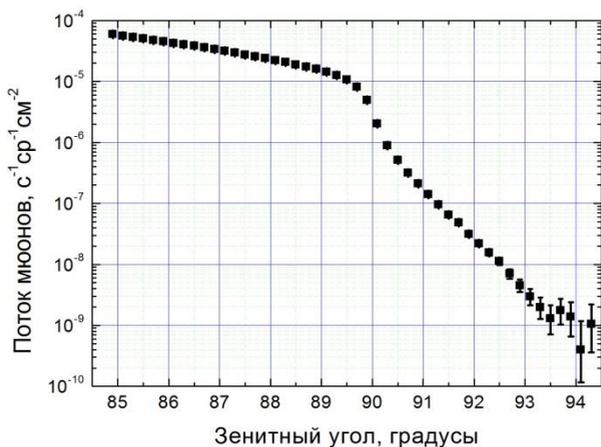
Рис.1. Экспериментальный комплекс НЕВОД-ДЕКОР

На основе данных о светосиле детектора ДЕКОР распределение мюонов по зенитному углу было пересчитано в интенсивность потока мюонов, представленную на рис. 2б. Как видно из рисунка, поток мюонов резко снижается при пересечении уровня горизонта (90°)

Результаты измерения интенсивности потока альбедных мюонов будут использованы для проверки и верификации существующих моделей многократного рассеяния мюонов в грунте.



а)



б)

Рис.2. а) распределение зарегистрированных мюонов по зенитному углу, б) зависимость интенсивности потока мюонов от зенитного угла.

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке гранта Президента РФ МК-7145.2015.2.

**НАМАГНИЧЕННОСТЬ И ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ ПОТЕРИ В
МНОГОЖИЛЬНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ НА ОСНОВЕ
ДИБОРИДА МАГНИЯ**

***Д.А. Абин, Н.А. Минеев, М.А. Осипов, С.В. Покровский,
И.А. Руднев***

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва
Международная лаборатория сильных магнитных полей
и низких температур, Вроцлав
+7916-930-26-34, Dima_abin@mail.ru*

В настоящее время все большее внимание уделяется сверхпроводнику (СП) MgB_2 благодаря его таким уникальным свойствам, как относительно высокой критической температуре ($T_c=39K$) [1], большой длине когерентности, низкой анизотропии, широкому диапазону температур формирования СП фазы. Из-за сравнительно низкой цены магния и бора, материал является привлекательным для промышленного производства сверхпроводящих проводов. В последнее время были получены провода сравнимые по характеристикам с проводами из Nb-Ti [2]. Высокое значение критической температуры MgB_2 , делает возможным создание криомагнитных систем с альтернативными способами охлаждения: с использованием твёрдого азота или маломощного криокулера [3]. Однако, выделение энергии в сверхпроводящих композитах при изменении внешнего магнитного поля (при вводе и выводе тока), так называемые гистерезисные потери, могут существенно ограничить возможность создания магнитных систем на основе MgB_2 . Настоящее сообщение посвящено изучению гистерезисных потерь в мультифиламентарных проводниках MgB_2 .

Для исследования использовались многожильные проводники с различным числом жил, в том числе лента сечением размерами 3,5 мм × 0,6 мм и круглый провод диаметром $d=1$ мм, промышленно изготавливаемые фирмой Columbus (Италия) по *ex-situ* «технологии порошок в трубе» РИТ. На рисунке 1 представлены фотографии поперечного сечения некоторых образцов. Намагниченность образцов

измерялась в диапазоне температур 4,2-30 К в магнитных полях до 8 Тл с помощью вибрационного магнитометра

На рисунке 2 показаны примеры кривых намагниченности, полученные при различных температурах. Из кривых намагниченности были рассчитаны зависимости гистерезисных потерь от магнитного поля при различных температурах. Экспериментальные данные были сопоставлены с результатами расчета гистерезисных потерь, в основу которых были использованы данные по транспортным измерениям критического тока провода и геометрические параметры как проводника в целом, так и отдельных сверхпроводящих филаментов. Показано удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

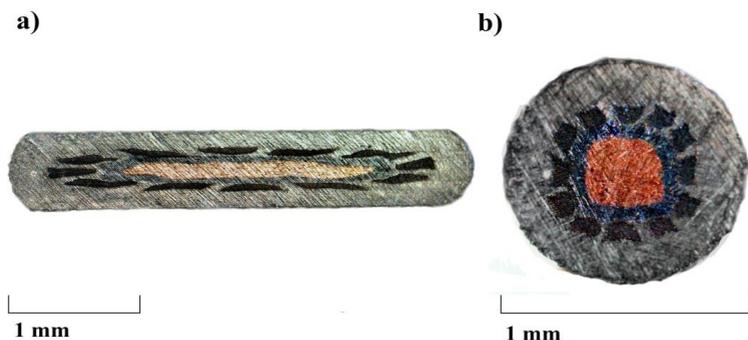


Рис. 1. Фотографии поперечных сечений *ex situ* MgB₂: (a) ленты; (b) провода

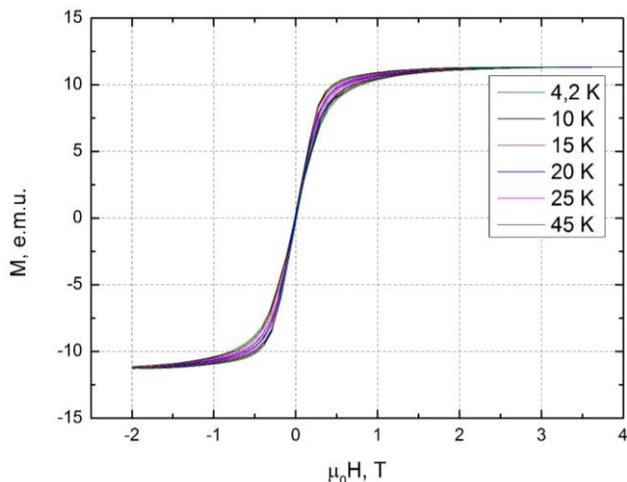


Рис. 1. Петли намагниченности 12-ти жильного образца проводника MgB_2 от внешнего магнитного поля при различной температуре

Работа выполнена в НИЯУ МИФИ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение №14.575.21.0050 (RFMEFI57514X0050)).

Литература

1. J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani, J. Akimitsu, «Superconductivity at 39 K in magnesium diboride». Nature. Vol.410. P.63-64 (2001).
2. D. Patel, Md S. A. Hossain, A. Motaman, S. Barua, M. Shahabuddin, J. H. Kim. «Rational design of MgB_2 conductors toward practical applications». Cryogenics. Vol.63. P.160–165 (2014).
3. W. Yao, J. Bascuñán, S. Hahn, Y. Iwasa. IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol.12., №3, P.912 – 915 (2010).

МЕХАНИЗМ РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ УРОВНЕЙ ЛАНДАУ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ

Агафонов В.В.¹, Теленков М.П.^{1,2}, Ю.А.Митягин^{1,3},
К.К.Назараджа^{1,2}

¹Физический институт им. Лебедева РАН, Москва

²Национальный исследовательский технологический университет
“МИСиС”, Москва

³Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Москва, Россия

8(968)7829460., vladislavsv@mail.ru

Целью работы является изучение кинетики внутривозонной релаксации энергии электронов в системе уровней Ландау, лежащих ниже энергии оптического фонона.

Изучение процессов релаксации в электронных системах является фундаментальной задачей физики твердого тела, представляющей интерес для широкого круга приложений, в том числе в приборной оптикоэлектронике.

В квантуемом магнитном поле спектр электрона качественно изменяется: подзоны размерного квантования разбиваются на серии дискретных уровней Ландау. Вследствие этого существенно подавляются упругие процессы рассеяния на примесях и шероховатостях гетерограниц, и квазиупругие процессы рассеяния на акустических фононах, и основным механизмом перераспределения электронов по уровням является электрон-электронное ($e-e$) рассеяние [1].

Однако поскольку $e-e$ -рассеяние - двухчастичный процесс с сохранением полной энергии, то он не приводит непосредственно к релаксации энергии в системе. Релаксация происходит за счёт того, что, поднимаясь по лестнице уровней, электроны в ходе ряда актов рассеяния достигают энергий, соответствующих или превышающих энергии оптического фонона. В результате происходит испускание оптического фонона и соответственно релаксация энергии в системе.

Посредством решения системы уравнения баланса[2] между приходом электронов на уровень Ландау и уходом электронов с

уровня Ландау проведено численное моделирование кинетики внутривозонной релаксации при селективном возбуждении электронной подсистемы. (Рис.1(а)) Обнаружено, что характер релаксации в системе уровней Ландау, лежащих ниже энергии оптического фонона, качественно отличается от характера релаксации в двумерной непрерывной подзоне квантовой ямы. Показано, что в системе уровней Ландау качественно различаются процессы термализации (Рис.1(б)) электронной подсистемы и релаксации ее энергии. Термализация обусловлена перераспределением электронов по уровням Ландау и происходит без изменения полной энергии электронной подсистемы. Релаксация энергии происходит в результате испускания оптических фононов электронами, которые доставляются процессами $e-e$ рассеяния на уровни Ландау, лежащие выше энергии оптического фонона. Вследствие относительно малой доли электронов, достигающих таких уровней Ландау, характерное время изменения энергии электронной подсистемы оказывается существенно больше времени ее термализации. Вследствие этого в каждый момент времени в электронной подсистеме успевает установиться температура, которая медленно убывает по сравнению с временем термализации и временем рассеяния на оптическом фононе. В итоге полное время релаксации электронной подсистемы оказывается на несколько порядков больше как характерного времени термализации, так и времени рассеяния на оптических фононах.

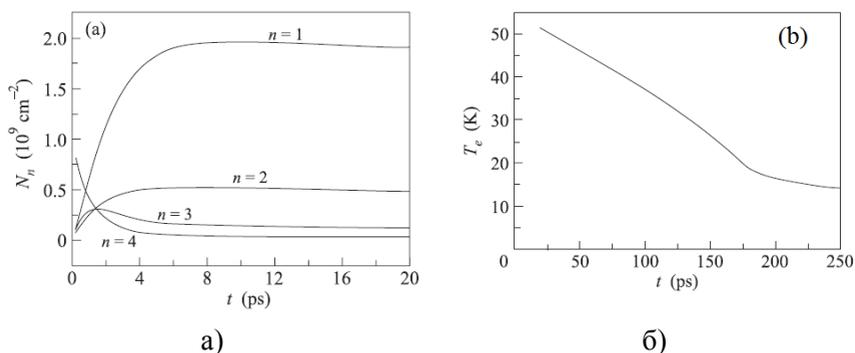


Рис. 1. а) Рассчитанная кинетика населенностей уровней Ландау первой подзоны в квантовой яме. б) временная зависимость температуры электронной подсистемы

Литература

1. М. Р. Telenkov, Yu. A. Mityagin, P.F. Kartsev, «Carrier kinetics and population inversion in Landau level system in cascade GaAs/AlGaAs quantum wellstructures», *Optical and Quantum Electronics* 46(6), pp. 759-767 (2014)
2. М.П.Теленков, Ю.А.Митягин, В.В.Агафонов, К.К.Нагараджа «Механизм релаксации энергии в системе уровней Ландау в квантовых ямах» *Письма в ЖЭТФ*, том 102, вып. 10, с. 770 – 774, 2015 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕВИТАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СТОПОК ВТСП ЛЕНТ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

Анищенко И.В., Покровский С.В., Минеев Н.А.

НИЯУ МИФИ, Москва

8-(977)-617-01-75, mephizic@gmail.com

В работе представлена расчетная модель левитационной системы на основе стопок ВТСП лент второго поколения. Система представляет собой набор ВТСП лент (до 100 слоев в стопке), помещенных во внешнее однородное поле или поле постоянного магнита. Толщина сверхпроводящих слоев равна 1 $\mu\text{м}$, диаметр – 4 - 12 мм. Расчетная геометрия системы представлена на рисунке 1.

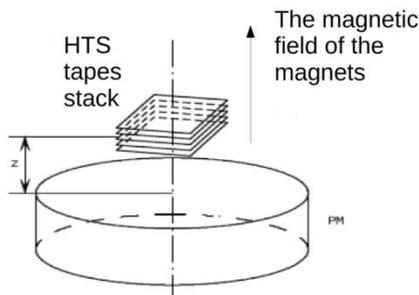


Рис.1. Геометрия исследуемой

В основе вычислений при моделировании используются уравнения Фарадея (1) и Ампера (2):

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{d\mathbf{B}}{dt} = \nabla \times \mathbf{E} + \frac{d(\mu_0 \mu_r \mathbf{H})}{dt} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (2)$$

Для выполнения расчетов в рамках модели применяется метод конечных элементов с использованием формы общих дифференциальных уравнений. Критическая плотность тока J_c определяется с помощью нелинейного степенного закона вольтамперной характеристики $\mathbf{E} = \rho \times \mathbf{J}$, где $\rho = \frac{E_c}{J_c} \cdot \left(\frac{|\mathbf{J}|}{J_c} \right)^{(n-1)}$, где $E_c = 1 \mu\text{В/см}$ [1]; зави-

симось критического тока от магнитного поля задается уравнени-

ем $J_c = \frac{J_{c0}}{(1+H/H_0)}$ в рамках модели Кима.

В качестве входных параметров использованы экспериментальные данные по измерениям критического тока ВТСП лент в широком интервале магнитных полей и температур.

В результате получены расчетные данные распределения магнитного поля и токов в системе, а также рассчитаны кривые намагничивания стопок лент в режиме охлаждения в нулевом поле (ZFC). Создание такой модели позволяет комплексно прогнозировать характеристики и поведение магнитной левитационной системы при изменении параметров: условий охлаждения, температуры, геометрии, режима намагничивания и т.д.

Литература.

1. Sirois F, Watson D R, Zhu W and Cave J R 2002 Development of a numerical method to determine the local E-J characteristics of anisotropic HTS from experimental V-I curves Adv. Cryo. Eng. 48B 1118–25B.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ И ТЕРМООТЖИГА НА СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНО-ПЛЕНОК CdS, ОСАЖДЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ДИСКРЕТНОГО ИСПАРЕНИЯ

Ахоян Л.А.¹, Геворкян В.А.¹, Мангасарян Н.Р.¹, Гладышев П.П.²

- 1) *Российско-Армянский (Славянский) университет, Армения*
- 2) *Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Россия*
Тел.: (+37477)310212, e-mail: hakhlev@mail.ru

Гибкие солнечные элементы (СЭ) на полимерных подложках представляют большой практический интерес для применения на космических аппаратах, поскольку они имеют высокое отношение электрической мощности к весу. Не малый интерес представляют гибкие СЭ и для наземного применения, поскольку они могут быть легко интегрированы на поверхности с различными формами. Одним из основных материалов, используемый при создании гибких СЭ на основе CdTe и CuInSe₂ является CdS. Одним из перспективных методов получения пленок CdS является метод термического испарения в вакууме [1] и его разновидность - метод вакуумного дискретного испарения (ДИ) [2], обеспечивающий стехиометрический состав получаемых пленок. Однако, очень ограниченное количество работ посвящено получению этим методом пленок CdS и исследованию их характеристик.

Целью данной работы было: а) усовершенствование установки вакуумного ДИ, применительно для осаждения пленок CdS, б) разработка методики получения пленок CdS и в) исследование влияния температуры подложки и термоотжига на структурные, морфологические и оптические характеристики полученных наноструктурированных пленок CdS.

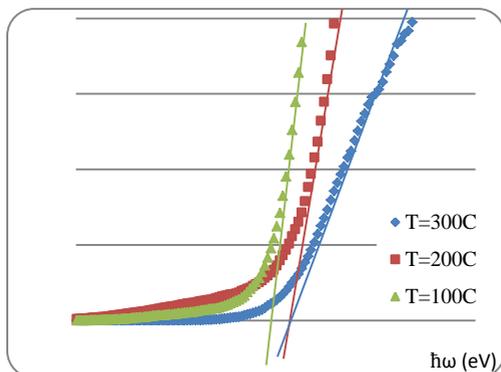


Рис. 1. График зависимости $(6\hbar\omega)^2$ от энергии фотонов ($\hbar\omega$) для пленок CdS, осажденных при 100°C , 200°C и 300°C температурах подложки

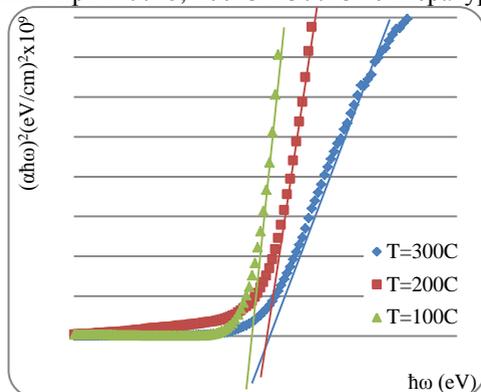


Рис. 2. График зависимости $(6\hbar\omega)^2$ от энергии фотонов ($\hbar\omega$) для пленок CdS осажденных при 100°C , 200°C и 300°C температурах подложки после отжига

В данной работе методом вакуумного ДИ были получены нано-пленки CdS при температурах подложки 100°C , 200°C и 300°C . Рентгеновские исследования показали, что у всех пленок наблюдается один резкий пик при $2\theta \approx 26.50$, который может быть отнесен к плоскости (002) гексагональной структуры. Было обнаружено, что интенсивность дифракционного пика (002) увеличивается с уменьшением температуры подложки. Из рентгеновских измерений рассчитан средний размер зерна, который составляет около 30 нм и слабо зависит от температуры

подложки. Установлено, что после 30 минутного отжига при 4000С интенсивность дифракционного пика (002) значительно возрастает а средний размер зерна увеличивается на 5-10%. Результаты оптических измерений показали, что пленки, полученные при температурах подложки 2000С и 3000С имеют ширину запрещенной зоны 2.42eV (рис. 1, 2). АСМ исследования показали, что шероховатость и морфология поверхности пленок меняются незначительно как при изменении температуры подложки, так и после отжига (рис. 3, 4).

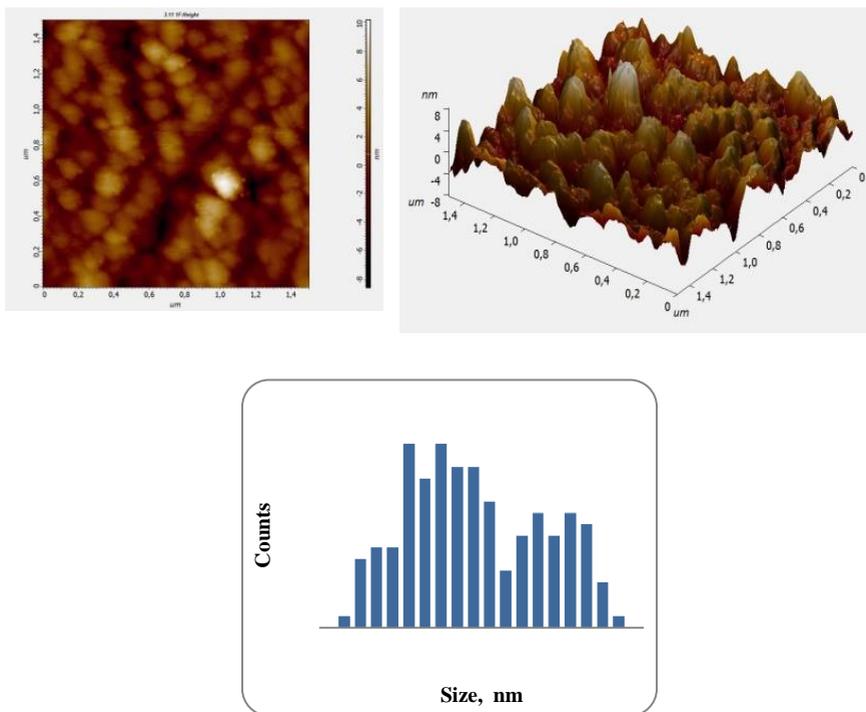


Рис. 3. Типичные АСМ изображения и распределение размера зерен в тонких пленках CdS, осажденных при 100⁰С.

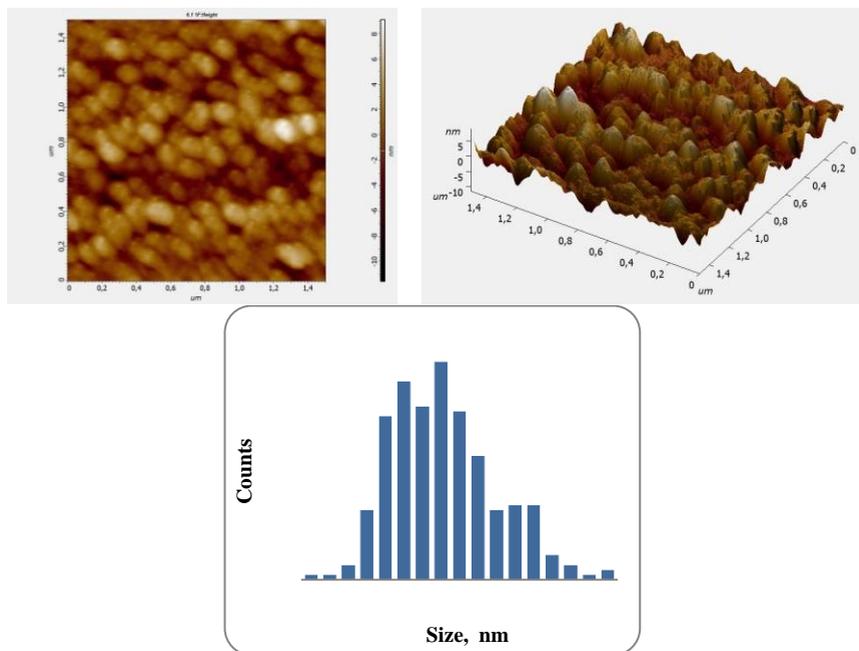


Рис.4. Типичные АСМ изображения и распределение размера зерен CdS тонких пленок, осажденных при 100°C (после отжига)

Литература

- [1] F. Iacomì, M. Purica, E. Budianu, P. Prepelita, D. Macovei. *Thin Solid Films*, 372, 6080, (2007).
- [2] N. M. Shah, J. R. Ray, V. A. Kheraj, M. S. Desai, C. J. Panchai. *J. Mater. Sci.*, 44, (2009), pp 316-322.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕСКОНТАКТНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Безотосный П.И., Гаврилкин С.Ю., Иваненко О.М., Мицен К.В., Цветков А.Ю.

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
+7 (499) 132-67-67, bezpi@sci.lebedev.ru*

Одним из важных параметров описывающих сверхпроводящее состояние материала является лондоновская глубина проникновения магнитного поля λ . Определение λ является актуальной задачей, так как данный параметр характеризует, помимо макроскопических электродинамических свойств материала, микроскопические свойства сверхпроводящего конденсата, а также позволяет судить о величине и симметрии параметра порядка (в частности, см. [1]). Существует множество методик определения величины λ , однако большинство из них требуют применения сложного экспериментального оборудования (магнитометры, СВЧ-техника и др.). Поэтому разработка сравнительно простых и наглядных подходов, позволяющих решить эту задачу, представляет большой практический интерес.

Среди существующих методик определения λ отметим взаиминдукционный метод [2], при котором тонкая плёнка исследуемого материала помещается между двумя соосными катушками, при этом величина λ определяется по изменению их взаимной индуктивности. Однако количественный анализ результатов измерений затруднен из-за необходимости учёта многих параметров, характеризующих индуктивные связи как между каждой из катушек и образцом, так и между самими катушками.

Данная работа, посвящена моделированию линейного отклика сверхпроводящей плёнки на локальное низкочастотное синусоидальное магнитное поле, создаваемое измерительной катушкой, размещенной в непосредственной близости от образца. Для приёма сигнала отклика используется та же самая катушка, что позволяет минимизировать число параметров связи. Рассматривается ситуация, когда плотность индуцированных токов много меньше критической. Разработан аналитический подход к определению измене-

ния индуктивности катушки ΔL в зависимости от величины λ и толщины образца d . Расчётные зависимости $\Delta L(\lambda)$ представлены на рисунке (Рис. 1).

Данная работа является продолжением и развитием нелинейной индукционной методики, в рамках которой возможно определение критического тока и вольтамперной характеристики сверхпроводящих пленок и лент [3,4].

В заключении стоит отметить, что предложенная в работе модель при определенном развитии может быть применима не только для сверхпроводников, но и для других видов проводников и проводящих сред. Такого рода развитие может быть полезно для развития бесконтактных методов анализа различных проводящих материалов и сред, что имеет свое практическое применение на сегодняшний день.

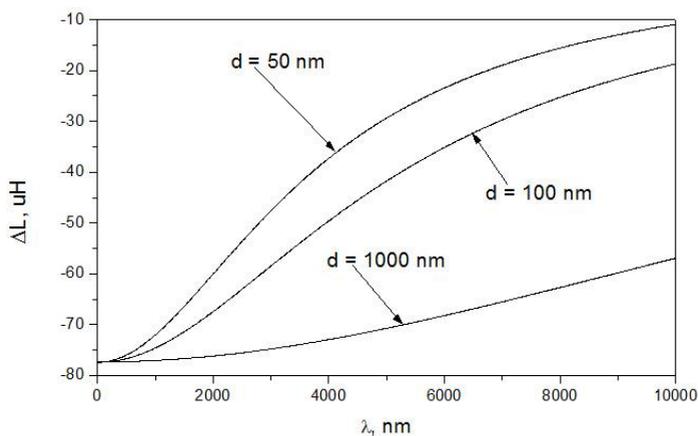


Рис. 1. Изменение индуктивности катушки, помещенной у поверхности сверхпроводящей пленки, ΔL в зависимости от величины λ пленки для различных толщин образца d

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-32-00586).

Литература

1. Jie Yong, S. Lee, J. Jiang et al. «Superfluid density measurements of $\text{Ba}(\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x})_2\text{As}_2$ films near optimal doping». *Phys. Rev. B.* **83**. 104510 (2011).

2. A. T. Fiory, A. F. Hebard, P. M. Mankiewich et al. «Penetration depths of high T_c films measured by twocoil mutualinductances». *Appl. Phys. Lett.* **52**. 2165 (1988).

3. С.Ю. Гаврилкин, О.М. Иваненко, К.В. Мицен и др. «Нелинейная индукционная методика контроля качества тонкоплёночных сверхпроводниковых структур». *КСФ ФИАН № 2*. С. 26-35 (2014).

4. С.Ю. Гаврилкин, О.М. Иваненко, К.В. Мицен и др. «Бесконтактная методика контроля качества ВТСП плёнок и лент». Сборник трудов 2-й Национальной конференции по прикладной сверхпроводимости НКПС-2013 (электронное издание). С. 123-129 (2014).

ФРУСТРИРОВАННЫЙ МАГНЕТИК $\text{Ni}_3(\text{VO}_3)_2$: ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Болдырев К.Н.¹, Молчанова А.Д.¹, Писарев Р.В.², Каменский Д.³

¹*Институт спектроскопии РАН, Москва, Россия*

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, РАН,
Санкт-Петербург, Россия*

³*High Field Magnetic Laboratory, Radboud University, Nijmegen,
The Netherlands*

+7(495)8340235, kn.boldyrev@gmail.com

Ортоборат никеля $\text{Ni}_3(\text{VO}_3)_2$ кристаллизуется в орторомбической системе (пр. гр. $Pnnt$ (#58), точечная группа симметрии mmm (D_{2h})) и обладает структурой природного минерала котонита. Ионы Ni^{2+} расположены внутри кислородных октаэдров $[\text{NiO}_6]$ и занимают две различные позиции $2a$ и $4f$, формируя две магнитные подсистемы. Обе подсистемы никеля испытывают магнитное упорядочение при температуре $T_N = 46$ К [1]. Вычисление обменных интегралов в рамках простой косвенной модели взаимодействия показало конкуренцию между ферромагнитными и антиферромагнитными обменными взаимодействиями [1]. Наличие этой конкуренции, а также фрустрированных магнитных взаимодействий приводит к появлению интересных магнитных особенностей и фазовых переходов. Ранее по исследованию нейтронного рассеяния в $\text{Ni}_3(\text{VO}_3)_2$ и изоструктурном соединении $\text{Co}_3(\text{VO}_3)_2$ было обнаружено удвоение периода магнитной решётки вдоль двух кристаллографических направлений [2, 3]. Однако в недавней работе [4], посвященной исследованию динамики решетки $\text{Ni}_3(\text{VO}_3)_2$, было показано, что кроме антиферромагнитного упорядочения, при той же температуре T_N наблюдается структурный фазовый переход, связанный с удвоением уже кристаллической ячейки данного соединения, что проявлялось в «складывании» зоны Бриллюэна и появлении в спектре фононных линий, соответствующих краю зоны.

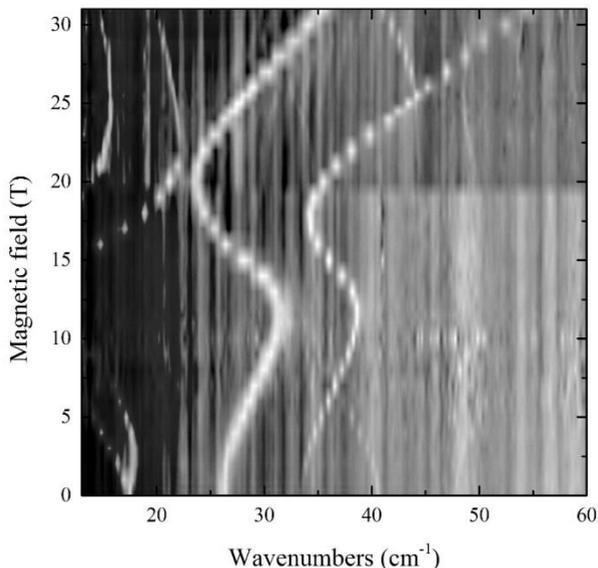


Рис.1. Зависимость терагерцового спектра пропускания монокристалла $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ от внешнего магнитного поля при $T = 1.5 \text{ K}$ (глубина цвета показывает интенсивность поглощения).

В данной работе представлено исследование спектров пропускания поляризованного терагерцового излучения ($10 - 60 \text{ cm}^{-1}$) через монокристалл $\text{Ni}_3(\text{BO}_3)_2$ в широком диапазоне температур $1.5 - 300 \text{ K}$ в постоянных магнитных полях напряженностью до 32 T . В нулевом магнитном поле ниже температуры T_N наблюдался ряд особенностей, которые были интерпретированы как одномагнитные возбуждения. Они имели четкие поляризационные и температурные зависимости, что подтверждает сильно анизотропную природу спиновых возбуждений. Приложение внешнего магнитного поля (см. Рис. 1) показало, что частоты магнитных возбуждений сильно меняются в поле, и их поведение имеет нелинейный характер в зависимости от величины поля. Данное наблюдение может указывать на взаимодействие магнитных мод друг с другом (спин-спиновое взаимодействие). Кроме того, в сильных магнитных полях ($>10 \text{ T}$) наблюдается поведение магнитных мод, указывающее на фазовый переход типа «спин-флоп».

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 16-12-10456 (Р.В.П.), РФФИ №15-32-20613 (К.Н.Б., А.Д.М.) и гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых (МК-3521-2015.2).

Литература

1. L.N. Bezmaternykh, S.N. Sofronova, N.V. Volkov, et al. *Phys. Stat. Solidi B*. V.249. P.1628. (2012).
2. R. E. Newnham M. J. Redman, P. Santoro. *Z. Kristallogr.* V.121. P.418. (1965).
3. R. E. Newnham, R. P. Santoro, P. F. Seal, G. R. Sallings. *Phys. Status Solidi*. V.16. P.K17. (1966).
4. R. V. Pisarev, M. A. Prosnikov, V. Yu. Davydov, A. N. Smirnov, E. M. Roginskii, K. N. Boldyrev, A. D. Molchanova, and M. N. Popova, M. B. Smirnov, V. Yu. Kazimirov. *Phys. Rev. B*. V.93. P.134306. (2016).

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ АКТИВНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ПОРАХ ОПАЛОВОЙ МАТРИЦЫ

Брынза Н.П., Моисеенко В.Н.

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара,
49010, Днепропетровск
+380932517443, kolanich@gmail.com*

Создание и исследование оптических свойств новых материалов на основе синтетических опалов и кристаллов активных диэлектриков представляет фундаментальный интерес как с точки зрения оптики фотонных кристаллов так и физики низкоразмерных систем. Особый интерес с практической точки зрения вызывают 3D-периодические структуры нанокристаллов активных диэлектриков, обладающих одновременно нелинейно-оптическими и фотонно-кристаллическими свойствами, а значит, и новыми возможностями управления световыми потоками.

Целью настоящей работы было изготовление, характеристика и исследование влияния фазового состава вещества в порах опала, размерных и фотонно-кристаллических эффектов на колебательные спектры трехмерных регулярных наноструктур опал - Vi_2TeO_5 .

Кристаллы Vi_2TeO_5 (ВТО) обладают уникальным набором нелинейно-оптических свойств [1].

Объемные синтетические опалы были выращены методом медленной кристаллизации монодисперсного коллоидного раствора глобул $\alpha\text{-SiO}_2$, синтезированных модифицированным методом Штёбера [2]. Для различных образцов значения диаметра и межплоскостного расстояния варьировались в пределах $D = 295 - 306\text{нм}$, $d = 241 - 250\text{нм}$. Заполнение пор образцов проводилось путем их пропитки расплавом монокристалла Vi_2TeO_5 (содержание Vi_2O_3 в шихте $x = 0.47$) под действием капиллярных сил. Факт вхождения диэлектрика в поры фотонного кристалла регистрировался по смещению максимума полосы брэгговского отражения от плоскости (111) в длинноволновую область вследствие увеличения значения ε_{eff} . Степень заполнения пор опала ВТО, рассчитанная по

значению смещения максимума λ_m полосы отражения, составила ~ 85 объемных %.

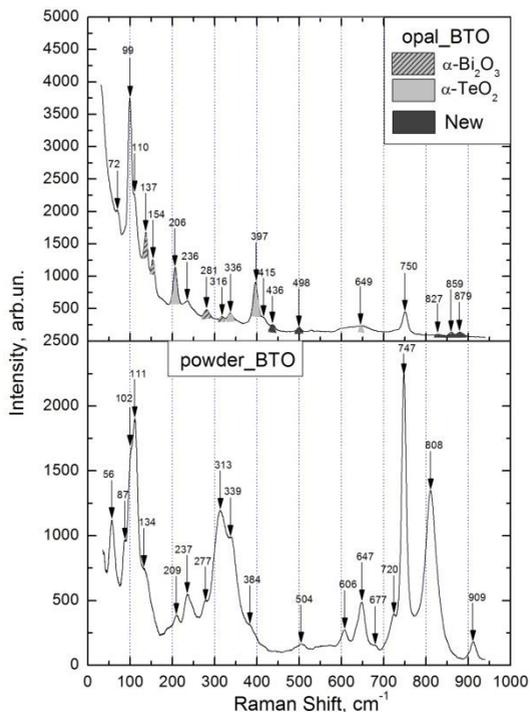


Рис. Спектр КРС нанокompозита опал – Bi_2TeO_5 в сравнении со спектром поликристаллического порошка Bi_2TeO_5

Регистрация спектров комбинационного рассеяния света (КРС) осуществлялась в геометрии «на отражение» от плоскости (111) образца с помощью модифицированного лазерного спектрометра на основе двойного монохроматора ДФС-12. Спектры возбуждались непрерывным многомодовым излучением твердотельного лазера с диодной накачкой на длине волны 532 нм мощностью 120 мВт. Сигнал регистрировался фотоэлектрическим умножителем ФЭУ-79, охлаждаемым до -40°C с помощью термоэлектрической батареи, в режиме счёта фотонов с накоплением.

На рисунке представлены результаты сравнения спектров КРС, для поликристаллического порошка Bi_2TeO_5 и нанокompозита опал – ВТО. Как видно из рисунка спектры нанокompозита опал – ВТО существенно отличаются от спектров порошка: наблюдаются полосы, характерные для α -фаз Bi_2O_3 и TeO_2 , а также появляются новые полосы.

На основе анализа спектров КРС полученных образцов установлено, что вещество в порах опала находится в нанокристаллическом состоянии, при этом количество нанокристаллов в поре размером ~ 70 нм и их структура оказываются чувствительными к режиму кристаллизации. Изменения в спектрах КРС композитов опал - Bi_2TeO_5 по сравнению со спектрами поликристаллического порошка и монокристалла могут быть обусловлены изменением длин связей $\text{Bi} - \text{O}$ и $\text{Te} - \text{O}$ в процессе нанокристаллизации в порах опала, а также образованием новых связей и структур на границе раздела расплав - поверхность глобулы SiO_2 .

Литература

1. I. Földvári, C. Denz, Á. Péter, J. Petter, F. Visinka «Bismuth tellurite — a new material for holographic memory» Opt. Commun. V.177. P.105-109 (2000).
2. W. Stöber, A. Fink, E. Bohn. «Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range». J. Colloid Interface Sci. V.26. P.62-69 (1968).

ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НА МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОКСИДА ГРАФЕНА

Бурцева Е.К.¹, Неустроев Е.П.²

*^{1,2} Северо-Восточный федеральный университет, Якутск
+79248680254, burtseva94@mail.ru*

В данной работе исследуется электропроводность частично восстановленного оксида графена.[1] В качестве исходного сырья для получения суспензии оксида графена использовали графит фирмы Sigma Aldrich. Суспензии ОГ были подвергнуты ультразвуковой обработке и центрифугированию. Термообработки для восстановления были выполнены в диапазоне температур от 200 до 350⁰С длительностью до нескольких часов в атмосфере аргона. Измерения вольтамперных характеристик были выполнены двухзондовым методом в интервале температур от 100⁰ К до 300⁰ К. Вольтамперные характеристики (ВАХ) ОГ были измерены в диапазоне напряжений от -10 до +10 В после восстановления в интервале температур от 100 до 300⁰ К. ВАХ для исследованных образцов имели линейный вид (рис.2).

Линейная зависимость R(T) в области от 160-180⁰ К и выше описывается зависимостью Аррениуса:

$$R = R_0 \exp \frac{E_a}{kT} \quad (1)$$

Из наклона ВАХ на этом участке определены энергии активации E_a, значения которых находились в диапазоне от 0,30 до 0,12 эВ.

Зависимость сопротивления от температуры в этом случае описывается уравнением [2]:

$$R = R_0 \exp \left(\frac{T_0}{T} \right)^m, \quad (2)$$

где *m* равен 1/2 соответствует механизму электропроводности Эфроса-Шкловского, 1/3 для двумерных структур (2D) и 1/4 – для трехмерных структур (3D), T₀ – характеристическая температура.

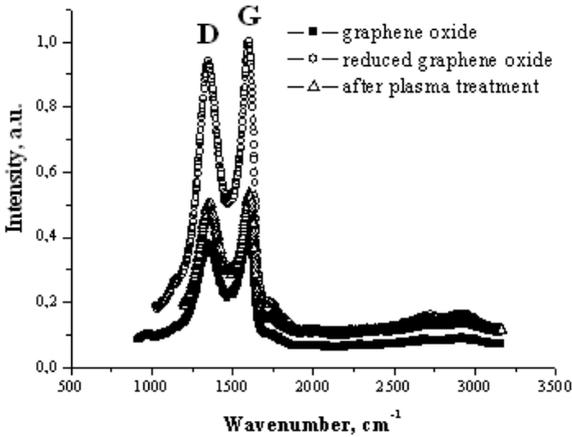


Рис.1 Спектры комбинационного рассеяния ОГ для образца OG-1 до и после восстановления в атмосфере аргона при температуре 250⁰ С длительностью 30 минут и после обработки в плазме Ag:O длительностью 1 мин.

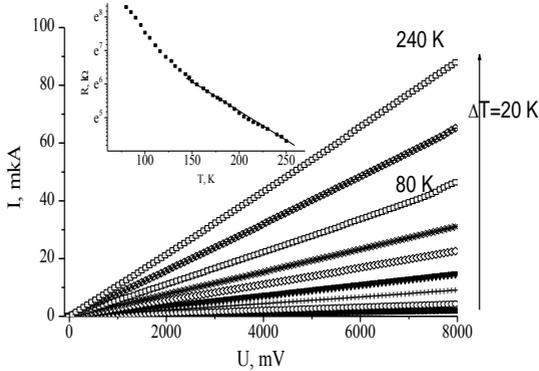


Рис. 2 График зависимости сопротивления от температуры, при понижении T на пластинке оксида графена от 80⁰ К до 250⁰ К (OG-2).

Для получения более детальной информации о механизме проводимости при температурах ниже 225 К использован метод анализа безразмерной дифференциальной энергии активации сопротивления $w(T)=\partial \ln R(T)/\partial \ln T$, где $\ln w(T)= A-m \ln T$ [3], где $m=1/n$, R – со-

противление образца, T - температура и A - постоянная. Из тангенса угла наклона зависимости $\ln w(T)$ от $\ln T$ определены показатели m . На рисунке 3 показано изменение значения m в зависимости от условий обработки для образца OG-1. Исходное значение m после отжига длительностью 2 ч при температуре 250°C составляло примерно 0,3. Отжиг после плазмохимического травления приводит к уменьшению значения m с выходом на насыщение в окрестности 0,3-0,4 с увеличением времени восстановления (рис.4).

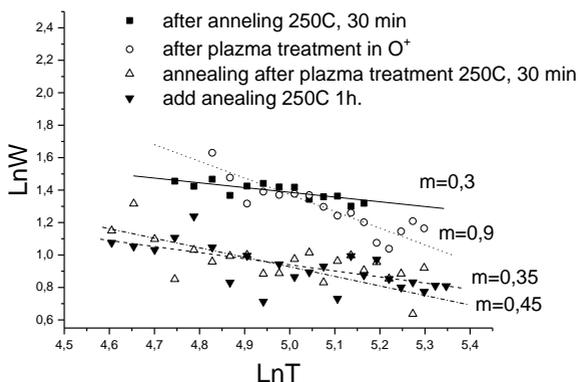


Рис.3 Зависимости логарифмической производной $w(T)=\partial \ln R(T)/\partial \ln T$ от температуры для образца OG-1.

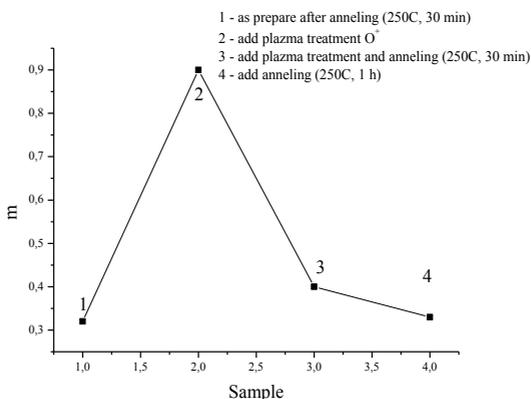


Рис.4 Изменение показателя m в зависимости от условий обработки.

Список литературы

1. Александров Г.Н., Смагулова С.А., Капитонов А.Н., Васильева Ф.Д., Куркина И.И., Винокуров П.В., Тимофеев В.Б., Антонова И.В. Тонкие частично восстановленные оксид-графеновые пленки: структурные, оптические и электрические свойства// Российские нанотехнологии, 2014. - Т.9. - № 5-6. - с. 18-22.
2. Joung D., Khondaker S.I. Efros-Shklovskii variable-range hopping in reduced graphene oxide sheets of varying carbon sp^2 fraction// Physical Review D. - 2012. –Vol.86. - P.235423(1-8).
3. Zabrodskii A. G., Zinov'eva K. N. Low-temperature conductivity and metal-insulator transition in compensate n-Ge. Sov. Phys. JETP. – 1984. - Vol. 59. - № 2. - P.425-433.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В РЕЛАКСОРЕ $\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ИЗ АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДИФФУЗНОГО РАССЕЯНИЯ

Ванина П.Ю.¹, Босак А.А.², Борисов С.А.³, Набережнов А.А.^{1,3}

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург*

²*European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble*

³*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург
8-967-511-55-42, p.yu.vanina@gmail.com*

Кристаллы твердых растворов $\text{Sr}_x\text{Ba}_{(1-x)}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN $_x$, $0,2 < x < 0,8$) относятся к классу одноосных сегнетоэлектриков релаксоров. При температурах, зависящих от соотношения Sr/Ba, эти кристаллы претерпевают размытый переход ($P4bm \rightarrow P4b2$).

Исследованы особенности температурного поведения диффузного рассеяния нейтронов и синхротронного излучения в монокристалле одноосного релаксора $\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN60). Данная концентрация представляет интерес, поскольку, во-первых, начиная с этой концентрации, SBN становится релаксором, а, во-вторых, до сих пор нет четкого понимания микроскопического механизма явлений, ответственных за релаксорные свойства этого материала.

Целью работы являлось получение информации о локальном упорядочении и пространственной организации критических флуктуаций в монокристалле стронций-бариевого ниобата в окрестности фазового перехода. Для этого была исследована температурная эволюция диффузного рассеяния нейтронов (Helmholtz Zentrum Berlin, Germany, Flat-Cone diffractometer E2) на монокристалле SBN-60 в двух режимах: в нулевом и внешнем электрическом поле (~ 3 кВ/см) в температурном диапазоне - от 390 К до 210 К (Рис.1).

Решение данных задач позволяет прояснить микроскопические механизмы образования сегнетоэлектрических флуктуаций в критической области, как в нулевом поле, так и в различных режимах приложения внешнего электрического поля. Такая информация необходима для построения адекватных теоретических моделей,

описывающих поведение сегнетоэлектриков релаксоров такого типа в области фазового перехода.

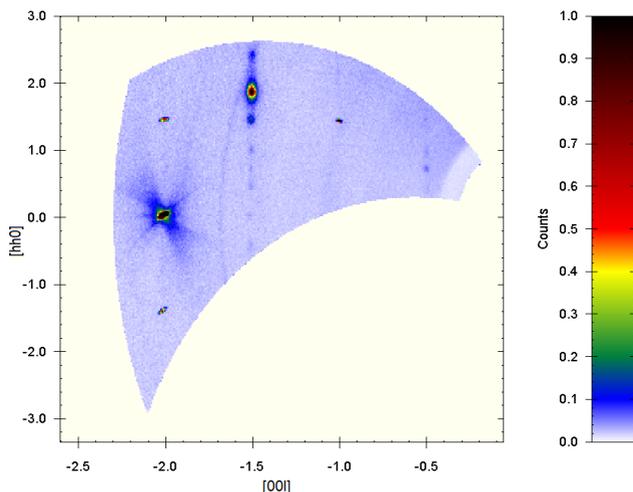


Рис. 1 Распределение интенсивности диффузного рассеяния нейтронов вблизи узла обратной решетки (002) в монокристалле SBN60 при температуре 210 К в электрическом поле.

Анализ диффузного рассеяния синхротронного излучения (European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France) показал, что при комнатной температуре существует две компоненты – рассеяние на сегнетофлуктуациях (описывается лоренцианом), и рассеяние на конфигурационных флуктуациях (описывается квадратичным лоренцианом).

Каждой из компонент соответствуют две различные корреляционные длины в направлениях [110] и [001]: для первой компоненты – $\xi_{[110]} \sim 10$ нм и $\xi_{[001]} \sim 15$ нм, для второй компоненты – $\xi_{[110]} \sim 3$ нм и $\xi_{[001]} \sim 25$ нм. Полученные величины согласуются со значением корреляционной длины, полученной по результатам нейтронных исследований ($\xi_{[001]} = \xi_{\text{crit}} = 27(3)$ нм). Ниже температуры перехода ($T_C = 340.5(12)$ К) происходит ”замерзание“ корреляционной длины на указанном значении.

Также были установлены значения критических индексов в левом приложенном электрическом поле, они составляют: $\nu =$

0.67(2), $\gamma = 1.33(17)$. Для них выполняется скэйлинговое соотношение $\gamma = (2 - \eta) \cdot \nu$ с параметром Фишера $\eta = 0$, что в свою очередь свидетельствует о справедливости в данном случае модели полярных нанокластеров в неполярной матрице.

В настоящий момент обработка и анализ полученных данных продолжаются.

ТАУТОМЕРИЯ ДИФИЛЬНОГО β -ДИКЕТОНА В РАСТВОРЕ И МОНОСЛОЕ ЛЕНГМЮРА

Васильев В.Е., Девтерова Ю.М., Степаниденко Е.А., Ляшенко М.С., Островский С.С., Куликов Н.Д., Репина И.Н., Соколов М.Е.

ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, г. Краснодар
+7 (918) 081-04-24., yaira95@gmail.com

На сегодняшний день β -дикетоны являются одними из наиболее хорошо изученных классов органических лигандных систем, вследствие их способности образовывать устойчивые координационные соединения с d- и f-металлами. При этом возможность различных структурных модификации молекул простейших β -дикетонов показывает широкие перспективы применения их в качестве объектов построения супрамолекулярных ансамблей [1]. В данном контексте, особый интерес вызывают амфифильные β -дикетоны и их комплексные соединения (КС) с редкоземельными элементами (РЗЭ), вследствие возможности получения на их основе тонкоплочных 2D - упорядоченных материалов. Данные структуры могут найти применение в качестве хемосенсоров, светочувствительных сенсоров, фотодиодов и др. Процесс комплексообразования β - дикетонов существенно зависит от их кислотно - основных свойств, на которые в свою очередь влияют строение молекулы лиганда, природа растворителя и значение pH раствора [2]. Таким образом целью работы являлось изучение процессов кето - енольной таутомерии и депротонирования молекул дифильного β -дикетона – гексадецилацетоацетата (L) (Рис. 1).

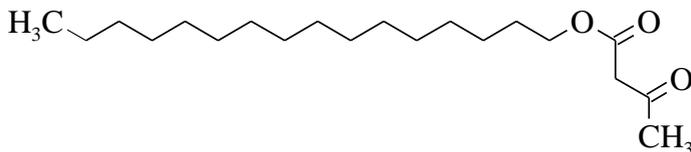
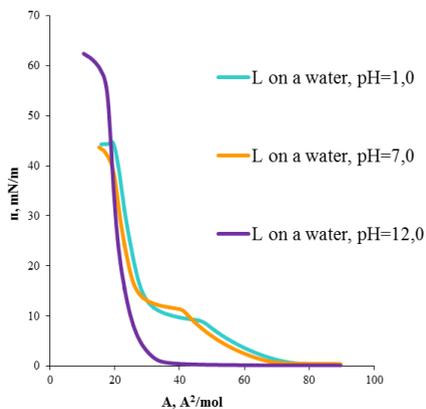
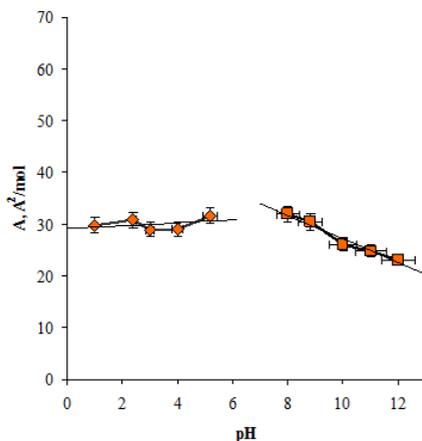


Рис.1. Структурная формула гексадецилацетоацетата



а)



б)

Рис.2. а) Изотермы сжатия монослоев L при различных значениях

В зависимости от значения pH среды растворов молекулы β-дикетонов могут существовать в двух основных таутомерных формах: дикетонной и енольной. Кроме того, в сильнощелочных средах образуется депротонированная форма β-дикетона. Поглощение молекул дикетонной формы L, по данным электронного спектра в УФ-области незначительно. Наблюдаемое интенсивное электронное поглощение в области 260 нм при низких и средних значениях pH характеризует присутствие в растворах как кетонной, так и енольной форм β-дикетона. Увеличение значения pH более ~ 10

приводит к росту концентрации депротонированной енольной формы, что отражается ростом максимума полосы поглощения при $\lambda \approx 273$ нм. Интенсивное поглощение в данной области связано с $\pi \rightarrow \pi^*$ переходами в $\beta\pi$ – электронной системе (O – C – C – C – O). Рассчитанное значение приближенной константы депротонирования L составляет $11,5 \pm 0,1$.

На рис. 2а представлены изотермы сжатия монослоев Ленгмюра L записанные на субфазах с различным значением pH. Основной характеристикой анализа изотерм сжатия являлась площадь, приходящаяся на одну молекулу лиганда в монослое – A.

Видно, что изменение значения pH водной субфазы оказывает существенное влияние на вид изотерм сжатия монослоев, что связано с процессами кето-енольной таутомерии и депротонирования молекул L. Анализ зависимости изменения площади, приходящейся на молекулу L в монослое от значения pH водной субфазы (Рис. 2б) позволяет предположить, что в диапазоне значений pH 1 - 5 в монослое преобладает дикетонная форма молекулы, от 5 до 8 – енольная, а при pH более 8 – депротонированная.

Работа была выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-03-32008 мол_a и 14-03-00830 А.

Литература:

1. Bray D. J., Clegg J.K., Lindoy L.F., Schilter D. Self-assembled metallo-supramolecular systems incorporating β -diketone motifs as structural elements // *Advances in inorganic chemistry*. 2007. V. 59. P. 1-37.
2. Нейланд О.Я., Страдынь Я.П., Силиньш Э.А. и др. Строеие и таутомерные превращения β -дикарбонильных соединений. Рига., 1977.

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СИСТЕМЫ 11

Власенко В.А.^{1,2}, Гаврилкин С.Ю.¹

¹Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук,
Москва

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

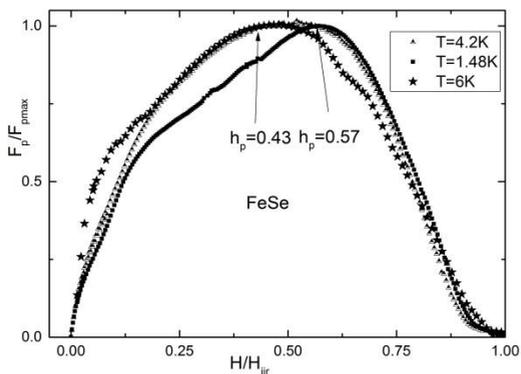
конт. тел. +7 499 132-66-93, e-mail: vlasenkovlad@gmail.com

Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) на основе железа пниктиды и халькогениды известны своими нетривиальными физическими свойствами. Халькогениды семейства 11 (FeSe) обладают простейшей структурой, малой анизотропией критических параметров и высокой критической температурой (T_c) достигающей в тонких пленках 100К [1]. В работе исследуются особенности пиннинга вихрей монокристаллов FeSe_x и легированных серой. Исследования монокристаллов $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0.04, 0.09$), FeSe ($R(T), I(V)$) проводились в полях до 14 Тл.

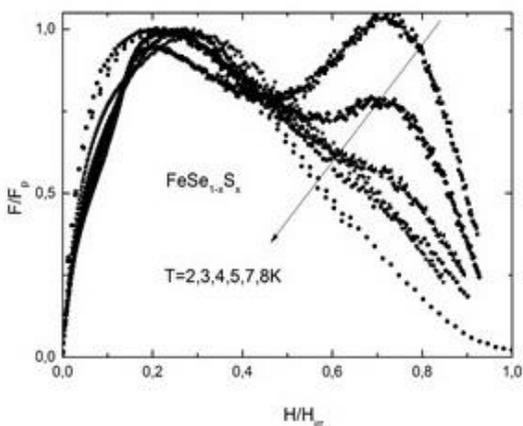
Известно, что тип и сила пиннинга (F_p) определяет поведение плотности критического тока (J_c). Одной из основных моделей, связывающих плотность тока с видом и размерностью дефектов, является качественная модель Дью-Хьюза (ДХ) [2]. Модель оценивает силу пиннинга вихрей (F_p , где $F_p = J_c * B$) как функцию положения пика максимума (h_p) кривой нормализованной силы пиннинга ($f = F_p/F_{p\max}$), к нормированному верхнему критическому полю ($h=H/H_{c2}$). Согласно модельному приближению, кривая скейлинга должна описываться выражением: $F_p / F_{p\max} = A * h^p (1-h)^q$, где A – параметр, p, q - подгоночные коэффициенты. В результате, если $h_p < 0.5$ преваляют сильные центры пиннинга, $h_p > 0.5$ – слабые или протяженные дефекты.

На Рис.1а представлена зависимость $f = F_p/F_{p\max}$ от $h=H/H_{c2}$ для монокристалла FeSe_x в интервале температур от 1.5 до 6К в ориентации поля $H//c$. Как видно из графика наблюдается скейлинг с широким куполом ($h_p=0.43-0.57$), что свидетельствует о наличии раз-

личных типов дефектов. При понижении температуры более ярко проявляется пик ($h_p = 0.57$), что можно интерпретировать согласно модельному представлению Дью-Хьюза доминированием более слабых центров пиннинга. На Рис.1б представлена аналогичная зависимость f от h для монокристалла $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0.09$) в интервале температур от 2 до 8К в ориентации поля $H/\text{с}$. На графике наблюдаются два характерных пика, что свидетельствует о наличии сильных точечных и слабых центрах пиннинга. Последние, в свою очередь, проявляются при понижении температуры ($T < 4\text{К}$), что указывает на существование механизма образования слабых центров пиннинга в высоких полях при низких температурах.



а)



б)

Рис.1. а) Зависимость h от f для монокристалла FeSe , б) для монокристалла $\text{FeSe}_{0.081}\text{S}_{0.09}$

Полученные результаты указывают на возможность сосуществования и конкуренции различных механизмов пиннинга вихрей в сверхпроводящих соединениях $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$, вследствие, возникающих при легировании серой дефектов. В родительском соединении FeSe_x , данный эффект менее выражен. В монокристаллах $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ также наблюдается пик эффект. Транспортные измерения показывают быстрое насыщение J_c при снижении температуры ниже 4К.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (16-32-00663) и проектом № МК-5699.2016.2.

Автор выражает благодарность Ельцеву Ю. Ф., Чарееву Д. А.

Литература

1. Jian-Feng Ge et al. Superconductivity above 100 K in single-layer FeSe films on doped SrTiO_3 // Nature Materials 14, 285-289 (2015).
2. Dew-Hughes D. Flux pinning mechanisms in type II superconductors // Phil. Mag. 30 293 (1974).

ПЛАНАРНЫЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ СО СВЕРХСИЛЬНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТОРОИДНЫМ ОТКЛИКОМ

Вольский Н.А.¹, Башарин А.А.¹

*¹Национальный исследовательский технологический университет «МИ-СиС», лаборатория «Сверхпроводящие метаматериалы», Москва
+7-967-081-10-21, nikitoriy@gmail.com*

В данной работе исследуется планарный метаматериал с тороидной топологией. Показано, что используемая структура является высокодобротным резонатором, с сильно концентрированным магнитным полем, благодаря тороидному отклику.

Тороидный отклик был впервые описан академиком Зельдовичем в 1958 году [1]. Он возникает в системах, где электрические токи текут по меридианам мысленного тора, порождая магнитный момент, движущийся по окружности, который, в свою очередь, порождает тороидный момент.

В последнее время тороидный момент начинают применять к метаматериалам - искусственно созданным периодическим структурам, имеющим электродинамические свойства, не встречающиеся в природе. Результатом этого может стать открытие новых интересных свойств материалов, и новые возможности в таких областях, как передача данных и квантовые компьютеры.

Предложенный метаматериал состоит из множества плоских высокодобротных резонаторов. Такая структура примечательна сверхсильной локализацией магнитного поля в центре метамолекулы. Оно порождает тороидный момент, как показано на рис. 1.

Было произведено моделирование методом конечных элементов. Предполагалось, что материал является идеальным проводником и облучается плоской волной. Размеры расчетного материала: внешний диаметр - 15 мм, внутренний - 10 мм. Получившаяся резонансная частота - 12.153 ГГц.

Чтобы доказать существование доминирующего тороидного отклика в нашем метаматериале было произведено мультипольное разложение [2]. При резонансной частоте наибольший вклад дают магнитный квадрупольный и тороидный моменты.

Также был проведен опыт в компактной безэховой камере собственного производства. Образец метаматериала был получен вытравливанием нужной структуры на печатной плате с медным покрытием. Из-за присутствия диэлектрической подложки, а также по причинам некоторых допущений при моделировании резонансная частота была обнаружена при 5.75 ГГц. Добротность реального метаматериала составила приблизительно 57000.



Рис. 1. Модель метамолекулы. М, Т - магнитный и тороидный моменты. К - направление распространения электромагнитной волны, Е и Н - электрическая и магнитная составляющие.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по программе повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров, грант К4-2015-031. Также мы выражаем благодарность компании Rohde&Schwarz (Россия) за предоставленный векторный анализатор цепей ZNC3. Научный руководитель – к.т.н. Башарин А.А

Литература

1. Y. B. Zel'dovich. "Electromagnetic Interaction with Parity Violation", Sov. Phys. JETP 6, 1184, (1958).
2. T. Kaelberer *et al.* Supporting online material for "Toroidal Dipolar Response in a Metamaterial", Science, Vol. 330, pp. 1510-1512, (2010)

ИЗМЕРЕНИЕ КОМПОНЕНТ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

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

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

Эффективность излучения и скорость деградации полупроводниковых светодиодов сильно зависят от температуры активной области кристалла (р-п-перехода). Параметром, определяющим температуру р-п-перехода в светодиоде, является тепловое сопротивление «переход – корпус», которое включает в себя несколько компонент, определяемых элементами конструкции светодиода, по которым распространяется тепловой поток

В стандартном методе измерения теплового сопротивления диодов (стандарт JESD51-1) используют воздействие на объект ступенчато изменяющейся греющей мощности и измерение отклика на это воздействие – температуры р-п-перехода в процессе нагрева объекта до достижения стационарного состояния. Температуру перехода $T(t)$ определяют на основе измерения температурочувствительного параметра, в качестве которого используют падение напряжения на диоде при малом прямом токе [2]. Анализ переходного температурного процесса $T(t)$ позволяет определить вклад отдельных элементов конструкции диода в общее тепловое сопротивление.

В качестве альтернативы используется метод [2], основанный на пропускании через светодиод ШИМ-импульсов греющего тока с гармоническим законом модуляции. Температура перехода $T(t)$ в этом случае изменяется аналогично греющей мощности – по гармоническому закону, но со сдвигом по фазе. Выполнив Фурье-преобразование массивов температуры $T(t)$ и греющей мощности $P(t)$ и вычислив Фурье-трансформанты их первых гармоник, можно определить модуль теплового импеданса Z_T и его фазу. Для определения компонент теплового импеданса производится измерение зависимости модуля теплового импеданса Z_T от частоты модуляции f греющей мощности. Компоненты теплового импеданса про-

являются в виде пологих участков или точек перегиба на спектральной зависимости $Z_T(f)$.

Для более точного определения компонент теплового импеданса диода производится процедура сглаживания зависимости $Z_T(f)$, вычисление производной dZ_T/df и построение зависимости $(dZ_T/df)^{-1}$ как функции от Z_T .

На рис. 1 показан результат такой обработки. Объектами измерения были светодиоды модели ELJ-830 производства Cree.

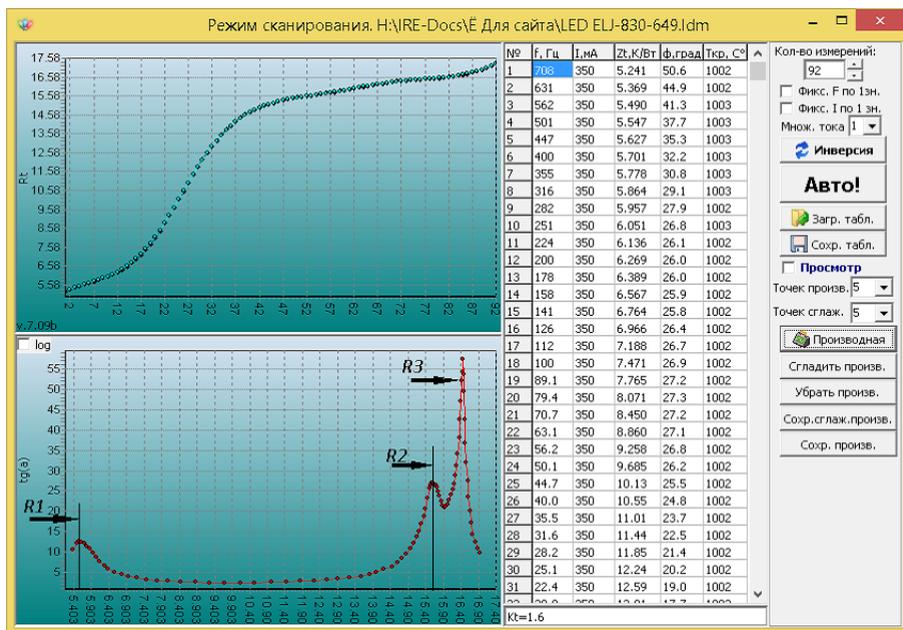


Рис. 1. Зависимость теплового импеданса от частоты и график зависимости $[dZ_T/df]^{-1}$ от Z_T

Значения компонент теплового сопротивления соответствуют положению максимумов на нижнем графике и соответствуют компонентам переход-кристаллодержатель (R1), переход-корпус (R2) и переход-радиатор (R3). Измерения проводились на экспериментальном измерителе теплового импеданса полупроводниковых приборов [4].

Литература

1. IC Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device) EIA/JEDEC JESD51-1 standard.– URL: <http://www.jedec.org/standards-documents/results/JESD51-1>
2. Патент 2402783 РФ, МПК G01 R 31/26. Способ измерения теплового импеданса полупроводниковых диодов / Сергеев В. А. Смирнов В.И., Юдин В. В. Гавриков А. А. – Выдан 04.08.09. Опубл. 27.10.10. Бюл. № 30
3. Смирнов В.И., Сергеев В.А., Гавриков А.А., Корунов Д.И. Аппаратно-программный комплекс для измерений тепловых характеристик полупроводниковых приборов // Приборы и техника эксперимента. – 2013. - № 1. С. 135-136
4. Измерение теплового сопротивления светодиодов, транзисторов и других полупроводниковых приборов.– URL: <http://mipust.ru/>

МЕЖПОДЗОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КВАНТОВОЙ ЯМЕ В КВАНТУЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Доан Т.Н.В.¹, Теленков М.П.^{1,2}, Митягин Ю.А.^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский технологический университет
“МИСиС”, Москва*

² *Физический институт им. Лебедева РАН, Москва*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Москва*

+79031848655, doanvinhdhv@gmail.com

Исследована структура спектров поглощения в системе из квантовых ям в квантующем магнитном поле произвольной ориентации. Получены аналитические выражения для коэффициентов поглощения для оптических переходов между уровнями Ландау различных подзон. Продемонстрировано нарушение правил отбора в структурах из квантовых ям с асимметричным потенциалом. Изучен характер перестройки спектра поглощения с изменением величины и ориентации магнитного поля.

Известно, что в случае магнитного поля перпендикулярного слоям структуры существует правило отбора $\Delta l = 0$ - это значит возможны только переходы между уровнями Ландау с одинаковыми номерами в подзонах [1]. Частота этого перехода, равная расстоянию между подзонами $\hbar\omega_0 = \varepsilon_f - \varepsilon_i$, не зависит от магнитного поля. Поэтому спектр поглощения нельзя перестраивать в этом случае. В наклонном же магнитном поле происходит смешивание размерного и магнитного квантования, и в результате правило отбора $\Delta l = 0$ может нарушаться [2,3], т.е. в наклонном магнитном поле возможны межподзонные переходы между уровнями Ландау с различными номерами.

В данной работе было получено аналитическое выражение для коэффициента поглощения на переходах между уровнями Ландау различных подзон. Было показано, что эффект нарушения правила отбора $\Delta l \neq 0$ определяется не только ориентацией магнитного поля, но и симметрией потенциала квантовой ямы.

В случае симметричной ямы правило отбора $\Delta l = 0$ практически не нарушается. Соответственно в спектре поглощения суще-

стует только одна линия. Положение пика линии, определяющее формулой $\hbar\omega_{res} = \varepsilon_{v_f} - \varepsilon_{v_i} + e^2 B_{\parallel}^2 \left(\langle z^2 \rangle_{v_f} - \langle z^2 \rangle_{v_i} \right) / 2m_w c^2$, зависит от компоненты B_{\parallel} и не зависит от компоненты B_{\perp} . Поэтому его можно изменять только посредством изменения компоненты B_{\parallel} (Рис. 1).

В случае несимметричной ямы – качественно другая ситуация – правило отбора $\Delta n = 0$ может существенным образом нарушаться. В результате в спектре поглощения возникают дополнительные линии, соответствующие переходам с $\Delta n \neq 0$. Для таких переходов положение пика линии зависит от ориентации и величины магнитного поля. Соответственно спектр поглощения можно перестраивать магнитным полем. При этом интенсивность этих переходов может существенно превышать интенсивность перехода с $\Delta n = 0$ (Рис. 2).

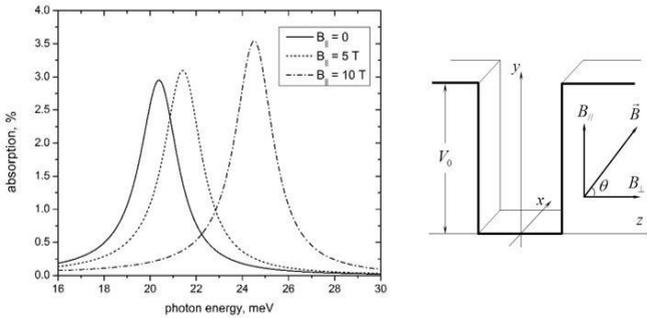


Рис.1. Поглощения в одиночной квантовой яме на переходе $(1,0) \rightarrow (2,0)$ при значениях B_{\parallel} в зависимости от энергии фотона

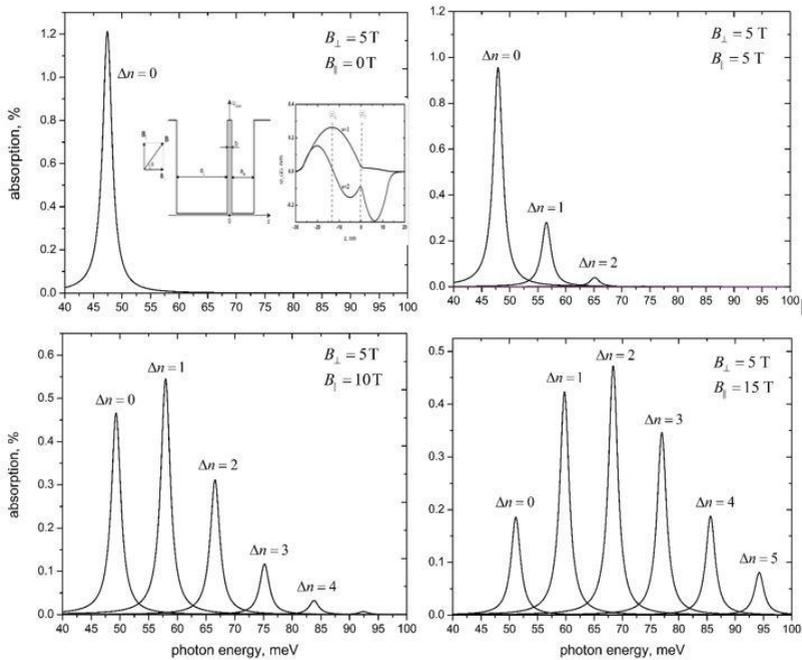


Рис.2. Спектры поглощения в асимметричной структуре на переходах $(1,0) \rightarrow (2,\Delta n)$ при фиксированной величине B_{\perp} и различных значениях

$$B_{\parallel}.$$

Литература

1. S. Zivanovic, et al, «Intraband absorption in semiconductor quantum wells in the presence of a perpendicular magnetic field», Phys. Rev. B 52, 8305 (1995).
2. M. P. Telenkov et al., «Intersubband terahertz transitions in Landau level system of cascade GaAs/AlGaAs quantum well structures in strong tilted magnetic field», Nanoscale Research Letters, 7, 491 (2012).
3. М.П. Теленков и др. «Динамика носителей и вынужденные излучательные переходы терагерцевого диапазона между уровнями Ландау в каскадных структурах из квантовых ям GaAs/AlGaAs», Физика твердого тела, 2040, том 55, вып. 10 (2013).

**АСИМПТОТИЧЕСКИ ТОЧНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РАСЧЕТА
ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ ФЕРМИ-СИСТЕМ*****Жумагулов Я.В., Кашурников В.А., Красавин А.В.****Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
тел. +7 915 1242332, e-mail: yaros72@live.com*

Расчет зонной структуры для достаточно больших систем без каких-либо приближений и упрощений является одной из основных задач физики конденсированного состояния. Восстановление спектральной плотности из известной функции Грина является задачей о решении интегрального уравнения Фредгольма первого рода. В реалистичной ситуации функция Грина известна на дискретном наборе времен с некоторой статистической ошибкой в каждой точке. Хорошо известно, что в этом случае задача принадлежит к классу некорректно поставленных задач. Поэтому естественно сформулировать проблему как поиск приближенного решения, которое воспроизводит функцию Грина на конечном наборе времен с некоторым наименьшим отклонением [1]. Настоящая работа представляет метод, основанный на комбинации алгоритмов Монте-Карло и градиентного спуска, который позволяет обойти проблему искажения решения нелинейными членами и подвергает анализу наиболее представительный интервал малых отклонений. Кроме того, метод не содержит источников систематических ошибок и, в принципе, позволяет восстановить любую спектральную функцию с требуемой точностью. При помощи данного метода была восстановлена плотность состояний для сверхпроводников на основе железа (Рис. 1). Метод эффективно работает также для металлических нанокластеров и многих других систем.

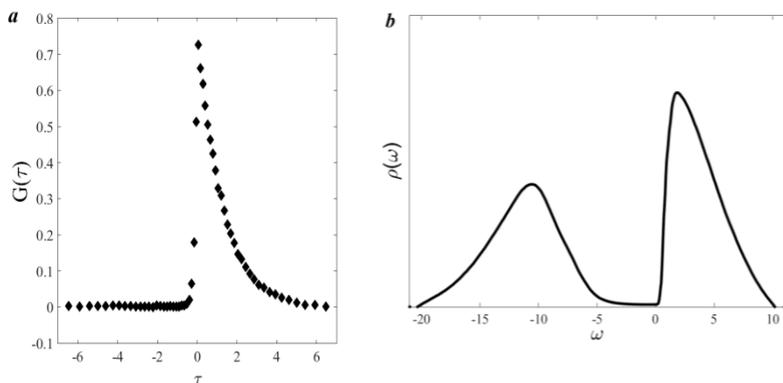


Рис. 1. Функция Грина, полученная с использованием квантового алгоритма Монте-Карло [2] (a); спектральная плотность, восстановленная с использованием комбинированного метода “алгоритм Монте-Карло + градиентный спуск” (b).

Литература

1. A.S. Mishchenko (2005), *Physics-Uspekh*, 48, 887.
2. V.A. Kashurnikov, A.V. Krasavin (2013), *JETP Lett.*, 97, 333.

РАЗРАБОТКА БЕТАВОЛЬТАИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ β -РАСПАДА ^{14}C С РЕСУРСОМ ДО 100 ЛЕТ ДЛЯ МЭМС

Заводов С.П.^{1,3}, Ченурнов В.И.^{1,2}, Кирпичев А.А.³

¹ ООО «БетаВольтаика», г. Самара

² СНИУ им. С.П. Королева, г. Самара

³ НИЯУ МИФИ, г. Москва

+7(985)687-90-79, zavodov.sp@gmail.com

Одним из направлений современной электроники является создание датчиков и микроэлектромеханических систем (МЭМС), которые являются микроразмерными устройствами, что подразумевает под собой и малое энергопотребление, и возможность использования данных приборов в труднодоступных местах: на удалении от жилых городов (датчики контроля), внутри сооружений (датчики мониторинга состояния зданий, управление) и внутри живых организмов (кардиостимуляторы). Условия эксплуатации и особенности конструкции датчиков требуют разработки новых источников для их питания: низковольтных, работающих бесперебойно на протяжении десятков лет. В нашем проекте мы предлагаем решить проблему с помощью создания бетавольтаического источника питания (батарейки) – автономного, миниатюрного и маломощного энергогенерирующего устройства с длительным ресурсом работы в сложных условиях эксплуатации для МЭМС.

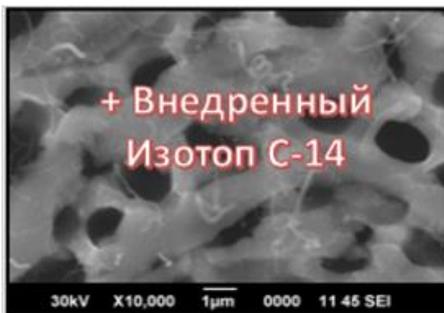
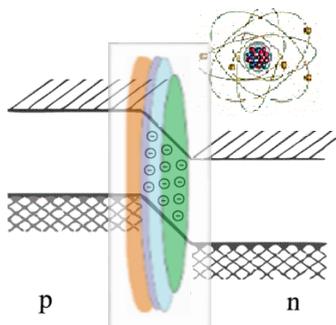
Применение технологии «бетавольтаики» в нанoeлектронике заключается в использовании β -излучающих изотопов, которые облучают потоками электронов/позитронов пористую гетероструктуру. В проекте задействована собственная технология получения пористой гетероструктуры карбида кремния на кремниевой подложке rog-SiC/Si – эндотаксии [1]. А также впервые будет использован углерод-14 в качестве топлива для батарейки.

Пористая структура карбида кремния rog-SiC/Si получается способом самоорганизующейся эндотаксии. В работе проводится моделирование соответствующей гетероструктуры. Преимущества предлагаемой технологии:

1) формирование карбидной пленки осуществляется при транспортировке атомов углерода потоком водорода;

2) с ростом пленки осуществляется процесс очистки подложки кремния, т.к. в процессе роста имеющиеся дислокации формируются перед фронтом роста новой фазы SiC и выполняют роль внутреннего геттера, на котором сорбируются дефекты примеси;

3) осуществляется управляемое легирование гомогенной фазы 3C-SiC.



Проект ориентирован на развитие ресурсо- и энергосберегающих технологий в микроэлектронике и микроэлектромеханических устройствах, например:

- «лаборатория на чипах» и медицинская коррекция функциональных отклонений сердечного ритма;
- встроенное программное сопровождение высокотехнологичной техники гражданского и военного назначения.
- труднодоступные и недоступные объекты техники, требующие периодического мониторинга физических величин или их отклонений.

Данная разработка в перспективе может стать уникальным продуктом на рынке. Был проведен анализ конкурентных продуктов на рынке:

Параметр анализа	Наш продукт, Самара	BetaBatt, США	ТПУ, Томск	Швейцарский университет
Топливо	C-14	Тритий	Ni-63	Тритий
Период полураспада топлива, лет	5730	12,5	100,1	12,5
Тип гетероструктуры	por-SiC/Si	por-SiC	GaAs	por-SiC
Технология изготовления гетероструктуры	эндотаксия	вытягивание слитка из расплава	эпитаксия	сублимация
Цена	\$500 - \$2000	\$1500 - \$3000	<i>tba</i>	\$1500 - \$3000

Литература

[1] Долгополов М.В., Чепурнов В.И., Гурская А.В., Подгорнов С.Н. Гетероструктура por-SiC/Si для прикладных целей // Международная конференция "\"Электроника - 2015\"", 2015г., С. 13.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ НУЛЕВЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В КРИСТАЛЛАХ

Замковская А.И.¹, Максимова Е.М.¹

¹*Крымский федеральный университет, Симферополь
+79789159094, trabem.z@gmail.com*

Все кристаллы анизотропны, т.е. их физические свойства (механические, электрические, магнитные, оптические и др.) зависят от направления в кристалле. Анизотропия свойств обусловлена периодическим расположением атомов в кристалле и связана с симметрией его кристаллической решетки. Математически анизотропные свойства обычно представляют в виде некоторой квадратной матрицы (тензора), включающей в себя полный набор всех компонент какого-либо свойства для разных направлений.

Для наглядного графического изображения анизотропии кристаллических свойств удобно использовать т.н. указательные поверхности. Радиус-векторы такой поверхности пропорциональны относительной величине свойства в данном направлении. Для практического применения кристаллов особенно важно определение направлений, в которых изучаемое свойство принимает нулевое значение.

В работе предлагается метод определения «нулевых» направлений с помощью 3D указательных поверхностей, построенных в пакете прикладных программ MathCad.

Вид и ориентация любой указательной поверхности зависит от симметрии кристалла в соответствии с кристаллофизическим принципом Неймана. Так, для кристаллов высшей категории указательная поверхность коэффициентов теплового расширения, образующих тензор второго ранга, имеет вид сферы, для средней категории – эллипсоида вращения, для низшей категории – трехосного эллипсоида [1].

Указательные поверхности теплового расширения кристаллов с отрицательными коэффициентами (кальцит, графит, гидроксипатит и др.) – это многополостные поверхности с положительными и отрицательными частями. Направления, не подверженные изменению линейных размеров при воздействии температуры, образуют

конусы нулевого теплового расширения. Рассмотрим указательную поверхность теплового расширения кристалла кальцита, рис.1.

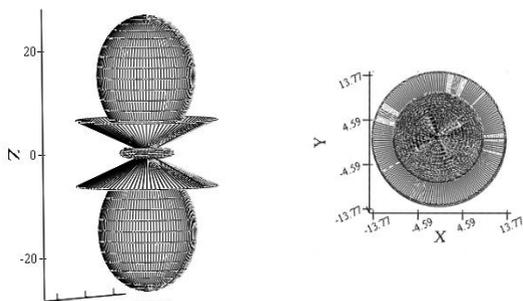


Рис.1. Указательная поверхность теплового расширения кристалла кальцита с конусом нулевого расширения и ее проекция на плоскость XOY

Симметрия конусов нулевого расширения зависит от симметрии кристаллов. Для кристаллов средней категории – это круговые конусы с предельной группой симметрии ∞m . В основании конусов нулевого расширения кристаллов низшей категории лежат эллипсы, группа симметрии таких конусов – $2m$.

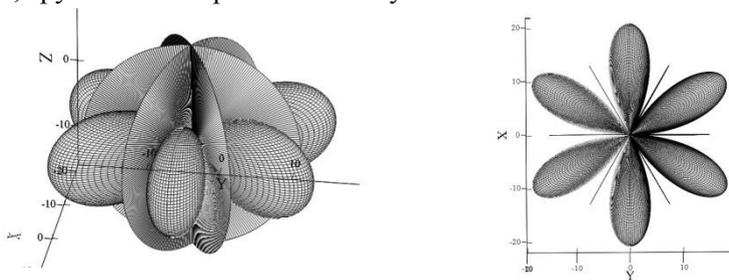


Рис.2. Указательная поверхность продольного пьезоэлектрического эффекта с направлениями нулевого эффекта кристалла кварца и ее проекция на плоскость XOY

Рассмотрим закономерности ориентации направлений нулевого продольного пьезоэлектрического эффекта (свойство описывается тензором третьего ранга) на примере кристалла кварца, который широко используется в технике для стабилизации и фильтрации

радиочастот, генерирования ультразвуковых колебаний и измерения механических величин, рис. 2.

Видно, что для получения максимального пьезоэффекта кристалл кварца надо растягивать или сжимать в направлении одной из полярных осей (осей симметрии 2-го порядка). Между этими осями расположены плоскости нулевого пьезоэлектрического эффекта. При сжатии (растяжении) вдоль направлений, лежащих в этих плоскостях, пьезоэффект в кристаллах кварца не наблюдается.

Таким образом, по форме указательных поверхностей можно определить направления, вдоль которых свойство принимает экстремальную величину.

Литература

1. Ю.И.Сиротин, М.П.Шаскольская. Основы кристаллофизики. (М.: Наука. 1979.)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ

Зубаирова А.А., Гончар К.А.

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, Москва, Россия
+7-(926)-208-70-20, zualsu@mail.ru*

Из-за своих уникальных оптических и электронных свойств кремниевые нанонити были и продолжают являться объектом обширных исследований и последующих применений в разнообразных областях. Они могут использоваться в сенсорике, опто- и микроэлектронике, фотовольтанике, при создании разнообразных детекторов и альтернативных источников энергии.

Кремниевые нанонити полученные методом металл-стимулированного химического травления проявляют такие замечательные свойства, как фотолюминесценция в видимом и инфракрасном диапазонах спектра [1], причем эффективность последней возрастает по сравнению с кристаллической подложкой, а также имеют довольно низкий коэффициент отражения в видимом диапазоне спектра [2]. Одним из недостатков данного метода является использование плавиковой кислоты, которая опасна для окружающей среды и человека в частности. Поэтому большой интерес представляет исследование возможности модификации метода металл-стимулированного химического травления с использованием зелёной химии при сохранении оптических свойств получаемых кремниевых нанонитей.

В данной работе разработана методика создания ансамблей кремниевых нанонитей с помощью зелёной химии. Были изучены их оптические свойства, а именно отражение света в широком спектральном диапазоне спектра, фотолюминесцентные свойства, а также комбинационное рассеяние света. Кроме того, полученные результаты были сравнены с данными, полученными ранее на образцах кремниевых нанонитей, сформированных стандартным методом металл-стимулированного химического травления с использованием плавиковой кислоты и сделан вывод о возможности за-

мены плавиковой кислоты на зелёную химию для создания кремниевых нанонитей.

Литература

1. V.Yu. Timoshenko, K.A. Gonchar, L.A. Golovan, A.I. Efimova, V.A. Sivakov, A. Dellith, S.H. Christiansen. «Photoluminescence and Raman scattering in arrays of silicon nanowires». *J. Nanoelectron. Optoelectron.* V.6. №4, P.519-524 (2011).

2. L.A. Osminkina, K.A. Gonchar, V.S. Marshov, K.V. Bunkov, D.V. Petrov, L.A. Golovan, V.A. Sivakov, V.Yu. Timoshenko. «Optical properties of silicon nanowire arrays formed by metal-assisted chemical etching: evidences for light localization effect». *Nanoscale Research Letters.* 7:524 (2012).

РАСЧЕТЫ АДсорбЦИИ, ДЕСорбЦИИ И ДИФфуЗИИ ХЛОРА НА ГРАНИ МЕДИ (110) НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

Канищева О.И.^{1,2}, Павлова Т.В.²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный

*²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
8 929 930 62 50, kanishcheva@phystech.edu*

Основной целью работы является установление механизма взаимодействия хлора с поверхностью меди на атомном уровне. Исследование взаимодействия активных газов с металлами является крайне важным для решения таких глобальных проблем, как моделирование и создание новых катализаторов, обладающих лучшей каталитической активностью и селективностью. Интерес к задаче хлорирования поверхности меди обусловлен возможностью её применения в промышленном гетерогенном катализе.

Теоретически изучена адсорбция, десорбция и диффузия хлора по поверхности Cu(110). Вычисления проведены на основе теории функционала плотности, которая позволяет рассчитывать из первых принципов системы, содержащие сотни атомов.

Получено, что молекула Cl₂ диссоциирует у поверхности Cu(110) без активационного барьера. Атомы хлора адсорбируются на поверхность в наиболее выгодные положения – в углубления между двумя ближайшими атомами подложки (короткое мостиковое положение). При наличии дефектов на поверхности (краев атомных ступеней и адатомов Cu) атомы хлора предпочитают располагаться на краях атомных ступеней в направлении [001]. Результаты наших расчетов согласуются с экспериментальными изображениями поверхности Cl/Cu(110) [1], записанными с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Согласно работе [1], при низкой степени покрытия поверхности Cu(110) хлором атомы Cl сначала декорируют ступени.

При увеличении степени покрытия Cu(110) хлором (~0.31 моно-слоя) в эксперименте [1] наблюдалась реконструкция поверхности меди. В настоящей работе проведен расчет модели реконструиро-

ванной поверхности меди с адсорбированным хлором. Построенные теоретические СТМ-изображения совпали с экспериментальными, что подтверждает правильность предложенной модели реконструкции.

Найдены активационные барьеры и температуры диффузии атомов Cl и Cu при перемещениях по террасе и атомов Cu с края атомной ступени на террасу. В предположении, что атомы диффундируют независимо друг от друга, получена скорость реакции как функция температуры. По максимуму скорости реакции определены температуры диффузии. Установлено, что диффузия атома Cl происходит при $T > 91$ К, адатома Cu по террасе и со ступени на террасу в направлениях $[001]$ и $[\bar{1}10]$ при $T > 93$ К, $T > 483$ К и $T > 200$ К, соответственно. Из полученных результатов следует вывод, что при комнатной температуре на поверхности Cu(110) адатомы на террасах генерируются за счет отрыва от ступеней в направлении $[\bar{1}10]$.

Исследована десорбция различных продуктов реакции хлорирования: Cl, Cl₂, Cu и CuCl с поверхности Cl/Cu(110). Для каждого процесса найдены энергии активации и рассчитаны температуры пиков десорбции. Проведено сравнение с экспериментами по термодесорбционной масс-спектрометрии с хлорированных граней меди (100) [2] и (111) [3]. Установлено, что основным процессом десорбции с Cl/Cu(110) является удаление хлорида меди (CuCl) с террасы.

Данная работа поддержана грантом РФФИ №15-02-99607-а. Все расчеты проведены с использованием программного пакета VASP (Vienna Ab-initio Simulation Package) [4]. Авторы выражают благодарность МСЦ РАН и суперкомпьютерному комплексу МГУ "Лоносов" [5] за предоставление вычислительных ресурсов.

Литература

1. Б.В. Андриюшечкин, Е.В. Гладченко, А.С. Рожкова, К.Н. Ельцов, Б. Керрен, В.В. Черкез «Структурные превращения и реконструкция поверхности Cu(110) при адсорбции хлора». Труды ИОФАН. Т.66. С.97-132 (2010).

2. Б.В. Андрюшечкин, К.Н. Ельцов. «Химические и структурные превращения поверхности меди в реакции хлорирования». ИОФАН. Т.59. С.106-132 (2003).

3. K.N. Eltsov, A.N. Klimov et al. «Reversible coverage-dependent $\text{Cu} + \text{Cl}_{\text{ads}} \rightarrow \text{CuCl}$ transition on $\text{Cu}(111)/\text{Cl}_2$ surface». Surf.Sci. Vol.251/252. P.253-258 (1991).

4. G. Kresse, J. Hafner. «Ab initio molecular-dynamics for liquid-metals». Phys. Rev. B. Vol. 47. P. 558-561 (1993).

5. В.В. Воеводин и др. «Практика суперкомпьютера "Ломоносов"». Открытые системы. №7. С.36-39 (2012).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИОБИЯ В МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ КАСКАДА АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ В БИНАРНОМ СПЛАВЕ Zr-1%Nb

Капустин П.Е., Тихончев М.Ю., Светухин В.В.¹

¹ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет, Ульяновск
+7-904-190-2080, kapustinpe91@gmail.com

В работе проведено молекулярно-динамическое моделирование каскада атомных смещений в бинарном сплаве Zr-1%Nb с ГПУ решеткой. Определена доля атомов ниобия в междоузельных конфигурациях с применением двух разных потенциалов межатомного взаимодействия для трех температур: 0, 300 и 600 К.

Циркониевые сплавы являются широко распространенным материалом для элементов конструкции реакторов на тепловых нейтронах ввиду удачного сочетания физических и механических свойств. Под воздействием нейтронного облучения в структуре циркониевых сплавов протекают каскадные процессы, последствиями которых являются ухудшение механических свойств, наличие микроструктурных изменений. Таким образом, исследование протекания каскадных процессов, влияния эволюции каскада на свойства конструкционного материала является одной из важнейших задач реакторного материаловедения [1–3].

Для проведения моделирования методом молекулярной динамики использовались два потенциала межатомного взаимодействия из работ [3, 4] (#1) и из работы [5] (#2). Перед моделированием каскада атомных смещений проводилась предварительная релаксация модельного кристаллита при температурах 0, 300 и 600 К. Энергия первично выбитого атома составляла 10 кэВ, его направление и положение выбирались произвольно. Размеры модельного кристаллита составляли $\sim 160 \times 160 \times 160$ Å. На гранях кристаллита применялись периодические граничные условия. Время моделирования каскада – 40-50 пс.

В таблице 1 приведены значения энергии формирования междоузельного атома ниобия, внедренного в структуру ГПУ-циркония. По полученным данным видно, что имеются конфигурации, в которых энергия формирования атома ниобия на позиции собствен-

ного междоузельного атома (СМА) меньше, чем у атома циркония. Также были посчитаны энергии связи в соответствующих конфигурациях. В энергетически выгодных конфигурациях наблюдаются наибольшие значения энергии связи. Таким образом, можно предположить, что после прохождения каскада атомных смещений, доля атомов ниобия в междоузельных конфигурациях будет достаточно высокой.

Таблица 1. Энергии формирования и связи Nb с СМА-конфигурациями в матрице Zr

Конфигурации	Энергия формирования СМА в ГПУ-цирконии	Энергия формирования междоузельного атома ниобия	Энергия связи атома Nb с СМА-конфигурациями
O	2.77 эВ	3.37 эВ	0.01 эВ
BO	2.89 эВ	3.57 эВ	-0.07 эВ
T	2.87 эВ	2.64 эВ	0.84 эВ
BT	2.87 эВ	1.91 эВ	1.57 эВ
S	3.65 эВ	3.19 эВ	1.07 эВ
BS	2.87 эВ	1.95 эВ	1.53 эВ
C	2.77 эВ	2.35 эВ	1.03 эВ
BC	2.87 эВ	1.91 эВ	1.57 эВ

Таблица 2. Доля атомов ниобия в междоузельных конфигурациях, %

Тип потенциала		#1	#2
Температура	0 К	43.16±1.03	54.15±1.72
	300 К	44.24±1.34	63.59±1.63
	600 К	41.51±1.95	67±2.73

В таблице 2 представлены результаты анализа доли атомов ниобия в междоузельных конфигурациях после прохождения каскада атомных смещений. Видно, что доля атомов ниобия составляет 40-

45% для потенциала из работ [3, 4] и более 50% при использовании потенциала [5]. Таким образом, предположение о высокой доле ниобия в междоузельных конфигурациях подтверждено.

Литература

1. R.M. Hengstler-Eger, P.M. Baldo, L. Beck, et al. «Heavy ion irradiation induced dislocation loops in AREVA's M5 alloy». *Journal of Nuclear Materials*. V.423. PP.170 (2012).

[2] Y. Idrees, Z. Gao, M.A. Kirk, M.R. Daymond. «In situ study of defect accumulation in zirconium under heavy ion irradiation». *Journal of Nuclear Materials*. V.433. PP.95 (2013).

[3] М.Ю. Тихончев, В.В. Светухин. «Расчетное определение пороговых энергий смещения и исследования особенностей развития каскадов атомных смещений вблизи протяженной границы раздела фаз циркония и ниобия: молекулярно-динамическое моделирование». *Вопросы материаловедения*. Т.68. №4. С.140-152 (2011).

[4] M.I.Mendelev, G.J.Ackland. «Development of an interatomic potential for the simulation of phase transformation in zirconium». *Philosophical Magazine Letters*. V.87. №5. P.349-359 (2007).

[5] D.Y. Lin, S.S. Wang, D.L. Peng, et al. «An n-body potential for a Zr–Nb system based on the embedded-atom method». *Journal of Physics: Condensed Matter*. V.25. №20. P.209501 (2013).

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПРОХОЖДЕНИЯ КАСКАДА АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВБЛИЗИ ШАРОВОГО БИНАРНОГО ПРЕЦИПИТАТА Nb-20%Zr В МАТРИЦЕ Zr

Капустин П.Е., Тихончев М.Ю., Светухин В.В.¹

¹ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет, Ульяновск
+7-904-190-2080, kapustinpe91@gmail.com

В работе проводится моделирование каскада атомных смещений, проходящего вблизи шарового бинарного преципитата Nb-20%Zr в матрице Zr. Анализируется распределение междоузлий относительно преципитата, глубина их проникновения в структуру преципитата.

Циркониевые сплавы широко применяются в качестве конструкционного материала в реакторах на тепловых нейтронах, что связано с удачным сочетанием физических и механических свойств материала. Воздействие нейтронного облучения инициирует процессы, результатом которых является снижение механических свойств материала. Исследование влияния облучения на структуру и свойства конструкционных материалов является актуальной задачей реакторного материаловедения.

Моделирование каскада атомных смещений осуществлялось на двух потенциалах межатомного взаимодействия, взятых из работ [1, 2] – потенциал #1 и из работы [3] – #2. Диаметр преципитата – 98 Å, размеры модельного кристаллита – ~200x200x200 Å. После релаксации модельного кристаллита при 0 К, инициировался каскадный процесс с энергией первично выбитого атома (ПВА) 10 кэВ. ПВА инициируется на расстоянии 10 Å от преципитата и направлен к его центру.

В таблице 1 представлены результаты распределения составов междоузльных конфигураций относительно границы преципитат-матрица. Смена потенциала #1 на потенциал #2 приводит к увеличению числа выживших междоузлий практически в 3 раза. Характер распределения междоузлий различного типа не меняется при смене потенциала. Zr-Zr междоузлия формируются преимуще-

ственно в матрице, Nb-Nb – внутри преципитата. Zr-Nb междоузлий внутри преципитата несколько больше, чем в матрице.

На рисунке 1а представлено распределение междоузлий по глубине с использованием потенциала #1. Наибольшее число междоузлий формируется на глубине до 5 Å от поверхности преципитата. На глубинах от 5 до 20 Å их количество существенно уменьшается, составляя менее 1% от общего числа междоузлий в преципитате. На глубине более 20 Å доля сформированных междоузлий не превышает 0.7%, при этом Nb-Nb междоузлий не формируется.

На рисунке 2б представлено распределение междоузлий с потенциалом #2. На глубине до 5 Å наблюдается значительный рост доли Nb-Nb междоузлий (39%), доля Zr-Nb междоузлий сократилась на 71%, доля Zr-Zr – на 5%. От 5 до 20 Å наблюдается увеличение доли междоузлий у Nb-Nb (19%) и Zr-Nb – 11%. Доля Zr-Zr междоузлий составила 5%. На глубине более 20 Å доля Zr-Zr междоузлий увеличилась на 1%, Zr-Nb – на 0.8%, Nb-Nb междоузлия составляют 1%. Таким образом, наблюдается частичный выход атомов ниобия за пределы шарового преципитата в матрицу Zr.

Таблица 1. Распределение междоузлий относительно бинарного преципитата Nb-20%Zr

Тип потенциала	Zr-Zr		Zr-Nb		Nb-Nb	
	Внутри	Вне	Внутри	Вне	Внутри	Вне
#1	9.0±1.6	200.8±10.1	102.6±10.9	55.0±3.7	10.4±3.8	2.0±1.2
#2	67.2±9.8	252.2±14.2	162.4±23.1	134.4±6.9	502.2±76.4	150.0±6.3

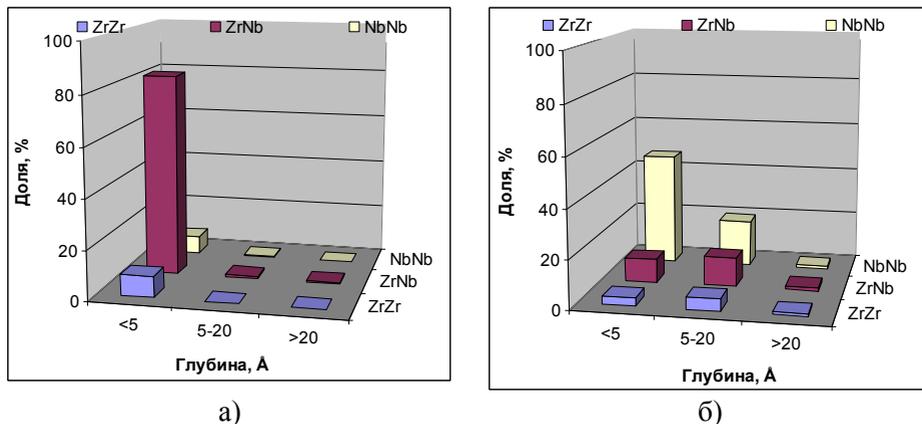


Рис 1. Распределение междуузлий по глубине при использовании потенциала: а) #1; б) #2

Литература

[1] М.Ю. Тихончев, В.В. Светухин. «Расчетное определение пороговых энергий смещения и исследования особенностей развития каскадов атомных смещений вблизи протяженной границы раздела фаз циркония и ниобия: молекулярно-динамическое моделирование». Вопросы материаловедения. Т.68. №4. С.140-152 (2011).

[2] M.I.Mendelev, G.J.Ackland. «Development of an interatomic potential for the simulation of phase transformation in zirconium». Philosophical Magazine Letters. V.87. №5. P.349-359 (2007).

[3] D.Y. Lin, S.S. Wang, D.L. Peng, et al. «An n-body potential for a Zr–Nb system based on the embedded-atom method». Journal of Physics: Condensed Matter. V.25. №20. P.209501 (2013).

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АНСАМБЛЯХ СОЛИТОНОВ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ ИЛИ СИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ.

Карпов П.И.¹, Бразовский С.А.^{2,3}

¹*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», Москва*

²*CNRS UMR 8626 LPTMS, University. Paris-Sud, Orsay, France
+7 495 638 45 06, karpov.petr@gmail.com*

Развитие экспериментальной техники последнего десятилетия привело к возможности создания очень коротких мощных оптических импульсов (длительностью десятков фемтосекунд) и очень сильных электрических полей (до 10^9 В/м) [1]. Такие воздействия позволяют достигать «скрытых» состояний материалов, недоступных термодинамическим образом [2]. Благодаря этому зародилось и активно развивается новое направление научных исследований, изучающее фазовые переходы, индуцированные внешними воздействиями («pump induced phase transitions»).

Объектом исследования данной работы является широкий класс квазиодномерных проводников, таких как сопряженные полимеры, спин-пайерлсовские цепочки, фазы с волной зарядовой плотности и моттовские изоляторы с зарядовым упорядочением. Общей чертой таких систем является двукратное вырождение основного состояния системы, что допускает решения, плавно соединяющие два устойчивых состояния: первое с параметром порядка $\eta(x)=-1$, при $x \rightarrow -\infty$, и второе $\eta(x)=1$, при $x \rightarrow +\infty$. Решения такого рода называются кинками или амплитудными солитонами.

Цель данной работы – исследовать фазовые переходы в ансамблях таких солитонов, созданных оптической накачкой или сильным электрическим полем. Для этого проведено моделирование системы солитонов методом Монте-Карло с использованием алгоритма Метрополиса (типичные параметры расчета: размеры системы $50 \times 8 \times 8$ узлов, концентрация солитонов $v=0,08$). Система дискретизуется и отображается на модель Изинга $\eta_\alpha(x_n) = S_{n,\alpha}$, где α – индекс цепочки, x_n – дискретизованная координата вдоль цепочки (шаг дискретизации a равен размеру ядра солитона) [3,4]. Так как

локальная энергия взаимодействия цепочек пропорциональна $-\eta_\alpha(x_n)\eta_\beta(x_n)$, на языке модели Изинга она равна $-J_\perp S_{n,\alpha}S_{n,\beta}$, то есть изинговские спины стремятся сориентироваться в одном направлении при условии сохранения концентрации солитонов v . Если в основном состоянии системы возникает пара солитонов (рис. 1а), то её энергия пропорциональна размеру пары $E \sim J_\perp l$, и между солитонами возникает постоянная притягивающая сила «конфайнмента».

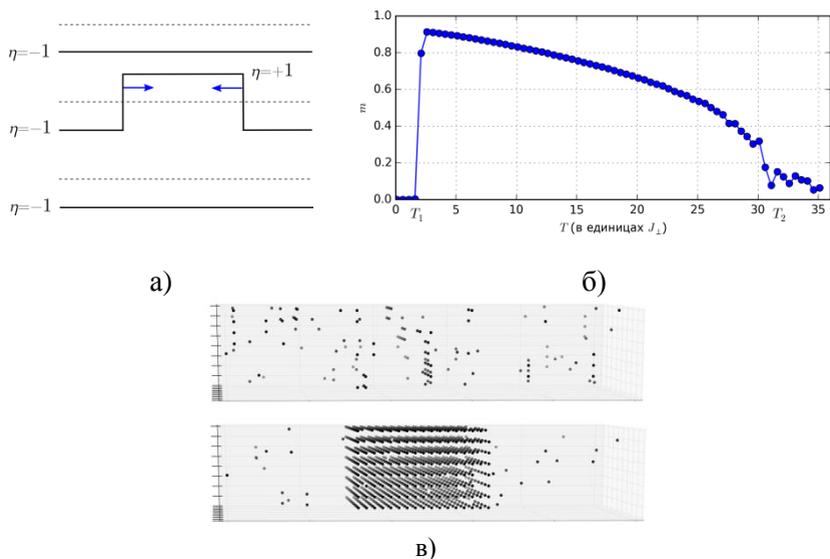


Рис. 1. а) Бисолитон в системе: горизонтальные сплошные линии соответствуют основному состоянию системы, вертикальные – положению солитонов, б) зависимость изинговской намагниченности от температуры, в) система при $T=2,1J_\perp > T_2$ (сверху) и $T=1,9J_\perp < T_2$ (снизу): черными точками показано положение псевдоспинов $S=-1$, псевдоспины $S=1$ не показаны.

В работе показано существование в системе двух фазовых переходов (рис. 1б). $T=T_1$ ($\approx 30 J_\perp$ для рассматриваемой системы) – температура упорядочения псевдоспинов, на языке солитонов это температура перехода конфайнмент-деконфайнмент, ниже которой образуются связанные пары солитонов (бисолитоны). При понижении температуры, размеры бисолитонов уменьшаются вплоть до

минимального размера a , после чего начинается агрегация бисолитонов в поперечном направлении. При $T=T_2$ ($\approx 2 J_{\perp}$ для рассматриваемой системы) происходит второй фазовый переход – через весь образец прорастают бисолитонные плоскости в поперечном направлении, далее эти плоскости раздвигаются и между ними открывается домен перевернутых псевдоспинов (рис.1в). При этом в макроскопическом образце изинговская намагниченность m падает до 0 (в образце конечных размеров она может варьироваться, $m=0..1-2v$).

Продемонстрировано влияние на фазовые переходы кулоновского взаимодействия солитонов. Даже если оно слабое (с характерной энергией $\ll J_{\perp}$), оно все равно может оказать существенное воздействие на образование доменных стенок, которые создают макроскопические электрические поля (что повышает их энергию и препятствует возникновению).

Литература

1. S. Brazovskii and N. Kirova (editors). «Electronic States and Phases Induced by Electric or Optical Impacts». Eur. Phys. J. Special Topics. Vol. 222. №5 (2013).
2. L. Stojchevska et. al. «Ultrafast Switching to a Stable Hidden Quantum State in an Electronic Crystal». Science. Vol. 344. P.177 (2014).
3. T. Bohr, S. Brazovskii, «Soliton statistics for a system of weakly bound chains: mapping to the Ising model», J. Phys. C. Vol. 16. P. 1189 (1983).
4. S. Teber, B.P. Stojkovic, S. Brazovskii, and A.R. Bishop. «Statistics of charged solitons and formation of stripes». J. Phys.: Condens. Matter. Vol. 13. P. 4015 (2001).

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ ДЛЯ БИОСЕНСОРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Коваль А.А.¹, Осминкина Л.А.^{1,2}

¹МГУ имени М.В.Ломоносова, физический факультет, 119991, Москва

²НИЯУ МИФИ, 115409, Москва

8(926)764-1984, koval8433@gmail.com

Пористый кремний (PSi) является перспективным материалом для создания биосенсоров [1] ввиду таких его уникальных свойств, как высокая удельная поверхность, возможность регулирования размеров и конфигурации пор [2], фотолюминесценция в видимом диапазоне спектра при комнатной температуре [3], а так же недорогой и быстрый способ изготовления [4].

В данной работе впервые продемонстрирован метод получения слоев пористого кремния двойной пористости (DPSi), и показана возможность создания на их основе оптического биосенсора для обнаружения бактерий *E-coli*.

Изготовление образцов происходило в два этапа. На первом этапе формировались пленки мезопористого кремния (M-PSi) стандартным методом электрохимического травления [5] пластин с-Si (100, 110) p++ 25мΩ*см в электролите, состоящем из плавиковой кислоты (HF) и спирта. Второй этап состоял в формировании слоя PSi с двойной пористостью (DPSi) методом металл-индуцированного химического травления (MACE) [6]. По окончании процесса травления образцы отжигались в течение 2 часов при температуре 350⁰ С.

Структурные свойства образцов M-PSi и DPSi исследовались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, микроскоп "Zeiss supra 40"). Оптические свойства образцов исследовались методом инфракрасной спектроскопии (ИК спектроскопии на фурье-спектрометре "Bruker Vertex 70v".

Типичный вид образцов DPSi представлен на рисунке 1 а, видно, что образец DPSi имеет двойную пористость – высокопористый верхний ~ 10 μm слой на поверхности ~ 60 μm пленки M-PSi. На рисунке 1 б представлен образец DPSi, покрытый бактериями *E-coli*.

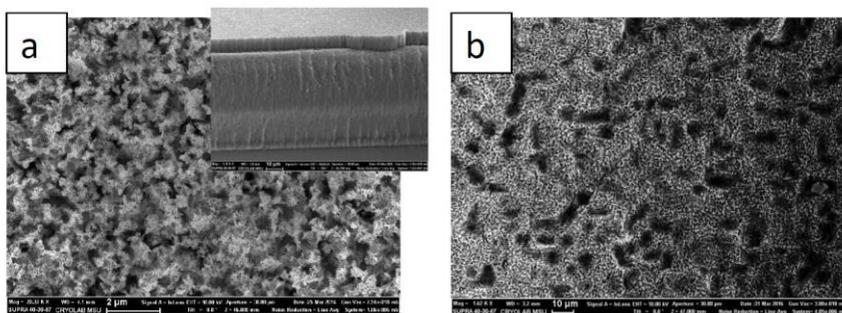


Рисунок 1. (а) СЭМ образца DPSi, вид сверху и сбоку (на вставке). (б) СЭМ образца DPSi, покрытого бактериями E-coli.

Спектры пропускания ИК-излучения образцов до и после взаимодействия с бактериями, представлены на рисунке 2 а и б, соответственно.

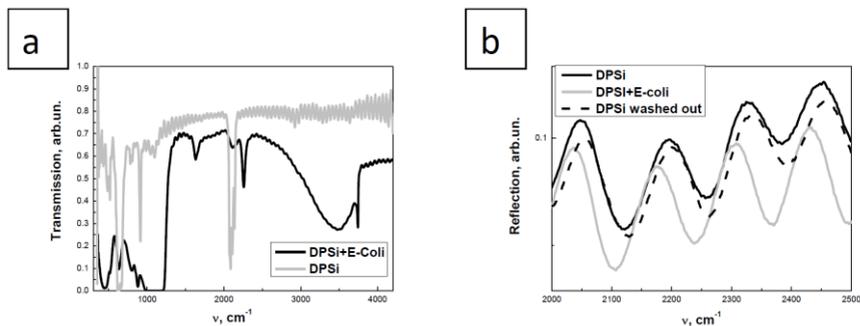


Рисунок 2. Спектры пропускания (а) и отражения (б) ИК-излучения образца до и после взаимодействия с бактериями.

В спектрах пропускания ИК-излучения свежеприготовленных образцов присутствуют полосы поглощения на Si-H_x ($x=1, 2, 3$) валентных модах на частотах $2070\text{--}2170\text{ см}^{-1}$, входящим в состав таких атомных групп, как например $\text{SiH}_2\text{--SiH}$, а также на Si-H_2 - ножничной моде на частоте 906 см^{-1} . Данные полосы поглощения указывают на преимущественно водородное покрытие поверхности

образцов. В спектре образцов после взаимодействия с бактериями присутствуют также пики поглощения Si-O-Si валентных колебаниях на частотах 1010 см^{-1} , что говорит о частичном окислении образца. Пик на частоте 3500 см^{-1} соответствует колебаниям O-H в молекуле H_2O , и указывает на присутствие воды в порах образца. Появление пиков поглощения на C=C колебаниях на 1648 см^{-1} указывает на присутствие органики на поверхности образцов.

В спектре отражения ИК излучения образцов, представленном на рис 2b, наблюдается четкий сдвиг интерференционных полос в область низких частот после взаимодействия с бактериями (сравни кривые DPSi и DPSi+E-Coli). При этом после отмывания образцов от бактерий, спектр восстанавливался до начального состояния (сравни кривые DPSi и DPSi washed out).

Представленные выше результаты свидетельствуют о возможности создания оптического сенсора на бактерии на основе DPSi.

Литература

1. A. Janshoff, K. P. S. Dancill, C. Steinem, D. P. G. Greiner, M. J. Sailor, J. Am. Chem. Soc. 120, 12108 (1998).
2. M. J. Sailor, J. R. Link, Chem. Commun. 1375, (2005).
3. Canham LT. Appl. Phys. Lett. 57, 1046–1048 (1990).
4. A. Brecht and G. Gauglitz, Biosens. Bioelectron. 10, 923 (1995).
5. Foll H, Christophersen M, Carstensen J, Hasse G. Mater. Sci. Engin. R. Reports 39, 93–141 (2002).
6. Osminkina, L.A. et al. Nanoscale research letters 9.1: 1-7. (2014).

ДИАМАГНИТИЗМ ВСЛЕДСТВИЕ ТОРОДИНОГО МОМЕНТА

Кожокарь М.В.¹

¹НИТУ «МИСиС», Москва
8 925 222 78 68, masha_cojokari@mail.ru

Тороидный диполь, возникающий за счёт статических токов в атомном ядре, был впервые введён Зельдовичем в 1957, чтобы объяснить нарушение чётности в слабом взаимодействии в атомной физике. Таким образом, тороидным диполем был назван отдельный элемент мультипольного разложения, соответствующий электрическому току, циркулирующему на поверхности тора вдоль его меридианов.

В отличие от статического тороидального диполя, динамический тороидный диполь изучен достаточно мало. Хотя стандартное мультипольное разложение демонстрирует излучаемые источником поля, тороидный дипольный момент не включен в это разложение и часто исключается из рассмотрения в классической электродинамике. Причина этого кроется в том, что, несмотря на физическое отличие от динамического электрического дипольного момента, тороидный момент излучает с тем же самым угловым моментом и свойствами в дальней зоне, что делает их неотличимыми для удалённого наблюдателя. В следствии этого, экспериментальное обнаружение тороидного отклика являлось почти невозможной задачей до использования концепции метаматериалов, которая позволила контролировать характер электромагнитного отклика с помощью искусственно структурированных сред в субволновом пространстве. Для демонстрации тороидного дипольного отклика были использованы метаматериалы, состоящие из металлических метамолекул тороидной топологии, с пониженным электрическим и магнитным моментами и увеличенным до измеряемого уровня тороидным откликом.

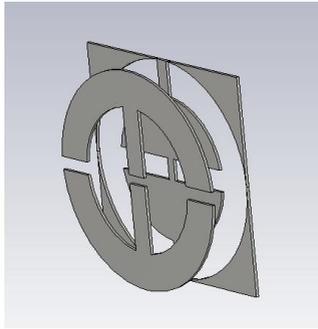


Рис.1

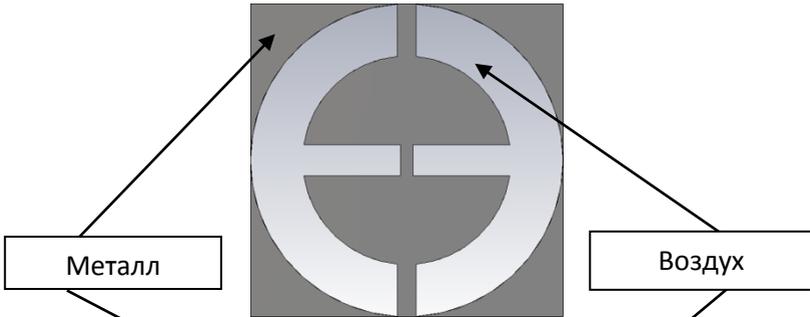


Рис. 2

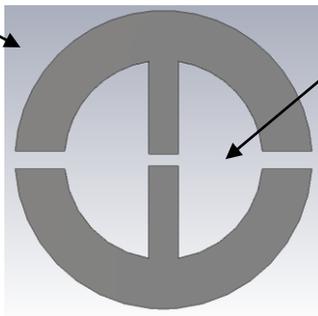


Рис.3

Метаматериалы с тороидным откликом отличаются рядом особых свойств, среди которых выделяются сильная локализация полей и, как следствие, высокая добротность, не достижимая в других метаматериалах с электрическим и магнитным откликом. Ещё одной замечательной особенностью тороидных метаматериалов является возбуждение диамагнетизма за счёт тороидного момента в от-

дельной метамолекуле, который приводит к его намагниченности и одновременно вносит вклад, аналогично электрическому моменту, что сопровождается сильной концентрацией электрического и магнитного полей в метамолекуле.

Для демонстрации возникновения диамагнетизма в тороидных метаматериалах нами предложен метаматериал на основе метамолекул (рис.1), состоящий из расположенных на расстоянии 30 мкм метамолекул. Первый включение приводит к с высокой концентрации магнитного (рис.2) поля, а вторая к концентрации электрического (рис.2) поля.

В докладе мы покажем, что их взаимная интерференция даст сильный тороидный отклик в системе, который мы изучим с позиции диамагнетизма и обсудим причины его возникновения в представленном метаматериале.

Научный руководитель: канд. техн. наук, Башарин А. А.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИКРОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

Козлов И.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
тел. 8-925-303-88-92, ilya_mephist@mail.ru*

Аморфные ферромагнитные микропровода в стеклянной оболочке, полученные быстрой закалкой из расплава методом Тейлора–Улитовского, обладают значительным потенциалом для применений в ряде современных технологий, таких как системы мониторинга и контроля, системы позиционирования [1]. Микропровода на основе кобальта, с отрицательной константой магнитострикции, характеризуются уникальными электродинамическими характеристиками. В слабых магнитных полях, они проявляют эффект гигантского магнитного импеданса (ГМИ). Магнитные свойства микропровода описываются тензором магнито-импеданса, компоненты которого являются резкими функциями продольной компоненты внешнего магнитного поля. На основе этого эффекта развиваются технологии создания высокочувствительных датчиков слабого магнитного поля.

Важной задачей при создании высокочувствительного магнитного датчика является повышение амплитуды ГМИ сигнала. Его величина существенно зависит от состава металлической жилы микропровода и закалочных напряжений, которые возникают в жиле при быстрой закалке из расплава. В данной работе проведено исследование поведения ГМИ сигнала микропровода от режимов и методов обработки, таких как травление и термообработка.

Преобразования, происходящие при нагреве аморфных сплавов, можно разделить на два типа: структурную релаксацию и кристаллизацию. Процесс релаксации напряжений связан с локальными перестройками атомов. Применение отжига микропроводов в присутствии механических напряжений под действием магнитного поля позволяет изменять магнитные свойства микропроводов (поле магнитной анизотропии и константу магнитного затухания), кото-

рые определяют чувствительность датчиков, основанных на эффекте ГМИ [2].

Термообработка в различных средах сильно влияет на свойства исследуемых образцов, контролируемый нагрев в инертной среде приводит к изотропности свойств по длине образца, увеличению ГМИ.

В ходе исследований стеклянная оболочка стравливалась с помощью плавиковой кислоты. Установлено, что глубина травления может существенно влиять на эффект ГМИ, при этом процесс травления характеризуется высокой степенью воспроизводимости. Показано, что амплитуда ГМИ отклика может быть увеличена более чем в 1,5 раза. Полученные экспериментальные характеристики представлены на рисунке 1.

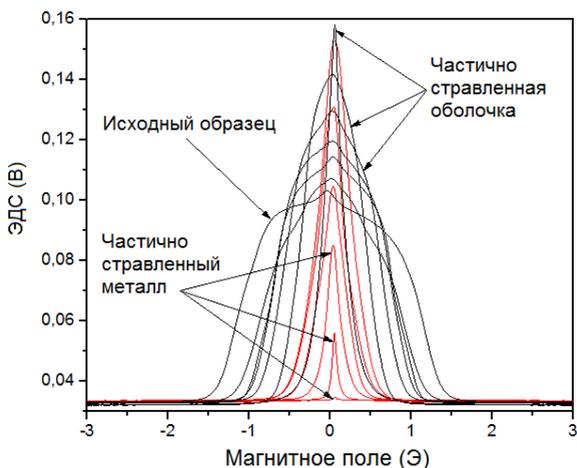


Рис.1. Зависимости сигналов ЭДС, соответствующих диагональной компоненте магнитного импеданса $Z_{\varphi\varphi}$, от приложенного внешнего магнитного поля для различной степени травления образцов $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{11}$

Кроме того, были проведены исследования структурных свойств образцов методами электронной микроскопии. Определено, что в исследуемых микропроводах на границе раздела металл – стекло присутствует переходный по составу слой толщиной порядка 100 нм. Данный слой может оказывать влияние на амплитуду ГМИ от-

клика. В работе предложен подход, в котором способ травления используется для изучения переходного слоя методами электронной и магнитно-силовой микроскопии.

Литература

1. Mohri K.T., Uchiyama T. Recent advances of micro magnetic sensors and sensing application // *Sens. Act.* V. 59, N 1–3. – P. 1–8 (1997).

2. Chen D.M., Xing D.W. Cryogenic Joule annealing induced large magnetic field response of Co-based microwires for GMI sensor applications // *Journal of Applied Physics*. 116, 053907. – P. 1–5 (2014).

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОКИНЕТИКИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА В ОРГАНИЗМЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА С ПОМОЩЬЮ КОНЦЕПЦИИ РВРК-МОДЕЛИРОВАНИЯ¹

Кормазева Е.С.¹, Соловьев В.Ю.²

¹НИЯУ «МИФИ», Москва

²ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва
+79169578591, ekaterinakormazeva@gmail.com

В настоящее время наблюдается растущий спрос на продукцию из наноматериалов. Так, например, наночастицы (НЧ) серебра уже нашли свое применение в сельском хозяйстве, легкой промышленности и медицине. Однако проблема оценки степени их опасности для здоровья человека все еще является предметом научных дискуссий.

Целью данной работы является построение модели биокинетики НЧ серебра сферической формы разных размеров для оценок содержания их в жизненно важных органах животных и человека. Данная модель с возможностью оценки биокинетических параметров по экспериментальным данным и экстраполяции результатов на человека может стать полезным инструментарием в различных практических применениях.

Основу модели биокинетики НЧ составляет общая схема биологического транспорта, представленная на Рис.1 [1].

В модели учитываются три возможных пути поступления НЧ в организм: пероральный, ингаляционный и внутривенный и два режима поступления: разовый и хронический. Математически модель описывается системой уравнений (1), полученных на основе концепции РВРК-моделирования, где $M(i)$ – содержание НЧ в i -ом органе, T_{cp} , $T_{раз}$ – среднее время (и его разброс) нахождения пищи в ЖКТ.

¹ Прикладные научные исследования проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (RFMEFI60414X0114)

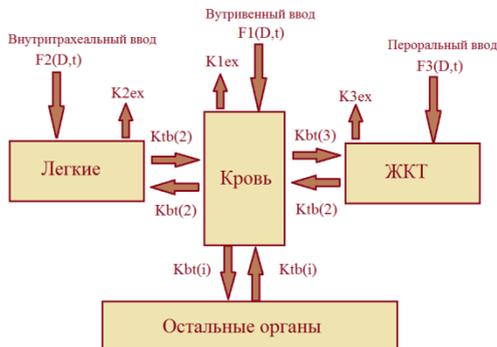


Рис. 1. Схема модели биокинетики

$$\frac{dM(1)}{dt} = \sum_i Ktb(i) \times M(i) - M(1) \times \sum_i Kbt(i) - K1ex \times M(1) + F1(D,t)$$

$$\frac{dM(2)}{dt} = -Ktb(2) \times M(2) + Kbt(2) \times M(1) - K2ex \times M(2) + F2(D,t)$$

$$\frac{dM(3)}{dt} = -Ktb(3) \times M(3) + Kbt(3) \times M(1) - \frac{K3ex}{1 + e^{\frac{t-T_{сс}}{T_{раз}}}} M(2) + F3(D,t)$$

$$\frac{dM(i)}{dt} = -Ktb(i) \times M(i) + Kbt(i) \times M(1)$$

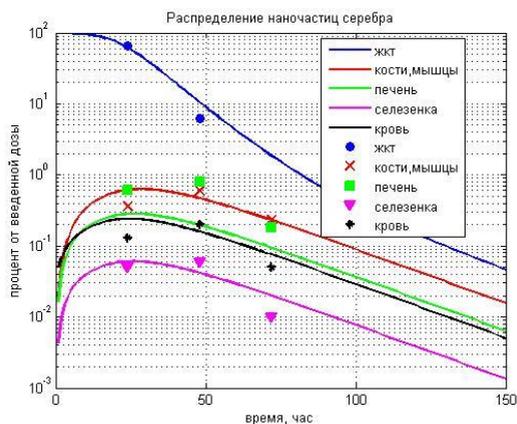
Система уравнений (1)

В качестве исходных данных взяты экспериментальные значения распределения НЧ серебра в органах крыс-самцов линии Вистар для одномоментного внутрижелудочного введения [2]. Методом последовательных приближений были найдены константы для каждого из органов. В рамках РВРК-моделирования константы имеют однозначную зависимость от биологических и физиологических параметров организма (2)

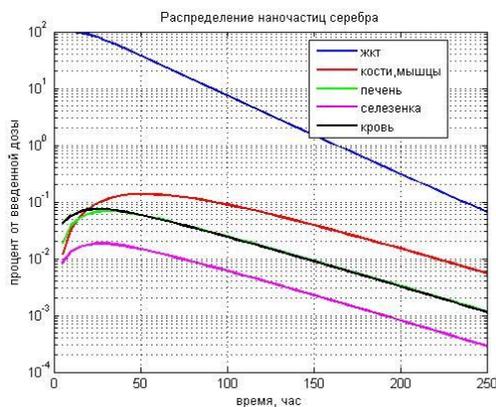
$$Kbt(i)_{человек} = \frac{(Qt(i) / Vblood)_{человек}}{(Qt(i) / Vblood)_{крыса}} \times Kbt(i)_{крыса} ,$$

$$Ktb(i)_{человек} = \frac{(Qt(i) / m(i))_{человек}}{(Qt(i) / m(i))_{крыса}} \times Ktb(i)_{крыса} \quad (2)$$

где $Qt(i), m(i)$ – ток крови и масса i -го органа, $Vblood$ – объем крови.



а)



б)

Рис.2. Распределение наночастиц серебра сферической формы диаметром 35 нм при разовом пероральном поступлении в организм: а) крысы; б) человека

По данным [3] был выполнен пересчет констант с лабораторных животных на человека. Полученные решения модели для крысы и человека представлены на Рис.2.

Алгоритм нахождения констант можно распространить для НЧ другого вида, размера и формы. Полученные значения констант позволяют смоделировать другие условия эксперимента.

Литература

1. H. J. Clewell, M.B. Reddy, T. Lave, M.E. Andersen. Physiologically Based Pharmacokinetic Modeling, Preclinical Development Handbook: ADME and Biopharmaceutical Properties, John Wiley & Sons, Inc, 2008, 1167-1221с.

2. И.В. Гмошинский, С.А. Хотимченко, В.О. Попов, Б.Б. Дзантиев, А.В. Жердев, В.Ф.Демин, Ю.П. Бузулуков. Наноматериалы и нанотехнологии: методы анализа и контроля. Успехи химии №82 (1) 48-76 (2013)

3. Г.Н.Красовский, Ю.А.Рахманин, Н.А.Егорова. Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека. С.87 (М: 2009)

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗОНДОВ ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕГО ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА NanoEducator II

Е.В. Кузнецова¹, Носков А.И.¹

*1 «Казанский национально исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ», 420111, г. Казань, Четаева 18а
+79377770682, gdetti@yandex.ru*

На сегодняшний день существует большое количество методов по изготовлению зондов для атомно силовой микроскопии (АСМ). Каждый из методов по-своему уникален и имеет свои достоинства и недостатки. В данной работе используется метод электрохимического травления вольфрамовой проволоки.

Данный метод разработан достаточно давно и является на сегодняшний день одним из наиболее распространённых методов изготовления зондов для АСМ. К сожалению, качество и воспроизводимость результатов во многом зависит от индивидуальных условий проведения экспериментов и требований, предъявляемых к зондам. Поэтому каждая лаборатория вынуждена подбирать свои собственные параметры электрохимического травления.

В качестве электрохимической ячейки для изготовления зондов использовалось устройство для заточки зондов фирмы НТ-МДТ [1]. Путем последовательных итераций, были установлены оптимальные параметры травления проволоки, и получены зонды со следующими радиусами: 497, 420 и 64 нм. Для определения радиуса кривизны и контроля чистоты поверхности использовались: оптический микроскоп (AxioLab.A1), просвечивающий и сканирующий электронный микроскоп (Libra 120 и AURIGA CrossBeam). Для контроля качества изготовленных игл, была проведена серия тестовых экспериментов по сканированию эталонного объекта (TGZ 2 – рис.1).

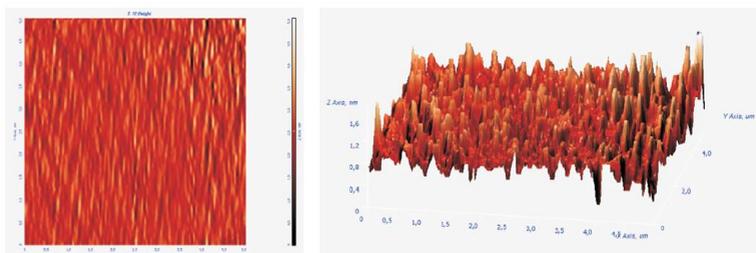


Рис. 1. 2D и 3D изображения кремниевой подложки, $R=64\text{нм}$.

Таким образом, путем технологических итераций были получены оптимальные параметры травления зондов ($C_{\text{КОН}}=8\%$, $t_1=17\text{с}$, $t_2=9\text{с}$, t_3 -до отрыва), которые можно использовать при сканировании поверхностей, содержащей наночастицы.

Литература

1. Смирнов В.А., Трегубенко А.Ю., Агеев О.А., Федотов А.А. Технология заточки вольфрамовых зондов для СЗМ NanoEducator: ТГРГТУ.
2. Холстинина Н.Н., Сурнин Д.В. Методика изготовления и аттестации вольфрамовых игл для СТМ. Вестник Удмурдского университета №4. – 2007.

СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЛЛУАЗИТНЫХ НАНОТРУБОК С ОСАЖДЕННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Куралбаева Г.А.¹, Гончар К.А.², Кондакова А.В.², Исакулов А.Б.¹

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», институт новых материалов и нанотехнологий, Москва

*² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва
+79670456130, galiy.91@mail.ru*

Галлуазиты (Halloysite) представляют собой слоистый материал, алюмосиликат $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, состоящий из нанотрубок диаметром около 5-15 нм и длиной порядка долей микрометров. Благодаря своей структуре, данный материал может быть использован в качестве наполнителя для различных нанокомпозитов [1]. В ходе проделанной работы были исследованы образцы галлуазита без примесей, а также с внедренными наночастицами серебра [2]. Образцы снимались на сканирующем электронном микроскопе и просвечивающем электронном микроскопе, также сделан рентгеноструктурный анализ.

Были измерены спектры отражения, пропускания и поглощения в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Наблюдался плазмонный резонанс от наночастиц серебра в области 400-600 нм, положение которого варьировалось с помощью изменения концентрации серебра, размеров трубок и функционализации их поверхности. Возможность плазмонного резонанса в видимом диапазоне позволит использовать нанокомпозит при фотовозбуждении в качестве фотокатализатора и антисептика. Благодаря иммобилизации наночастиц серебра в нанотрубках высвобождение ионов серебра будет более контролируемым.

Возможность биологического применения композита была доказана в ходе эксперимента по уничтожению бактерий *E.Coli* при освещении их голубым светом. Таким образом, галлуазитные нанотрубки с осажденными наночастицами серебра являются перспективными для использования в качестве компонента антибактериальных покрытий.

Литература

1. E. Abdullayev, K. Sakakibara, K. Okamoto, W. Wei, K. Ariga, Yu. Lvov. Natural Tubule Clay Template Synthesis of Silver Nanorods for Antibacterial Composite Coating. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 3, 4040–4046 (2011).
2. S. Jana, S. Das. Development of novel inorganic–organic hybrid nanocomposites as a recyclable adsorbent and catalyst, *RSC Adv.* 4, 34435 (2014).

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОМОЛА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА МИКРОКРИ- СТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Латуга А.А., Смирнов М.В., Логинова С.В.

*Петрозаводский Государственный Университет, г. Петрозаводск
89535306780, latuga.nastya@mail.ru*

Целью работы было проведение рентгенографических исследований и определение характеристик ближнего порядка образцов целлюлозы, подвергнутой механической деструкции.

Широко известно использование целлюлозы, например, как матрицы для создания нанокomпозиционных материалов. Нами в качестве исходного сырья была выбрана микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ). В результате размол порошка МКЦ происходит уменьшение размеров его частиц, повышается реакционная способность целлюлозной матрицы. Получение аморфной целлюлозы возможно путем механической деструкции.

В данной работе размол микрокристаллической целлюлозы выполнялся в течение 1, 3, 6 часов в планетарной размольнице Pulverisette 7 premiumline. Использовалась агатовая размольная чаша объёмом 20 мл и мелющие шары из агата диаметром 10 мм. Для получения количественных характеристик ближнего порядка исследуемых образцов рентгенограммы регистрировались на автоматизированном дифрактометре ДРОН-4.0 на $\text{MoK}\alpha$ -излучении в интервалах углов с 2° до 70° с шагом 0.1° и с 70° до 145° с шагом 0.2° в симметричной геометрии на прохождение. Для расчета степени кристалличности и размеров областей когерентного рассеяния порошковых образцов (табл. 1) были получены кривые распределения интенсивности рассеяния на дифрактометре ДРОН-4.0 на $\text{FeK}\alpha$ -излучении в интервалах углов с 3° до 70° с шагом 0.1° в геометрии на отражение и прохождение.

Степень кристалличности исходного порошка микрокристаллической целлюлозы, рассчитанная модифицированным методом Руланда, порядка $70\pm 5\%$. Методом полнопрофильного анализа показано, что исходная МКЦ имеет структуру кристаллической модификации целлюлозы $\text{I}\beta$ с антипараллельной ориентацией цепочек.

Области когерентного рассеяния анизотропны (табл. 1). После одного часа размола на рентгенограмме еще видны следы двух отражений от кристаллической фазы целлюлозы I, степень кристалличности образца уменьшается на 35%. А после трех часов размола рентгенограмма образца становится характерной для аморфных материалов. Последующий размол (максимальное время – 6 ч.) не приводит к изменению вида кривой распределения интенсивности рассеяния.

Таблица 1. Результаты расчета степени кристалличности (СК) и размеров областей когерентного рассеяния (D , Å) исследуемых образцов.

Образец	СК, %	D , Å				
		[110]	[110]	[102]	[100]	[001]
Исходная МКЦ	$70 \pm 5\%$ * $(85 \pm 5\%)^{**}$	44	46	48	53	83
МКЦ после 1 часа размола	$(50 \pm 5\%)^{**}$	-	-	-	50	35
$\Delta D = \pm 5 \text{ Å}$						
*- расчет выполнен модифицированным методом Руланда; **- методом Сегала.						

Расчет количественных характеристик ближнего порядка (радиусов координационных сфер (r_{ij}) и их размытий (σ_{ij}), координационных чисел (N_{ij})) из кривых распределения парных функций проводился методом Финбака-Уоррена. В табл. 2 представлены результаты расчета в сравнении с теоретическими данными для кристаллической модификации целлюлозы Iβ с антипараллельной ориентацией цепочек.

Таблица 2. Характеристики ближнего порядка для измельченной целлюлозы в сравнении с теоретическим расчетом для кристаллической модификации целлюлозы I β с антипараллельной ориентацией цепочек

Пары атомов	Целлюлоза I β с антипарал. расположением цепочек (с учетом сфер C-H и O-H)			1 час помола			6 часов помола		
	$r_{ij}, \text{Å}$	$N_{ij}, \text{ат}$	$\sigma_{ij}, \text{Å}$	$r_{ij}, \text{Å}$	$N_{ij}, \text{ат}$	$\sigma_{ij}, \text{Å}$	$r_{ij}, \text{Å}$	$N_{ij}, \text{ат}$	$\sigma_{ij}, \text{Å}$
C-O(1)	1.35	1.40	0.01	1.30	1.25 \pm 0.04	0.13	1.37	1.28 \pm 0.03	0.22
C-C(1)	1.52	1.74	0.01	1.56	1.78 \pm 0.06	0.05	1.57	1.67 \pm 0.04	0.27
O-O(1)	2.13	1.52	0.03	2.08	1.79 \pm 0.06	0.005	2.16	0.77 \pm 0.02	0.15
C-O(2)	2.39	1.90	0.02	2.37	1.37 \pm 0.05	0.4	2.38	2.18 \pm 0.05	0.43
C-C(2)	2.53	4.27	0.01	2.64	10.61 \pm 0.37	0.001	2.59	7.62 \pm 0.18	0.001
$\Delta r_{ij} = \pm 0.01 \text{Å}, \Delta N_{ij} = \pm 0.05 \text{ ат.}, \Delta \sigma_{ij} = \pm 0.05 \text{Å}$				$\Delta r_{ij} = \pm 0.05 \text{Å}, \Delta \sigma_{ij} = \pm 0.05 \text{Å}$					

Сравнительный анализ кривых распределения интенсивности рассеяния, s-взвешенных интерференционных функций, кривых распределения парных функций для измельченной и исходной целлюлозы, а также данных, представленных в табл. 2, позволяет сказать, что в процессе измельчения происходит уменьшение размеров областей когерентного рассеяния, искажение и разориентация целлюлозных цепочек, изменение длин связей, изменение длин и разрыв водородных связей. С увеличением времени размола деформация целлюлозных цепочек увеличивается, о чем также свидетельствуют значения размытых координационных сфер.

ПРОТОТИП ТОМОГРАФИЧЕСКОГО АТОМНОГО ЗОНДА С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ

А.А. Лукьянчук^{1,2}, С.В. Рогожкин^{1,2}, А.А. Алеев^{1,2},
А.С. Шутов^{1,2}, О.А. Разницын^{1,2}, С.Е. Кириллов²

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации
Институт Теоретической и Экспериментальной Физики»
НИЦ «Курчатовский институт»,

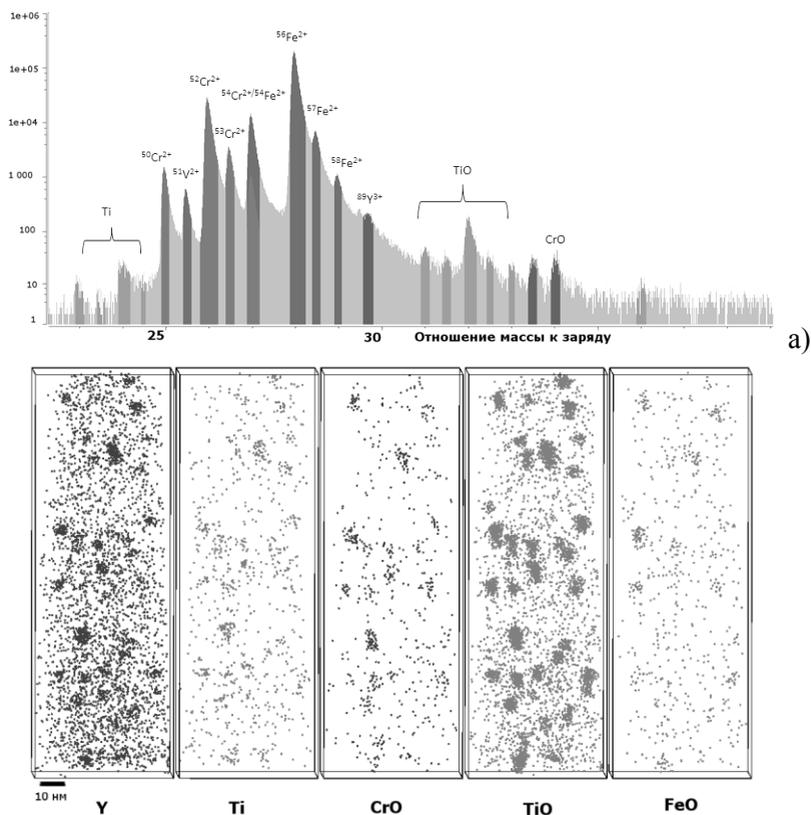
117218 Россия, Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31
конт. тел.: +7 (903) 535 6694, e-mail: antchuk@gmail.com

Атомно-зондовая томография является достаточно новым и динамично развивающимся методом исследования материалов на атомных масштабах, восстанавливающим расположение атомов в объеме материала при одновременном определении их химической природы. В частности, томографические атомно-зондовые исследования позволяют выявить наноразмерные выделения, содержащие всего несколько атомов, установить химическую природу каждого из них [1]. Эта особенность обеспечивает атомно-зондовой томографии существенное преимущество перед другими методиками при исследовании наноструктурированных материалов. В основе этого метода лежит принцип по-атомной разборки материалов и проекционного увеличения, использовавшегося ранее в полевой автоионной микроскопии, а также времяпролетная масс-спектрометрия, примененная к каждому испаренному иону [2, 3]. Типичный получаемый масс-спектр и трехмерный объем (атомная карта) представлены на Рис. 1.

В настоящей работе представлены результаты разработки, создания и пуска Прототипа Атомного Зонда с фемтосекундным Лазерным испарением и позиционно-чувствительным детектором на линиях задержки для томографического (3D) анализа химического состава материалов (далее ПАЗЛ-3D). На примере исследования вольфрама продемонстрированы возможности прототипа: разрешение по массе, пространственное разрешение и эффективность сбора данных. Также показаны возможности по исследованию мо-

дельных сплавов, сплавов на основе титана и дисперсно-упрочненных оксидами сталей.



б)

Рис.1 а) Основная часть масс-спектра стали KAERI; б) атомная карта (каждой точке соответствует зарегистрированный при испарении образца ион: Y, Ti, CrO, TiO либо FeO).

Получаемая информация на атомно-зондовом томографе позволяет определять химический состав, размеры и плотность наноразмерных особенностей материалов. На атомной карте (Рис.1 б) стали, разрабатываемой Корейским Исследовательским Институтом Атомной Энергии (KAERI), легко увидеть упрочняющие мате-

риал наноразмерные кластеры, в состав которых входят Y, Ti, Cr, Ti, Fe и O.

Литература:

1. S.V. Rogozhkin, A.A. Aleev, A.G. Zaluzhnyi, A.A. Nikitin, N.A. Iskandarov, P. Vladimirov, R. Lindau, A. Möslang, Atom probe characterization of nano-scaled features in irradiated ODS Eurofer steel, *Journal of Nuclear Materials*. 2011. V. 409, P. 94–99
2. E.W. Muller, J.A. Panitz, S.B. McLane *Rev. Sci. Instrum.* 1968. V. 39. P. 83–86.
3. M.K. Miller, R.G. Forbes. *Atom-Probe Tomography. The Local Electrode Atom Probe.* (London: Springer, 2014).

РАСЧЕТ КИНЕТИКИ РЕЛАКСАЦИИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В СИСТЕМЕ «НАНОКРИСТАЛЛ КРЕМНИЯ – ТОЧЕЧНЫЙ ДЕФЕКТ»

Мананков А.А.¹, Гонгальский М.Б.¹, Тимошенко В.Ю.^{1,2}

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

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
+7-962-992-28-20, andrewmanankov@gmail.com

В современной научной литературе пристальное внимание уделяется свойствам кремниевых наноструктур. Они обладают значительным потенциалом для применения в оптоэлектронике и биомедицине, что обуславливается эффективной фотолюминесценцией (ФЛ) кремниевых нанокристаллов, которая была впервые продемонстрирована Л. Кэнэмом.

Основной задачей данной работы является изучение кинетики релаксации ФЛ нанокристаллов кремния, сформированных лазерной абляцией кремниевой мишени в атмосфере гелия. Примечательно, что в отличие от пористого кремния, кинетика релаксации ФЛ которого имеет моноэкспоненциальный вид, в исследуемой системе наблюдается степенная зависимость $I(t) \propto t^{-\mu}$ (рис. 1а), причем показатель степени μ остается постоянным в широком диапазоне температур измерения кинетик ФЛ. Данный факт свидетельствует о наличии туннелирования в системе.

В литературе степенные кинетики релаксации ФЛ часто связывают с процессами захвата носителей заряда на уровни, расположенные в окружающей нанокристаллы матрице. Авторы [1] объясняют подобную степенную зависимость захватом электронов на равномерно распределенные в аморфной матрице ловушки с одинаковой энергией и последующим освобождением электронов. В настоящей работе моделирование кинетики основано на расчете волновых функций (ВФ) и энергий носителей заряда в рамках модели, согласно которой нанокристалл, имеющий размер d , представляется в виде потенциальной ямы конечной глубины $-U_0$, а ловушка, на которую происходит захват носителей заряда, имеет

вид дельта-образной потенциальной ямы $-\alpha\delta(x)$, расположенной на расстоянии a от нанокристалла (рис.1б).

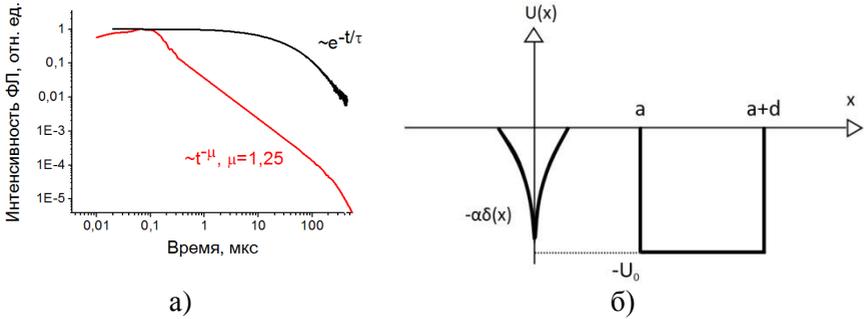


Рис. 1. а) Кинетики релаксации ФЛ наночастиц кремния, сформированных методом лазерной абляции (красный спектр) и пористого кремния (черный спектр), б) модельный потенциал нанокристалла и точечного дефекта.

Для решения поставленной задачи был использован метод линейной комбинации атомных орбиталей (ЛКАО) [2]. Для нахождения ВФ и энергий было решено уравнение Шредингера в одноэлектронном приближении с эффективным гамильтонианом

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U(x), \text{ где } U(x) = -\alpha\delta(x) - U_0.$$

Полученное решение объясняет экспериментально обнаруженное уменьшение энергии экситона, ограниченного в нанокристалле, вследствие чего спектр ФЛ нанокристаллов кремния сдвигается в сторону больших длин волн. Для расчета вероятностей спонтанных переходов (т.е. туннелирования из нанокристалла на дефект и обратно) в электрическом дипольном приближении был применен метод, развитый Эйнштейном в 1917 г. [3]. Согласно теории, скорость спонтанного перехода из заполненного состояния в неза-

селенное дается выражением $W = \frac{4}{3} \frac{e^2}{\hbar} \left(\frac{w_{ns}}{c}\right)^3 |\langle \psi_s | x | \psi_n \rangle|^2$, где

$\langle \psi_s | x | \psi_n \rangle$ - дипольный матричный элемент, а w_{ns} - частота излучения.

Из результатов моделирования следует, что рассматриваемые ансамбли нанокристаллов отличаются от нанокристаллов пористого кремния меньшей высотой барьера окружающей их матрицы SiO_x , что приводит к эффективной безызлучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда и существенному уменьшению их квантового выхода ФЛ.

Литература

1. Verberk R., van Oijen A., Orrit M. Simple model for the power-law blinking of single semiconductor nanocrystals. *Phys. Rev. B*. 2002. Vol. 66, № 23. P. 1-4.
2. Базилевский М.В. Метод молекулярных орбит и реакционная способность органических молекул. М.: Химия, 1969. 304 с.
3. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989. 341 с.

КЛАСТЕРНЫЕ ИОННЫЕ ПУЧКИ КАК НОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХГЛАДКИХ ПОДЛОЖЕК В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Матющенко И.А.

*НИЯУ «МИФИ», Институт функциональной ядерной электроники,
г. Москва
+7(965)3310878, e-mail: matushenko.ilya@gmail.com*

Нерешенной проблемой в технологии производства элементов нанoeлектроники является получение подложек с малой шероховатостью (единицы ангстрем), и малой глубиной нарушенного слоя. Традиционно для этого используется химико-механическая полировка. Однако этот метод является весьма трудоемким для планаризации особо твердых материалов, таких как алмаз, SiC, Al₂O₃.

В связи с этим, предлагается использовать кластерно-ионную технологию для этой и других задач модифицирования поверхности.

Происходящие при этом процессы характеризуются малым нарушением поверхности и структуры мишени, явлением латерального распыления и активным химическим взаимодействием (в случае химически активных кластеров) веществ пучка и облучаемого материала.

Кластер - это агломерат атомарных или молекулярных частиц, от единиц до десятков тысяч. Такое образование представляет собой промежуточное состояние между молекулярным и конденсированным состоянием вещества. В случае газовых кластеров (Ar_N, (N₂)_N, (CO₂)_N и т.д.) частицы удерживаются вместе Ван-дер-Ваальсовскими силами, энергия которых составляет порядка 10 мэВ [1]. При ударе кластера о поверхность одновременно взаимодействует большое количество атомов. Каждый атом ускоренного кластера обладает энергией $E=1/N$, где N – число атомов, составляющих кластер.

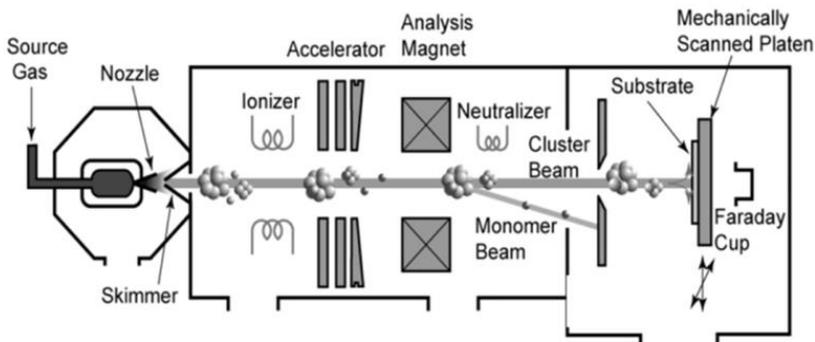


Рис. 1. Принципиальная схема установки для получения и ускорения кластерных ионов и атомов

Кластерные ионные пучки получают при сверхзвуковом истечении газа через сопло особой конфигурации (сопло Лавалья). Сверхзвуковой поток частиц, выходя в вакуумную камеру, адиабатически охлаждается и конденсируется в кластеры. Двигаясь дальше по тракту ускорителя, центральная часть струи с наиболее стабильным потоком вырезается апертурой особой формы, называемой скиммером. Далее кластеры ионизируются, ускоряются до требуемых энергий, масс-сепарируются, отклоняясь постоянным магнитом, и бомбардируют поверхность мишени. Принципиальная схема установки изображена на рис. 1.

При ускорении кластеров и ионов-мономеров до равных энергий взаимодействие кластеров с поверхностью будет значительно мягче, в то время как мономер индуцирует значительные повреждения.

На рис.2 приведены АСМ изображения CVD-пленок алмаза до облучения (а), после облучения Ag (б), после облучения O₂ (в) [2]. На исходной поверхности множество выступов, средняя шероховатость 130 нм. После облучения кластерами Ag острые грани исчезли, и была получена достаточно гладкая поверхность. После воздействия кластерами O₂ качество поверхности почти не изменилось.

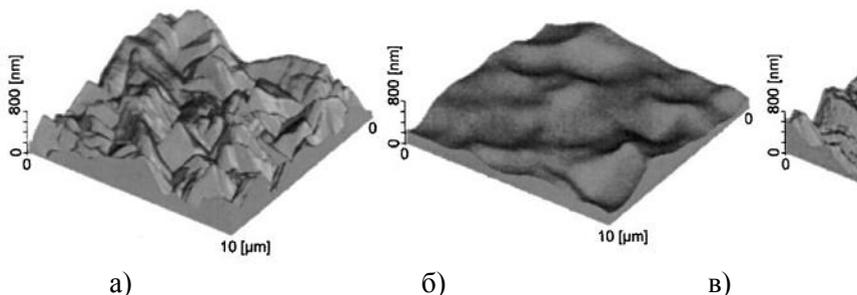


Рис.2. АСМ изображения CVD-пленок алмаза, а) До облучения, б) После облучения кластерами Ar (20 кэВ, $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$), в) После облучения кластерами O_2 (20 кэВ, $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$)

Исходя из преимуществ описанного метода над ХМП, он может быть успешно применен в технологии производства элементов наноэлектроники для планаризации практически любых материалов до шероховатости не более единиц ангстрем.

Литература

1. А.Е. Иешкин Процессы формирования газовых кластерных ионов и их взаимодействия с поверхностью. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. МГУ им. М.В. Ломоносова, Физ. фак., М., 2015 г.
2. Toyoda N. et al., Nucl. Instr. and Meth. В 148 (1999) 639-644.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ CVD-ГРАФЕНА, ПЕРЕНОСЕННОГО НА СТЕКЛО МЕТОДОМ ТЕРМОСКОТЧА

Ноговицына М.В., Иннокентьева Н.Н., Неустроев Е.П.

*ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова», г. Якутск
+79142813890, maria_nogavi-1988@mail.ru*

Прозрачные проводящие электроды являются важнейшим компонентом различных жидкокристаллических экранов, органических светодиодов (OLED) и сенсорных экранов (Touchscreen). Благодаря сочетанию высокой прозрачности и проводимости, наиболее используемым материалом является оксид индия-олова (ITO), подвижность свободных носителей заряда которого составляет от 10 до 30 см²/В*с, а поверхностное сопротивление может достигнуть от 10 Ом/□ до 2-4 Мом/□ [1]. Наряду с достоинствами, ITO имеет ряд недостатков, одним из которых является дороговизна индия, а также невозможность использовать его в качестве гибких электродов из-за его хрупкости. В последнее время, графен, материал, состоящий из шестиугольных ячеек атомов углерода, привлекает большое внимание в качестве перспективного материала для прозрачных проводящих электродов из-за его выдающихся электрических, оптических и механических свойств, включая высокую подвижность носителей заряда (200 000 см²/(В•с)), оптическую прозрачность (97%) и высокий модуль Юнга [2].

Существует несколько способов получения графена, одним из которых является выращивание графена методом газофазного осаждения (CVD). CVD графен может быть перенесен на диэлектрические пленки разными методами. Способ переноса в значительной степени определяет параметры полученных слоев [3]. В данной работе был использован метод переноса графена с использованием термоскотча на стекло (рис.1).

Спектры комбинационного рассеяния света (КРС), проводившиеся при комнатной температуре, содержат характерные для графена D и G пики, что показывает достаточно хороший результат переноса [4]. Толщина пленок, по данным атомно-силового микроскопа (АСМ), 1-2 нм. В качестве контактов, для измерения электрических

параметров, была использована серебряная паста, которая наносилась на поверхность перенесенного графена. Измерения проводились методом эффекта Холла на приборе Есориа HMS5000 при комнатной температуре. Образец имеет р-тип проводимости, подвижность основных носителей заряда (μ) $\sim 7,0$ см²/В*с. Слоевое удельное сопротивление для образца - 3 кОм/□. Были измерены спектры пропускания на спектрофотометре КФК-2МП. На рис. 2 приведен график зависимости коэффициента пропускания образца в зависимости от длины волны. Значение при длинах волн 400÷800 нм $\sim 90\%$.

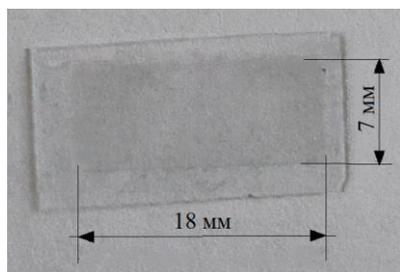


Рис.1 CVD графен, перенесенный на стекло

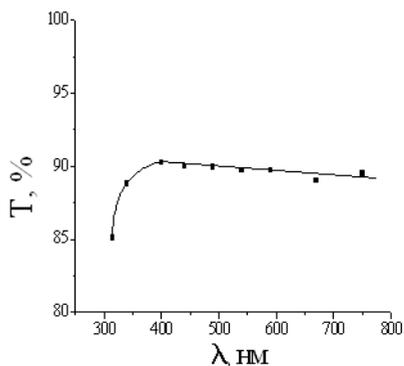


Рис.2 Коэффициент пропускания CVD графена, перенесенного на стекло.

В работе показано, что с помощью переноса CVD графена на диэлектрическую подложку, можно получить проводящие пленки графена достаточно большой площади, а также электрическими и оптическими параметрами, соответствующими параметрам прозрачных электродов на основе ИТО.

Литература

1. П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров, Ю.С. Жидик. Прозрачные электропроводящие покрытия // Доклады ТУСУРа, № 1 (31), март 2014. – стр. 99-102
2. Park S., Ruoff RS. Chemical methods for the production of graphenes // Nature Nanotechnology. – 2009 (4). – p.217-224

3. И.В. Антонова, С.В. Голод, Р.А. Соотс, А.И. Комонов, В.А. Селезнев, М.А. Сергеев, В.А. Володин, В.Я. Принц. Сравнение разных способов переноса графена и мультиграфена, выращенных методом химического газофазного осаждения, на изолирующую подложку SiO₂/Si // Физика и техника полупроводников. - 2014, том 48, вып. 6, стр. 827-832

4. I. Childres, L. A. Jauregui, W. Park, H. Cao and Y. P. Chen, Raman Spectroscopy of Graphene and Related Materials // New Developments in Photon and Materials Research. – 2013 (1). -p. 978–981

МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТИТАНА VT1-0 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Осинцев К.А.¹, Комиссарова И.А.¹, Коновалов С.В.¹, Косинов Д.А.¹, Завацкий О.В.¹, Иванов Ю.Ф.^{2,3}, Тересов А.Д.^{2,3}, Иванова О.В.⁴

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

⁴Томский государственный архитектурно-строительный университет,
Томск, Россия

8-960-927-5258, kirilloss@yandex.ru

Процесс усталостного разрушения металлов и сплавов, развивается в большей степени в зоне усталостного роста трещины и, в существенно меньшей степени, в зоне долома. Поэтому, на усталостную долговечность материала существенное влияние оказывает состояние его поверхностного слоя. Метод упрочнения поверхности интенсивным импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия является в настоящее время одним из перспективных, так как позволяет модифицировать структуру поверхностного слоя толщиной в десятки микрометров, переводя его в многослойное состояние и, при этом, практически не изменяя структуру и свойства основного объема сплава [1-4]. В связи с этим, целью настоящей работы является составление модельных представлений о теплофизических процессах, протекающих в поверхностном слое титана VT1-0 при воздействии электронным пучком.

В результате моделирования теплофизических процессов, протекающих в поверхностном слое титана VT1-0 под воздействием электронного пучка было выяснено, что данное облучение позволяет реализовать условия сверхвысоких скоростей нагрева (до 10^8 град/с) поверхностного слоя до критических температур (плавление и испарение) и сформировать в поверхностном слое предель-

ные градиенты температуры ($10^7 - 10^8$ град/м), обеспечивающие его охлаждение за счет теплоотвода в интегрально холодный объем материала со скоростью до 10^7 град/с [5, 6].

Численное решение задачи о нахождении температурного поля [5], формирующегося в поверхностном слое титана, облученного интенсивным электронным пучком, позволило оценить толщину модифицированного слоя, максимальную температуру, достигаемую на поверхности облучения, градиент температуры, скорости нагрева и охлаждения, интервал времени существования материала в различном агрегатном состоянии. Толщина поверхностного слоя для тепловых расчетов $d = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, время наблюдения 600 мкс. Было показано, что облучение титана в одноимпульсном режиме пучком электронов при указанных параметрах приводит к плавлению поверхностного слоя толщиной 18,1 мкм. Данный слой разбивается на два подслоя: поверхностный, толщиной 10,4 мкм, являющийся однофазным (жидкость) и переходный слой толщиной 7,7 мкм, являющийся двухфазным (жидкость + твердое состояние). Время существования первого слоя составляет 80 мкс; интервал времени от начала плавления до завершения кристаллизации титана составляет 147,2 мкс.

Таким образом полученные результаты могут свидетельствовать о том, что при воздействии электронным пучком в поверхностном слое образцов титана VT1-0 во временном интервале одиночного импульса облучения создаются условия образования неравновесного состояния, в котором фиксируются субмикро- наноструктурные многофазные (в отдельных случаях, аморфные) структуры, характеризующиеся свойствами, трудно реализуемыми при традиционных методах обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-32-60048 мол_а_дк), гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (проект МД-2920.2015.8) и государственного задания № 3.1496.2014/К.

Литература

V.E. Gromov, Yu.F. Ivanov, S.V. Vorobiev, S.V. Konovalov. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams. (Cambridge: Cambridge International Science Publishing Ltd, 2015).

Y.F. Ivanov, V.E. Gromov, S.V. Konovalov. "Electron-beam modification of the pearlite steel". Arabian Journal for Science and Engineering. V. 34. № 2A. P. 233-243 (2009).

Н.Н. Коваль, Ю.Ф. Иванов. «Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке» Известия вузов. Физика. №5. С. 60-70 (2008).

V. Rotshtein, Yu. Ivanov, A. Markov. "Surface treatment of materials with low-energy, high-current electron beams". Chapter 6 in Book "Materials surface processing by directed energy techniques". - P. 205-240. Ed. by Y. Pauleau: (Elsevier. 2006).

Yu. Ivanov, O. Krygina, M. Rygina, E. Petrikova, A. Teresov, V. Shugurov, O. Ivanova, I. Ikonnikova. "Combined modification of aluminum by electron-ion-plasma methods". High Temperature Material Processes. V. 18(4). P. 311-317 (2014).

А.А. Самарский. Введение в численные методы. (М.: Наука. 1997).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ОБРАТИМОГО ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ

Рожков Д.А., Шеляков А.В., Березин М.Ю.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва
+79055019223, denworx@yandex.ru*

Развитие наукоемких технологий в большинстве отраслей промышленности связано с миниатюризацией исполнительных элементов и микроустройств на их основе. Сплавы, проявляющие эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхупругость, идеально подходят для этих задач. Целью настоящей работы являлось создание и исследование микрозахвата (микропинцета) на основе обратимого эффекта памяти формы (ОЭПФ).

Для создания микрозахвата использовался сплав TiNiCu, полученный методом быстрой закалки из расплава в виде тонкой аморфно-кристаллической ленты, которая проявляет ОЭПФ на изгиб [1]. Ширина ленты составляла 400-420 мкм, толщина – около 40 мкм. Два отрезка такой ленты с помощью микросварки соединились через проставку таким образом, что в холодном состоянии между лентами устанавливался зазор 65 мкм (Рис. 1а), а при нагреве ленты двигались навстречу друг другу, оказываясь в полностью сомкнутом состоянии при температуре выше A_k (Рис. 1б). При этом длина захвата составляла 850 мкм. Для наблюдения за поведением пинцета применялся оптический микроскоп Levenhuk 670T, оборудованный видеокамерой C510 NG.

Управление микропинцетом осуществлялось посредством устройства температурного контроля на основе элемента Пельтье, на одной стороне которого расположена тонкая пластина из серебра с закрепленным на ее конце микрозахватом. Элемент Пельтье установлен на теплопроводящую керамическую консоль, закрепленную в коннекторе, который предназначен для соединения с манипулятором 3D-перемещения. На пластине находится термистор, измеряющий ее температуру. Устройство управляется контроллером, который представляет собой прецизионный программируемый

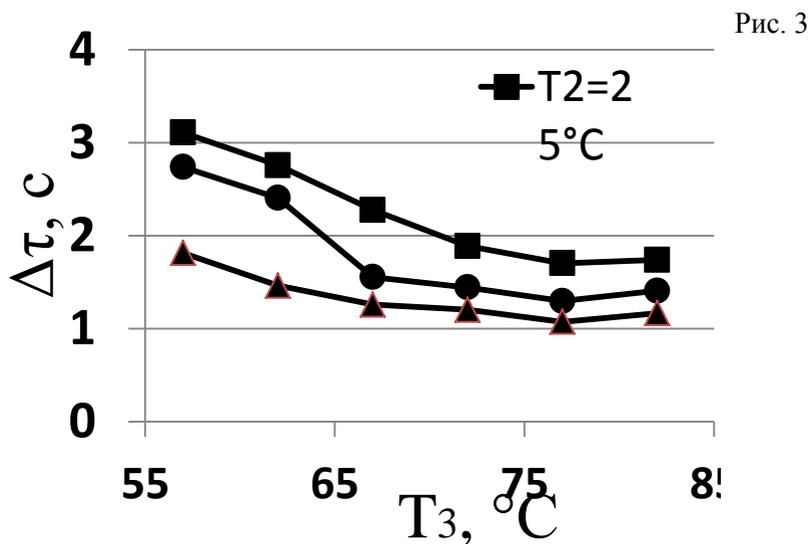
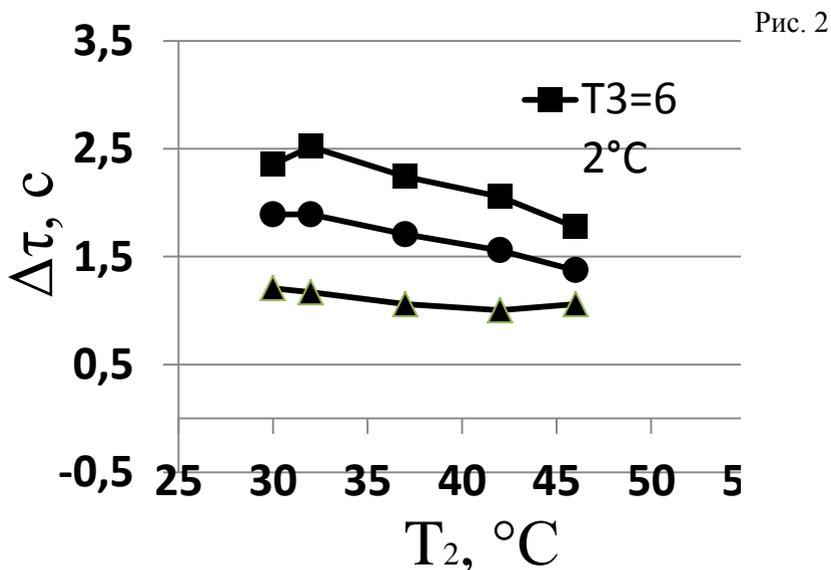
модуль управления термоэлектрическими элементами. Он позволяет поддерживать заданную температуру устройства с высокой точностью или обрабатывать заданный режим нагрева и охлаждения во времени с помощью специальной программы. Рабочее окно программы позволяет выводить и архивировать информацию о текущих параметрах устройства.



Рис. 1

Временные характеристики пинцета определялись методом записи видео с экрана компьютера, когда на монитор одновременно выведено изображение пинцета с микроскопа и параметры обработки программы нагрева/охлаждения на контроллере. Обработка видео позволяет определить время срабатывания пинцета при смыкании и размыкании.

В работе определялась взаимосвязь быстродействия пинцета с устанавливаемыми температурными режимами. При этом варьировались температура предварительного подогрева пинцета T_2 (вблизи температуры начала срабатывания одиночной ленты $A_n=47^\circ\text{C}$), а также температура нагрева T_3 (выше температуры полного срабатывания одиночной ленты $A_k=56^\circ\text{C}$). На рисунке 2 представлена зависимость времени срабатывания Δt микропинцета от температуры T_2 при различных значениях T_3 , а на рисунке 3 - зависимость Δt от T_3 при различных значениях T_2 .



Как видно из полученных графиков, скорость срабатывания микропинцета существенно зависит как от температуры T_2 , так и от температуры T_3 . При оптимальном режиме управления

($T_2=42^\circ\text{C}$, $T_3=72^\circ\text{C}$) время срабатывания микрозахвата составило 1,1 с.

Следует отметить, что размыкание пинцета при охлаждении от вышеуказанных температур T_3 до установленной контроллером температуры $T_1=17^\circ\text{C}$ происходит за времена от 1,8 до 2,2 с.

Разработанный микропинцет может быть использован, в частности, в микроэлектронике, робототехнике или микробиологии, для захвата и перемещения микрообъектов различного происхождения размером до 60 мкм.

Список литературы:

1. А.В. Шеляков, Н.Н. Ситников, А.П. Менушенков, Р.Н. Ризаханов, А.А. Ашмарин, Формирование обратимого эффекта памяти формы в сплаве TiNiCu методом спиннингования // Известия РАН. Серия физическая, 2015, том 79, № 9, с. 1281–1287.

НЕЙРОМОРФНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Сафин А.Р.^{1,2}

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет «МГТУ

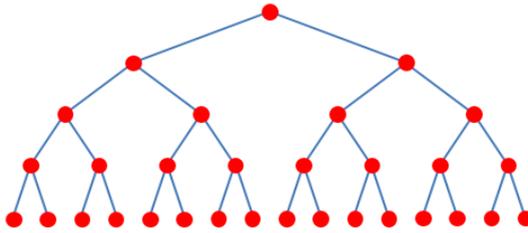
им. Н.Э. Баумана», Москва, Россия

8-906-065-60-45, arsafin@gmail.com

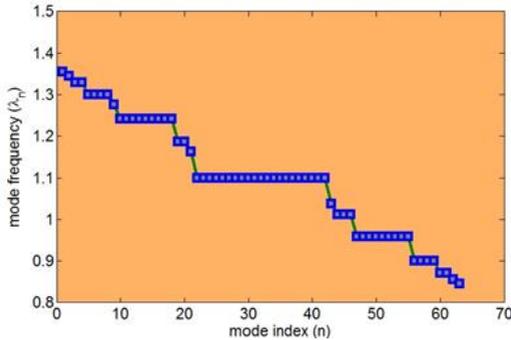
Нейроморфные системы и нейронные сети являются чрезвычайно актуальной и популярной областью прикладных и теоретических исследований [1]. Базовые ячейки современных нейроморфных процессоров – нейроны и аксоны построены на основе транзисторов. В последние годы [2] предлагаются альтернативные модели нейронов и аксонов на основе спинтроники, а точнее эффекта переноса спина в магнитных мультислойных наноструктурах. Предлагаемые наноструктуры представляют собой в простейшем варианте наностолбики из двух магнитных слоев наноразмерной толщины, разделенных немагнитной прослойкой. Намагниченность одного из слоев жестко фиксирована, а второго может меняться в зависимости от поля подмагничивания или протекающего тока. Через наностолбик пропускается ток порядка единиц миллиампер, причем спины электронов в слое с фиксированной намагниченностью поляризуются по спину, туннелируются в слой со свободной намагниченностью и взаимодействуют с электронами решетки (sd-обменное взаимодействие). При превышении тока некоторого критического значения влияние sd-обменного взаимодействия становится настолько значительным, что может произойти перемагничивание слоя или прецессия намагниченности в диапазоне микроволн (от 200 МГц до 30 ГГц). Последний эффект используется для создания миниатюрных генераторов микроволн и новых видов памяти [2].

Ранее было показано [2], что магнитный наностолбик при некоторых параметрах может демонстрировать мемристивный эффект (зависимость сопротивления от намагниченности) и может являться прототипом нейрона или аксона. Объединение в нейронную сеть при этом может осуществляться за счет разных механизмов связи.

Одним из первых предложенных механизмов является нелокальная связь за счет электрических контактов. Она обладает существенным недостатком, связанным с большими потерями мощности. Альтернативным механизмом является использование локальных механизмов связи за счет магнетодипольного взаимодействия или спиновых волн, распространяющихся в общем ферромагнитном рабочем слое (см. напр. [3]). Поэтому чрезвычайно важной и актуальной с теоретической точки зрения является задача исследования ансамблей спиновых наноосцилляторов с различной топологией.



а)



б)

Рис. 1. а) Иерархический ансамбль наноосцилляторов, б) зависимость погонного шунтового эффективного сопротивления от скорости частиц

В данной работе исследовались иерархические ансамбли наноосцилляторов (см. рис. 1а) на предмет динамики возможных состояний системы в фазовом пространстве. Задача решалась следующим образом. На первом этапе записываются уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта-Слончевского для каждого наноосциллятора.

Далее в линейном консервативном случае (затухание считается малым) ищутся нормальные моды колебаний. Было показано (см. рис.1б), что для иерархической системы типа «бинарное дерево» структура нормальных мод представляет собой фрактал типа «чертова лестница». Далее производится переход от исходных координат к нормальным координатам и записываются нелинейные уравнения с учетом диссипации, которые и анализируются в фазовом пространстве.

Проведенные исследования дают возможность определить как параметры индивидуальных наноосцилляторов, так и структуры иерархической сети, при которых достигается режим полной частотной и фазовой синхронизации нейронов на одной колебательной моде.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента для молодых кандидатов наук (проект № МК-7026.2016.8).

Литература

1. F. Dressler, O. Akan. «A survey on bio-inspired networking». *Comp. Net.* Vol. 54. P. 881-900 (2010).
2. N. Locatelli, V. Cros, J. Grollier. «Spin-torque building blocks». *Nat. Mat.* Vol. 13. P. 11-20 (2014).
3. A.R. Safin, N.N. Udalov, M.V. Kapranov. «Mutual phase locking of very nonidentical spin torque nanooscillators via spin wave interaction». *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* Vol. 67. P. 20601 (2014).

СИНТЕЗ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК, СОДЕРЖАЩИХ ВКЛЮЧЕНИЯ EuF_3

Седов В.С.^{1,2}, Мартьянов А.К.², Маякова М.², Кузнецов С.²,
Ральченко В.Г.¹, Переверзев В.Г.¹

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

² *Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва
8 (499) 503-87-81, e-mail, sedovvadim@yandex.ru*

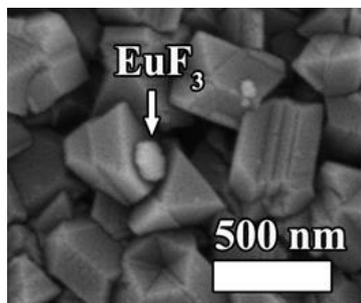
Алмаз является прозрачным материалом в видимом и ближнем ИК диапазоне. Введение в решетку примесей позволяет сформировать в алмазе центры окраски, активные в видимой и ближней ИК областях спектра. [1] В 2014 году в работе Мэйгар и др. [2] был впервые получен алмаз, содержащий оптически активные центры европия, путем внедрения Eu в матрицу алмаза в процессе синтеза из СВЧ-плазмы. Однако процесс формирования центров Eu-V оказался трудоемким, мало контролируемым и слабо воспроизводимым. Целью данной работы являлся синтез в СВЧ плазме в смесях «метан-водород» алмазных плёнок, содержащих наночастицы EuF_3 , а также изучение их оптических свойств.

Алмазные слои были получены в плазмохимическом СВЧ реакторе ARDIS-100 (2,45 ГГц). Структура поверхности образцов изучались методами растровой электронной микроскопии (система TESCAN MIRA3, содержащая приставку элементного анализа методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии – EDX). Спектры комбинационного рассеяния (КР) и фотолюминесценции (ФЛ) изучались на установке LabRam HR (фирма Horiba, Франция) с длиной волны возбуждающего излучения 473 нм и диаметром пятна твердотельного лазера на образце около 1 мкм.

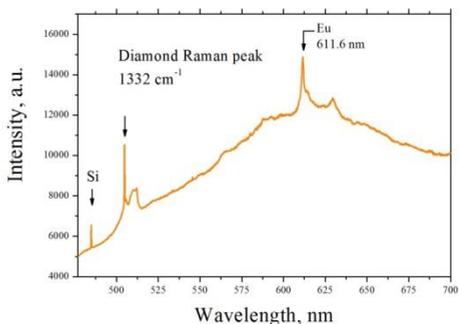
Порошок фторида европия(III) представлял собой частицы дискообразной формы с диаметром 200-400 нм и толщиной 50-150 нм (Рис. 1а). На основе данного порошка была изготовлена водная суспензия (концентрация – 0.1 %вес, ультразвуковая обработка в течение 15 минут), которая была нанесена на подложку синтезированной микрокристаллической алмазной пленки с последующей сушкой на воздухе. Далее, образец был разделен на 4 части одина-

кового размера ($10 \times 10 \times 0.5 \text{ nm}^3$), на которых по отдельности был осуществлен CVD-синтез дополнительного алмазного слоя (условия синтеза аналогичны этапу нанесения микрокристаллической пленки на кремний). Время роста составляло 10, 20, 30 и 40 минут для четырех образцов. Исследование изображений РЭМ показало, что самый короткий 10-минутный рост приводит к полному зарастанию одиночных наночастиц алмазом.

После этапа повторного синтеза алмаза в микрокристаллических пленках была обнаружена интенсивная точечная люминесценция одиночных частиц фторида европия на длине волны 612 нм (Рис 1б), причем их спектр люминесценции сильно отличается от спектра исходного порошка и демонстрирует преобладающую интенсивность перехода $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ (612 нм, полуширина 1,2 нм) над переходом $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$, что говорит о низкой симметрии ближайшего окружения Eu^{3+} . Такое изменение в окружении могло произойти на границах наночастиц в результате взаимодействия их с атомами алмаза.



а)



б)

Рис. 1. а) Изображение РЭМ наночастицы EuF_3 на микрокристаллической алмазной пленке, б) спектр ФЛ наночастиц фторида европия в алмазной матрице

Полученные результаты демонстрируют возможность создания композитов «Наночастицы в алмазной матрице». В качестве материала наночастиц будут использованы оксиды и фториды редкоземельных и щелочноземельных материалов, обладающих уникальными оптическими характеристиками, в том числе интенсивной апконверсионной и рентгенолюминесценцией. Подобные материалы

перспективны для создания рентгенолюминесцентных алмазных мембран – сцинтилляторов для высокомоощных лазеров на свободных электронах, а также композитных алмазных наночастиц (размер до 100 нм) для создания ап-конверсионных биомаркеров с возможностью их использования в качестве носителей для направленного транспорта лекарственных веществ.

Работа поддержана РФФИ (грант N 15-52-04073 Бел_мол), БРФФИ (грант Ф15PM-046) и грантом Президента РФ № СП-2575.2015.5.

Литература

1. Aharonovich I., Greentree A. D., Prawer S. Diamond photonics //Nature Photonics. – 2011. – Т. 5. – №. 7. – С. 397-405.
2. Magyar A. et al. Synthesis of luminescent europium defects in diamond //Nature communications. – 2014. – Т. 5.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ Fe И ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАССИВНЫХ ОБРАЗЦОВ СОСТАВА $Ni_{57-x}Fe_xMn_{21}Al_{22}$ ($x = 2, 4, 6, 8$)

Середина М.А.¹, Лянге М.В.¹, Ховайло В.В.¹, Реснина Н.Н.², Карпенков Д.Ю.³

¹Национальный Исследовательский Технологический Университет "МИСиС", Москва

²Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург

*³Тверской Государственный Университет, Тверь
+7-925-318-6144, nmseredina@gmail.com*

В настоящее время сплавы Гейслера привлекают большое внимание благодаря набору уникальных свойств. Одним из них является эффект памяти формы, открытый еще в 1932 году в сплаве NiTi. Однако ввиду дороговизны данного сплава ведутся поиски более дешевых, но обладающих такими же свойствами материалов. Омори обнаружил сверхпластичные свойства в поликристаллическом сплаве FeMnAlNi [1], было выдвинуто предположение, что четырехкомпонентные сплавы с добавлением Fe на основе сплава Гейслера Ni-Mn-Al будут обладать схожими свойствами. Управление функциональными свойствами при помощи температуры имеет большое значение для практического применения. Однако помимо высоких характеристик пластичности необходимо, чтобы материал обладал хорошими прочностными характеристиками. Поэтому нами было принято решение исследовать влияние легирования железом на характеристики прочности и пластичности магнитных сплавов с памятью формы Ni-Mn-Al.

Образцы были получены методом дуговой плавки и были отожжены при температуре 1273 К в течение 168 часов. Анализ микроструктуры показал двухфазность образцов. Вторая фаза по химическому составу сильно отличалась от требуемой - она была обогащена никелем и обеднена алюминием. Дифференциальная сканирующая калориметрия показала наличие фазовых переходов во всех образцах, наиболее ярко переход выражен для образца Fe2, что может быть результатом того, что в данном образце количе-

ство требуемой фазы значительно выше, чем в других. Температуры мартенситных переходов с увеличением содержания железа смещались в сторону высоких температур. В таблице 1 представлены температуры превращений для каждого образца.

Таблица 1. Температуры превращений для каждого образца				
Образец	Температуры переходов, К			
	M_H	M_K	A_H	A_K
1	2	3	4	5
Fe2	269	253	260	275
Fe4	300	248	260	308
1	2	3	4	5
Fe6	318	257	266	319
Fe8	353	290	287	356

Исследование механических свойств проводилось на испытательной машине фирмы SHIMADZU. При комнатной температуре в образцах наблюдался рост предела прочности с увеличением содержания Fe - от 870 МПа до значений выше 1500 МПа для образцов $Ni_{55}Fe_2Mn_{21}Al_{22}$ и $Ni_{49}Fe_8Mn_{21}Al_{22}$ соответственно. Кроме того, для образца Fe2 в соответствии данным дифференциальной сканирующей калориметрии были проведены измерения предела прочности при различных температурах, наблюдалось его повышение при переходе из аустенитной в мартенситную область.

Для образца $Ni_{55}Fe_2Mn_{21}Al_{22}$ также были проведены вычисления и анализ характеристик пластичности. Было установлено, что при понижении температуры происходило уменьшение доли упругой деформации, вместе с тем происходил рост вклада псевдоупругости в общую деформацию, а как известно, псевдоупругость является основным признаком наличия эффекта памяти формы. На рисунке 1 можно наблюдать наглядную зависимость вкладов упругой и неупругой деформаций (она же псевдоупругость) при приложении нагрузок 100, 400 и 500 МПа в зависимости от температуры для данного образца.

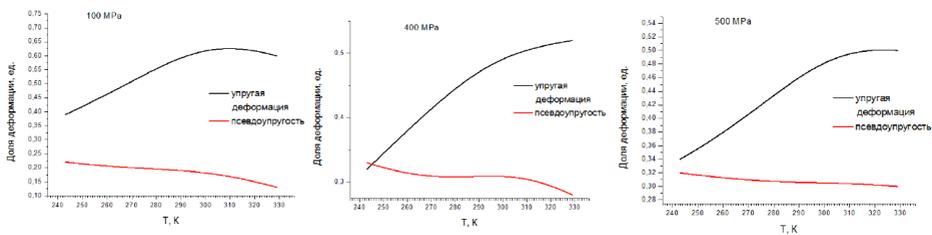


Рис.1. Температурные зависимости вкладов упругой и неупругой деформации для образца $\text{Ni}_{55}\text{Fe}_2\text{Mn}_{21}\text{Al}_{22}$

Литература

1. T. Omori, K. Ando, M. Okano, X. Xu, Y. Tanaka et al., Appl. Phys. Lett. 95, 212504 (2009)

МЕТОД СИНТЕЗА ПОЛЫХ АЛМАЗНЫХ НАНОСФЕР

Совык Д.Н.^{1,2}, Ральченко В.Г.^{1,2}, Курдюков Д.А.³, Голубев В.Г.³,
Хомич А.А.², Конов В.И.^{1,2}

¹НИЯУ МИФИ, Москва

²ИОФ РАН, Москва

³ФТИ им. Иоффе РАН, Санкт-Петербург

конт. тел. (499)503-82-29, e-mail sovyk@inbox.ru

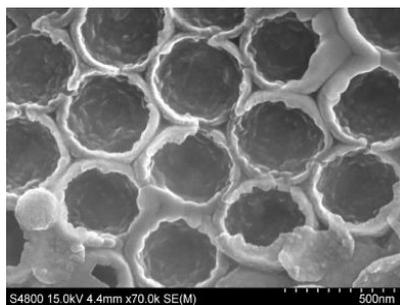
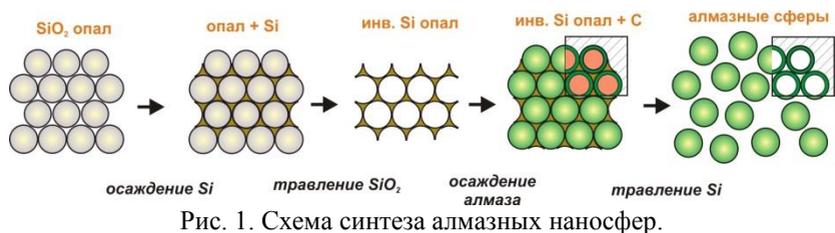
Алмаз благодаря инертности, биосовместимости, наличию яркой фотолюминесценции является весьма перспективным материалом в биомедицине. Полые макро- и наносферы обладают большим внутренним объёмом и удельной поверхностью и перспективны для создания [1,2] средств адресной доставки лекарств в организм с возможностью регулировки времени, дозы и последовательности доставки лекарств из капсул в биоткани, биомаркеров, нанореакторов, адсорбентов (например, в высокоэффективной жидкостной хроматографии), фотокатализаторов, тканевой инженерии.

Методом двойной реплики впервые синтезированы тонкостенные наносферы из поликристаллического алмаза диаметром 260-450 нм, соотношение толщины сфер к их диаметру варьируется от 1/20 до 1/7. Для этого сначала (1) поры исходного SiO₂ темплата (первичной матрицы) заполняли кремнием (Рис. 1), используя химическое осаждение из газовой фазы из смеси SiH₄-H₂, синтезированного по методу Штобера-Финка, затем (2) стравливали химически SiO₂ матрицу, (3) поры Si темплата зарасщивали алмазом из смеси водород-метан в СВЧ (2,45 ГГц), после чего (4) удаляли жидкостным травлением Si темплат.

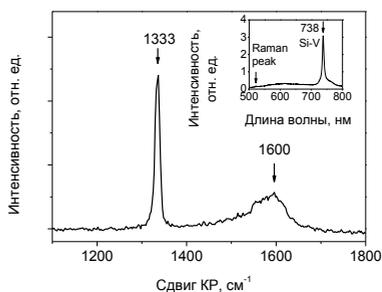
Наносферы были исследованы (Рис. 2) методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР) и фотолюминесценции (ФЛ).

Обнаружена сильная линия ФЛ (вставка Рис. 1б) на длине волны 738 нм от центра окраски кремний-вакансия в решётке алмаза. Кремний автоматически встраивается в структуру растущего алмаза в процессе синтеза благодаря травлению Si темплата атомарным водородом, что избавляет от необходимости вводить дополнительные центры окраски типа родамина бж на наносферы. Полые ал-

мазные наносферы привлекательны для исследования хемотерапии, тканевой инженерии, адсорбции и фотокатализа на их основе.



(а)



(б)

Рис. 2. Алмазные сферы диаметром 450 нм: фото РЭМ (а) и спектры КР (б) и ФЛ (вставка (б)).

Литература

1. S. Pu, A.A. Zinchenko, S. Murata. «DNA-assisted «double-templating» approach for the construction of hollow meshed inorganic nanoshells». Langmuir. Vol. 27. P. 5009-5013 (2011).
2. S. Kennedy, J. Hu, C. Kearney et. al. «Sequential release of nanoparticle payloads from ultrasonically burstable capsules». Biomaterials. Vol. 75. P. 91-101 (2016).

МЕТАМАТЕРИАЛЫ С ТОРОИДНЫМ ОТКЛИКОМ НА ОСНОВЕ ЦИЛИНДРОВ С ВОДОЙ

Стенищев И.В.¹, Башарин А.А.¹

¹ *Национальный Исследовательский Технологический Университет
«МИСиС», г. Москва
8-910-867-00-27, iv.steni@yandex.ru*

Большой интерес вызывает такое направление как наноиндустрия, за счет возможности манипулирования объектами в наномасштабе. В этой сфере перспективны метаматериалы. Метаматериалы – это искусственно созданные среды со свойствами, не встречающимися в природе. Особый интерес вызывают метаматериалы с так называемым тороидным откликом, который исключен из рассмотрения в классической электродинамике, и предсказан впервые Зельдовичем Я.Б. в 1957 году [1] для объяснения слабых взаимодействий в атомном ядре. Но свое второе рождение такие метаматериалы получили в 2010 году благодаря работам Смита и Пендри [3,4]. Благодаря таким метаматериалам мы можем получать сильную локализацию электромагнитного поля, замкнутый контур магнитных линий, получать метаматериалы с низкими радиационными потерями и высокой добротностью. Такие материалы имеют преимущества в нанооптике, станут отличными кандидатами для резонаторов кубитов, эмиттеров наноантенн и других нанотелекоммуникационных устройств.

В работе впервые экспериментально и теоретически продемонстрировано наличие тороидного отклика вблизи частоты 2.6 ГГц в метаматериалах, состоящих из трубочек, заполненных водой (Рис 1.) , важно заметить, что для наблюдения тороидного отклика мы использовали вместо дорогостоящих керамических частиц дистиллированную воду, диэлектрическая проницаемость которой ~ 80 , в то время как тангенс диэлектрических потерь не велик. Такой подход позволяет создавать дешевые прототипы будущих наноустройств и для демонстрации наглядных электродинамических явлений. Интересно заметить, что существует такая частота, при которой энергия тороидного и электрического момента равно по модулю, но за счет своей разнонаправленности они деструктивно ин-

терферируют друг друга и такая ситуация приводит к отсутствию электромагнитных полей вне источника, но у ненулевым значениям векторных потенциалов.



Рис. 1. Метаматериал на основе трубочек, заполненных водой

Таким образом, мы предлагаем метаматериал на основе цилиндров заполненных водой, который позволяет наблюдать тороидный отклик, получать сильную локализацию электромагнитных полей, а так же получать дешевые наглядные прототипы будущих наноустройств, которые обладают высокой добротностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по программе повышения конкурентоспособности НИТУ «МИСиС» среди ведущих мировых научно-образовательных центров (№К4-2015-031) и конкурса УМНИК 15-10 (Договор №8556ГУ/2015). Также мы выражаем благодарность компании Rohde & Schwarz (Россия) за предоставленный векторный анализатор цепей ZNC3.

Литература

[1] В. Zel'dovich, *Electromagnetic interaction with parity violation*, Sov. Phys. JETP **6** (1958) 1184

[2] J.B. Pendry, *Negative refraction makes a perfect lens*, Phys Rev Lett **85**, 3966 (2000)

[3] D. R. Smith et al, *Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity*, Phys Rev Lett **84**, 4184 (2000)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ (ВТСП)

Юрий Владимирович Тысячных¹, Евгений Иванович Демихов¹, Евгений Александрович Костров¹, Антон Викторович Маркелов², Владислав Сергеевич Калитка², Александр Александрович Молодык²

¹ *Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва.*

² *ЗАО «СуперОкс», Москва*

Телефон: +79165485598 E-mail: myzar@mail.ru

Использование ВТСП магнитных экранов на сегодняшний день имеет широкое применение. В частности в токоограничителях [1] и в силовых сверхпроводящих кабелях [2]. Также существуют различные работы по возможному будущему применению ВТСП экранов например для защиты космонавтов от вредного космического излучения во время перелетов [3]

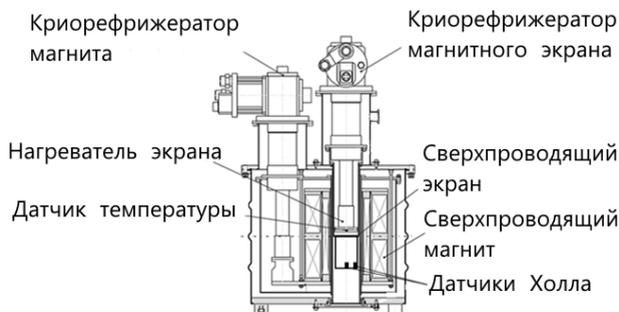


Рис 1. Схема экспериментальной установки.

Целью работы было исследование способности цилиндрического экрана изготовленного из ВТСП лент экранировать внешнее магнитное поле. Воздействие внешнего поля на экран проводилось в различных режимах.

В криостат с магнитом (рисунок 1) помещался ВТСП экран с закрепленным к ним датчикам температуры, нагревателем и датчиками Холла, измеряющими величину аксиального и радиального магнитного поля. Осевая напряженность магнитного поля варьировалась от 0,1 до 2 Тл. Экран захлаживался при помощи криорефрижератора замкнутого цикла, до температуры значительно ниже критической. В работе представлены экспериментальные данные, полученные в ходе испытаний.

Литература

1. Z.L. Chen, W.Z. Gong, A.L. Ren, M.R. Zi, Z.Q. Xiong, D.J. Si, and F. Ye Prospective of Applications of Superconducting Fault Current Limiters in Chinese Power Grids, *Physics Procedia* 36, 894 – 901 (2012).
2. Daisuke Miyagi, Satoru Iwata, Tomohiro Wakatsuki, Norio Takahashi, Fellow, IEEE, Shinji Torii, Kiyotaka Ueda, and Kenji Yasuda, The Shielding Effect of HTS Power Cable Based on E-J Power Law
3. Hoffman J., Fisher P., Batishchev O.: Use of Superconducting Magnet Technology for Astronaut Radiation Protection, Final Report for NIAC Phase I Contract CP 04-01, 2005

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНОГО ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОННОГО КОНДЕНСАТА НА ГРАНИЦЕ ЗОНЫ БРИЛЛЮЭНА

**Чарухчян М.В.¹, Честнов И.Ю.¹, Алоджанц А.П.^{1,2}, Егоров О.³,
Ма Х.³**

¹Владимирский государственный университет, г. Владимир, Россия

²Международная лаборатория «Фотопроцессы в мезоскопических системах», университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³Институт фотонных технологий, Йена, Германия

Тел. 89612558914, martin.charukhchyan@gmail.com

В данной работе исследовано нелинейная динамика экситонных поляритонов в не когерентно накаченных полупроводниковых микрорезонаторах со встроенной периодической решеткой и связанным с экситонным резервуаром. Здесь разъясняются фундаментальные свойства неравновесных экситон-поляритонных конденсатов в ловушке одномерных периодических потенциалов на границах зоны Бриллюэна (π -состояния). Пользуясь теорией среднего поля, рассмотрим открыто-диссипативная модель Гросса-Питаевского (ГП). Поляритонный параметр порядка ψ описывается уравнением типа ГП, а населенность экситонного резервуара n описывается уравнением скорости [1]

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) + g_c |\psi|^2 + \frac{i\hbar}{2} (Rn - \gamma_c) + g_r n \right] \psi, \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -(\gamma_r + R|\psi|^2)n + P_0, \quad (2)$$

где R частота конденсации, γ_c и γ_r частоты распада поляритонных и резервуарных экситонов, g_c и $g_r = 2g_c$ интенсивности поляритон-поляритонных и поляритон-резервуарных взаимодействий, соответственно, P_0 - накачка. Мы рассматриваем квазиодномерный поляритонный конденсат с периодическим потенциалом $V(x) = V_0 \cos(\beta x)$, где $\beta = 2\pi/l$ и l период модуляции. Решение такой системы ищем в виде (модель трех пространственных гармоник (ТПГ)): $\psi(x, t) \approx [A(t) + B(t)e^{-i\beta x} + C(t)e^{i\beta x}]e^{ikx}$, $n(x, t) \approx n_0 + n_+ e^{i\beta x} + n_- e^{-i\beta x}$ где A , B и C амплитуды главных пространственных гармоник. Модуляция когерентных экситон-поляритонов приводит к пространственной модуляции резервуара и описывается

членами n_{\pm} . На границе зоны Бриллюэна $k = \beta/2$ [2] находим два собственных состояния с наименьшими собственными частотами:

$$\hbar\mu_{\pm} = g_r n_{r,0} + E_0 \pm V_0/2 \quad (3)$$

Знак + («-») в формуле (3) представляет симметричное (антисимметричное) собственное состояние по отношению центрального импульса $k = \beta/2$. Наш численный анализ упрощенной модели (1) и (2) показывает, что и симметричная (μ_{+}), и антисимметричная (μ_{-}) собственные моды претерпевают нестабильность и превращаются в динамически стабильные персистентные осцилляции [Рис. 1(а)].

При сильной накачке нелинейные эффекты существенно изменяют характер и период осцилляций. При увеличении накачки P_0 уменьшается средняя частота, вид осцилляций становится менее регулярной, и в итоге динамика трансформируется в квазипериодичный режим. При более сильной накачки огибающее решение не меняется [Рис. 1(б)].

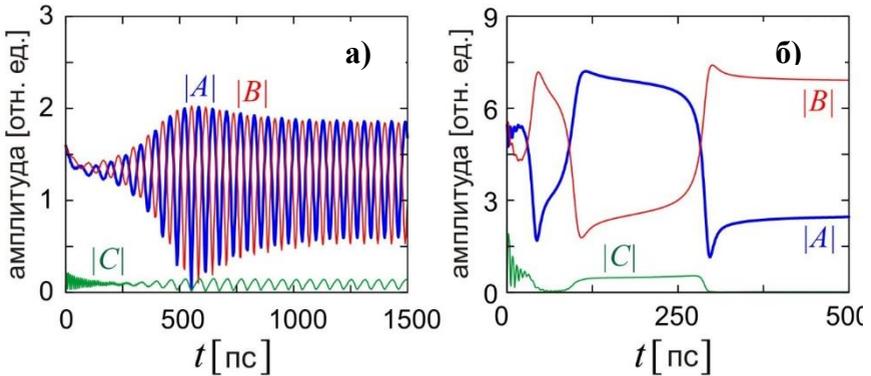


Рис. 1. Динамика релаксации поляритонных -состояний при разных скоростях накачки: (а) $P_0 = 18 \text{ мкм}^{-2}\text{пс}^{-1}$ и (б) $P_0 = 36 \text{ мкм}^{-2}\text{пс}^{-1}$.

Для получения более общей картины релаксаций и осцилляций между всеми пространственными компонентами, мы строгими численными расчетами в рамках открыто-диссипативной модели ГП с периодическим потенциалом доказываем существование и стабильность обоих типов осциллирующих решений, полученные выше [3].

Литература

1. M.Wouters and I. Carusotto, Phys. Rev. Lett. **99**, 140402 (2007).
2. C. Lai, N. Kim, S. Utsumomiya, et al., Nature (London) **450**, 529 (2007).
3. X. Ma, I. Yu. Chestnov, M. V. Charukhchyan, A. P. Alodjants, and O. A. Egorov, Phys. Rev. B **91**, 214301(2015)

ОПТИМИЗАЦИЯ И АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА “ПАЗЛ-3D”

А.С. Шутов^{1,2}, А.А. Лукьянчук^{1,2}, С.В. Рогожкин^{1,2}
А.А. Никитин^{1,2}

¹ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»,
117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, 25

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Москва, Каширское ш., 31.
Anton.Shutov@itep.ru

Атомно-зондовая томография (АЗТ) позволяет исследовать 3х-мерные распределения химических элементов в материалах с атомарным разрешением. Данная методика широко применяется для изучения наноструктурных особенностей в процессе разработки перспективных материалов и оценке ресурса действующих конструкций. В ИТЭФ со второй половины 2000-х годов проводятся атомно-зондовые исследования конструкционных материалов атомных реакторов с помощью атомного зонда ЕСОТАР(САМЕСА) с высоковольтным режимом испарения и детектирующей системой, использующей ССD камеру. В настоящий момент в ИТЭФ также разрабатывается прототип атомно-зондового томографа с лазерным испарением и 120-ти миллиметровой DLD-детектирующей системой (ПАЗЛ-3D). Эти усовершенствования позволили расширить область применения методики и существенно увеличить количество собираемых данных, по сравнению с ЕСОТАР. Однако для обеспечения точности результатов необходимо учитывать специфические геометрические особенности прототипа АЗТ при восстановлении экспериментальных данных, что требует модификации соответствующих алгоритмов.

В данной работе представлены подходы к оптимизации базовой процедуры восстановления данных. Рассматриваемая процедура, разработанная в 1968 году Мюллером и используемая в различных модификациях до настоящего времени [1], позволяет восстановить информацию о массах и координатах зафиксированных детектором атомов. В процессе исследований, проводившихся на томографе

ПАЗЛ-3D, установлено, что немодифицированный базовый метод восстановления данных способен обеспечить разрешение по массе на уровне $(M/\Delta M)_{50\%} < 100$. В работе рассматривается два основных подхода по оптимизации алгоритма восстановления масс: учет нелинейных искажений длин пролета ионов, обусловленных широкоугольной геометрией детектирующей системы и пересчет величины кинетической энергии иона с поправкой на искажения электрического поля вдоль траектории его полета, зависящие от величины потенциала поданного на иглу [2]. Усовершенствованная процедура восстановления была протестирована в ходе атомно-зондового исследования сплава титана, циркония и молибдена TiZrMo на прототипе ПАЗЛ-3D. Качественные различия результатов работы базовой процедуры восстановления и её последующих модификаций показаны на рисунке 1а, б. Видно, что после применения алгоритма оптимизации, корректирующего длины пролета ионов (FirstCorr), разрешение по массе возрастает на всем диапазоне масс-спектра в несколько раз. Однако наибольшее улучшение наблюдается в области основного пика, который используется в качестве калибровочного (рисунок 1а). В то время как на остальных диапазонах масс-спектра (рисунок 1б) данное улучшение в 2-3 раза ниже того, что наблюдается в области основного пика. Следующая поправка по величине кинетической энергии ионов (SecondCorr) позволяет выровнять разрешение по массе на всем масс-спектре за счет того, что для данной корректировки в качестве калибровочного используется не основной массовый пик, а другой выбранный оператором. В результате данной оптимизации, разрешение по массе в области основного массового пика снижается (рисунок 1а), однако значительно возрастает по остальному диапазону масс (рисунок 1б). Данная процедура позволяет разделить большее количество пиков, нежели первый алгоритм, и подходит для исследований материалов со сложным химическим составом. В результате внесенных поправок было достигнуто значение разрешения по массе $(M/\Delta M)_{50\%} \approx 600$, что более чем в 6 раз превышает аналогичный показатель для неоптимизированного алгоритма восстановления масс-спектра.

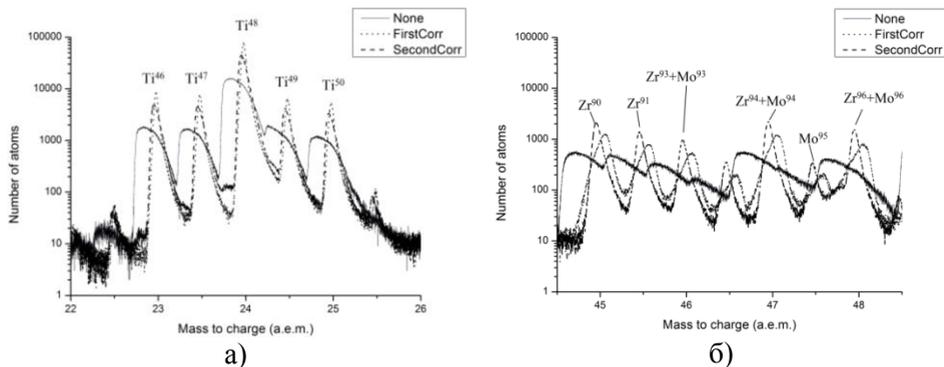


Рисунок 1. Качественное сравнение двух диапазонов масс-спектра сплава TiZrMo. Линии, представленные на рисунке, соответствуют разным алгоритмам восстановления масс-спектра: none-без коррекции, FirstCorr – после оптимизации посредством пересчета длин пролета, SecondCorr – после дополнительной оптимизации, корректирующей величину кинетической энергии иона, в зависимости от потенциала, поданного на иглу

Литература

1. E. W. Muller, J. A. Panitz and S. B. McLane, Rev. Sci. Instrum., 39 (1968) 83.
2. Schlesiger et al. Rev. Sci. Instrum. 81, (2010) 043703

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ БЛИЖНЕГО
ДЕТЕКТОРНОГО КОМПЛЕКСА ND280 НЕЙТРИННОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА T2K**

Антонова М.М.^{1,2}, Измайлов А.О.²

¹НИЯУ «МИФИ», Москва.

²ИЯИ РАН, Москва.

89167060449, mantonova@inr.ru

Основной целью нейтринного эксперимента с длинной базой T2K (Токай-то-Камиока) является исследование нейтринных осцилляций. Эксперимент использует пучок мюонных (анти) нейтрино высокой чистоты и интенсивности, полученный с помощью протонного синхротрона J-PARC. Нейтрино регистрируются комплексом ближних детекторов ND280, расположенным на расстоянии 280 м от графитовой мишени, и дальним водным черенковским детектором Супер-Камиоканде [1].

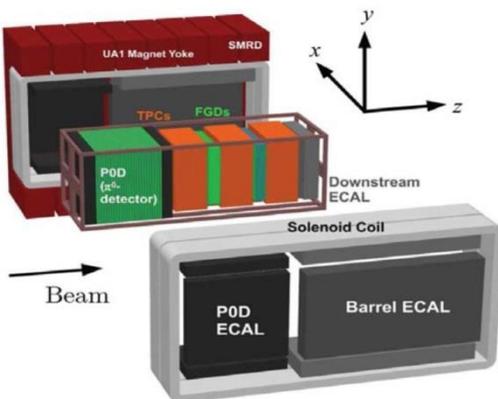


Рис.1 Ближний детектор ND280 [1].

Ближний детектор используется для измерения параметров нейтринного пучка и изучения взаимодействия нейтрино с веществом. Анализ данных в ND280 позволяет существенно снизить систематические ошибки при исследовании нейтринных осцилля-

ции. В состав ND280 (рис.1) входят следующие детекторы: трекер - три время-проекционные камеры (TPC) и два сцинтилляционных сегментированных детектора (FGD), детектор нейтральных пионов (POD) и электромагнитный калориметр (ECAL). Для восстановления заряда и импульса частиц детекторы помещены в магнит UA1 (CERN). Воздушные прослойки магнита оборудованы сцинтилляционными счетчиками, составляющими детектор мюонного пробега (SMRD).

Основными активными элементами детекторных модулей (POD [2], FGD [3], ECAL [4], SMRD [5,6]) комплекса ND280 являются сцинтилляционные счетчики, изготовленные на основе полистерола с добавлением паратерфенила и РОРОР. Светосбор осуществляется с помощью спектросмещающего оптоволокну, сигнал снимается лавинными фотоумножителями Hamamatsu MPPC [7] .

Активные элементы детекторов на основе полистерола, а так же мультипиксельные лавинные фотодиоды в настоящее время находят широкое применение в физике частиц. Таким образом, изучение временной стабильности сцинтилляционных счетчиков является актуальной задачей.

Эксперимент T2K набирает статистику с 2010 года, что позволило исследовать временную стабильность сцинтилляционных элементов детекторов в ND280 в течение 5 лет. Падение световыхода составляет в среднем 8% , что соответствует 1.6% в год. Данные для различных модулей ND280 находятся в согласии с результатами аналогичных измерений других экспериментов (MINOS[8] и MINERvA[9]).

Список литературы:

1. K.Abe et al. The T2K Experiment. Nucl.Instrum.Meth. A659 (2011) 106-135
2. S. Assylbekov et al. The T2K ND280 off-axis pi-zero detector. Nucl.Instrum.Meth. A686 (2012) 48-63
3. P.-A. Amaudruz et al. The T2K fine-grained detectors. Nucl.Instrum.Meth. A696 (2012) 10-31
4. D.Allan et al. The Electromagnetic Calorimeter for the T2K Near Detector ND280. arXiv:1308.3445

5. S. Aoki et al. The T2K Side Muon Range Detector (SMRD).arXiv:1206.3553

6. A. Izmaylov et al. Scintillator counters with WLS fiber/MPPC readout for the side muon range detector (SMRD) of the T2K experiment. arXiv:0904.4545

7. A. Vacheret et al. Characterization and Simulation of the Response of Multi Pixel Photon Counters to Low Light Levels. arXiv:1101.1996

8. M. Matthis, for the MINOS Collaboration, Long term performance of the MINOS calibration procedure and stability of the MINOS detectors, Journal of Physics: Conference Series 404 (2012) 012039.

9. Lisa Whitehead, CAPTAIN-MINERvA: Neutrino-argon scattering in a medium-energy neutrino beam, Presentation at the Fermilab PAC Meeting, January 16, 2015.

<https://indico.fnal.gov/getFile.py/access?contribId=9&resId=0&materialId=slides&confId=9287>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ И ТВС РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПОРИСТОГО ТЕЛА

Баясхаланов М. В., Власов М.Н., Корсун А.С., Меринов И. Г.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

+7 (925) 876-14-28, mr.bayashalanov@mail.ru

На этапах проектирования АЭС для получения лицензии на строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию и вывод из эксплуатации необходимо провести обоснование безопасности ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Для этой задачи используются расчётные коды, позволяющие моделировать основные физические процессы, происходящие в ЯЭУ при различных режимах работы.

В настоящее время существует два подхода к моделированию процессов тепломассообмена в активной зоне и теплообменном оборудовании ЯЭУ. Во-первых, это использование интегральных моделей, в которых рассматривается изменение осредненные по некоторому конечному объёму параметров процесса. Преимущественно эти модели основаны на так называемых «поканальных» методиках, требующих экспериментального определения коэффициентов межканального тепломассопереноса. Поэтому этот подход недостаточно обоснован для описания трёхмерных процессов тепломассопереноса в активных зонах, составленных из бесчехловых ТВС. Второй вариант подразумевает использование CFD-кодов, оперирующих локальными параметрами. Однако CFD-коды требуют заметно больших вычислительных мощностей, по сравнению с интегральными моделями. Существует ещё один вариант интегрального подхода – это использование приближения пористого тела. При сопоставимых с «поканальными» методиками затратах ресурсов ЭВМ данный подход не обладает их недостатками, так как уравнения модели пористого тела получаются в результате строгой математической процедуры осреднения исходных трёхмерных уравнений процессов тепломассопереноса [1-2].

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_j = 0, \quad i = 1, 2, 3, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \rho \varphi u_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho \varphi u_j u_i = \rho \varphi g_i - k_{ij} u_j - \frac{\partial \rho P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu_{эф} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (2)$$

$$\rho c_p \varphi \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho c_p \varphi u_j t = \rho q_v - \frac{\partial}{\partial x_j} \lambda_{ij}^a \frac{\partial t}{\partial x_i} - k_{вжсм}(t - t_{см}) \quad (3)$$

Эффективные коэффициенты переноса в уравнениях (1)-(3) определяются при этом с помощью специально разработанной интегральной модели турбулентности [3].

Для решения получающейся системы уравнений методом конечных элементов предназначен программный модуль ARMod, разрабатываемый для проведения расчётов процессов теплопереноса в активных зонах и теплообменном оборудовании перспективных реакторов. Целью настоящей работы являлась проверка работоспособности программного модуля в ходе расчётного исследования течения натриевого теплоносителя в экспериментальной тепловыделяющей сборке с частичной блокадой проходного сечения.

Экспериментальная сборка [4] состояла из 169 гладких цилиндрических стержневых элементов, часть из которых нагревалась электрическим током. Расчётное моделирование течения натриевого теплоносителя в сборке выполнялось для случаев частичной блокады проходного сечения при 49% перекрытии центральной области или 21% перекрытии угловой части поперечного сечения сборки. Полученные расчётные данные по полю скоростей и температур теплоносителя в области за блокадой сопоставлялись с результатами эксперимента.

В результате выполнения работы подтверждена работоспособность модуля ARMod. Получено хорошее количественное и качественное совпадение расчётных и экспериментальных характеристик процесса течения натриевого теплоносителя.

Литература:

1. Корсун А.С., Круглов В.Б., Меринов И.Г. и др. Теплоперенос при обтекании структур типа пучков стержней

в приближении модели пористого тела. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2014. № 2. С. 87-94.

2. Корсун А.С., Маслов Ю.А., Меринов И.Г. и др. Моделирование трехмерных процессов тепломассопереноса в тепловыделяющих сборках с перемешивающими решетками. Ядерная физика и инжиниринг, 2013, Т.4, № 7, С. 619-623.

3. Власов М.Н., Корсун А.С., Маслов Ю.А. и др. Расчетные исследования обтекания стержневых структур с целью определения основных параметров разрабатываемой интегральной модели турбулентности. Продольное обтекание. Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2013, том 2, № 3, с. 314–318

4. Huber F., Pepler W. Summary and implications of out-of-pile investigations of local cooling disturbances in LMFBR subassembly geometry under single-phase and boiling conditions. – Report № 3927. Karlsruhe. 1985. 166 с.

БОРИРОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ РАО

Бородай А.Ю., Таракаенко П.В., Соболев В.К., Беденко С.В.

*Томский политехнический университет, г.Томск
89521626843, ayb1@tpu.ru*

Модернизация контейнеров для транспортировки и хранения РАО является актуальной задачей в современном мире. Важность данной задачи обусловлена ежегодным увеличением объёмов РАО в России и во всём мире, а так же ужесточением законодательства в области обращения с ядерными материалами и с РАО в частности.

Добавление внутреннего дополнительного защитного слоя является наиболее оптимальным решением для задачи модернизации контейнеров. Добавление защитного слоя изнутри незначительно меняет технологию создания, в то же время совершенно не требуются изменения технологии обращения и эксплуатации контейнеров для транспортировки и хранения РАО.

Борид вольфрама является перспективным материалом для улучшения контейнеров для РАО. Данный материал имеет высокую плотность: $15,73 \text{ г/см}^3$, так же высокую температуру плавления: свыше $2800 \text{ }^\circ\text{C}$. Вольфрам, как тяжёлый элемент, имеет высокие показатели останавливающей способности для альфа-, бета- и гамма-излучения [1]. Бор является сильным поглотителем нейтронов, который используется в ядерной энергетике более полувека.

Расчёты эффективности добавления борида вольфрама проводились инженерными методами в одномерном приближении. Расчёты проведены относительно самой тонкой поверхности контейнера. В качестве основы использован специальный Контейнер V = $0,16 \text{ м}^3$ ООО «Атомпромресурсы». Данный типовой контейнер широко распространён, внутренний слой выполнен из стали 5 мм, защитный слой из свинца 30 мм, внешний слой из стали 10 мм [2]. Для дальнейших расчётов предполагалось так же добавление внутреннего слоя борида вольфрама толщиной 20 мм.

Для оценки эффективности нового слова проведены расчёты ослабления потоков гамма- и нейтронного излучения для базового и модифицированного контейнеров. Другие виды излучения не

учтены в силу их меньшей проникающей способности. Результаты по защите от гамма-излучения представлены на таблице 1.

Таблица 1. Защита от гамма-излучения

E_{γ} , МэВ	0,50	1,00	1,25	1,50	2,00	10,00
$\Phi_{\text{Баз}}$	0,14	4,36	7,18	9,49	12,58	12,69
$\Phi_{\text{Мод}}$	1,5E-04	0,09	0,24	0,44	0,86	1,64
$\Phi_{\text{Баз}}/\Phi_{\text{Мод}}$	965,30	51,16	30,30	21,76	14,69	7,73

Все потоки нормированы на 100% от входящего потока. $\Phi_{\text{Баз}}$ – поток гамма-излучения после прохождения немодифицированного контейнера, $\Phi_{\text{Мод}}$ - поток гамма-излучения после прохождения модифицированного контейнера. Усиление защиты снизило поток самых высокоэнергетических гамма-частиц более чем в 7 раз. Для гамма-частиц с энергией менее 1 МэВ добавление защиты снижает поток более чем на 2 порядка

Результаты по защите от гамма-излучения представлены на таблице 2.

Таблица 2. Защита от нейтронного излучения

E_n , МэВ	тепловые n^0	0,1-0,2 МэВ	0,2-0,4 МэВ	0,4-0,8 МэВ	0,8-1,4 МэВ	1,4-2,5 МэВ	2,5-10,5 МэВ
$\Phi_{\text{Баз}}$	66,32	96,43	91,89	92,06	93,70	93,68	93,34
$\Phi_{\text{Мод}}$	0	67,11	62,75	64,69	65,90	66,49	68,03
$\Phi_{\text{Баз}}/\Phi_{\text{Мод}}$	∞	1,44	1,46	1,42	1,42	1,41	1,37

Полученные данные показывают, что добавление дополнительного защитного слоя внесло весомый вклад в усиление защиты контейнера. Чем ниже энергия проникающих частиц, тем эффективнее показывает себя дополнительная защита. Расчёты проведены в широком спектре для получения максимально полной информативности. Исследование показало, что использование боридов вольфрама в качестве дополнительного защитного слоя в контейнерах для транспортировки и хранения РАО заметно снижает потоки радиоактивного излучения. Это повышает общую защищён-

ность контейнера и позволяет хранить более высокоактивное РАО. Эффективность дополнительной защиты значительно зависит от энергии и типа излучения. С возрастанием энергии частиц эффективность дополнительной защиты значительно снижается.

Литература

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники. / Б.А. Калинин, Ю.А. Годин, Ф.В. Тенишев, В.В. Новиков./ Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. с. 103-114.
2. Контейнеры для радиоактивных отходов от низкого до высокого уровней активности/ А.С. Баринов, А.С. Волков, С.М. Лашёнов, В.Т. Сорокин. – М.: Логос, 2012. – С. 22–25.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ X-, Г- ФОТОНОВ И ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА ИЗОТОПОВ ЙОД-125 (¹²⁵I) И ЙОД-131 (¹³¹I)

Голубева К. В.^{1,2}, Попов Ю. С.²

¹ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград

²ДИТИ НИЯУ МИФИ, г. Димитровград
8(902)1252647, ponakshinaky@yandex.ru

Радиоактивные изотопы йода нашли широкое применение в медицине и биологии, главным образом при лечении заболевания щитовидной железы, так как большая часть введенного в организм йода фиксируется щитовидной железой. Использование ¹²⁵I для лечения рака предстательной железы очень удачно, так как маленькое зернышко микроисточника, содержащего этот изотоп, облучает очень маленькое пространство, поэтому прилегающие здоровые ткани и органы не подвергаются повреждению. Для диагностики заболеваний щитовидной железы используются изотоп ¹³¹I, так как его концентрация непосредственно определяется с помощью дозиметра, регистрирующего γ -излучение ¹³¹I над поверхностью железы. Радионуклиды ¹²⁵I по цепочке реакций ¹²⁴Xe (n, γ) ¹²⁵Xe $\xrightarrow[T_{1/2}=18 \text{ ч}]{93}$ ¹²⁵I, а ¹³¹I из смеси продуктов деления.

Поскольку периоды полураспада являются главнейшими характеристиками короткоживущих изотопов йода при дозиметрических расчетах в ядерной медицине, а так же при мониторинге работы реактора, постоянное уточнение периодов полураспада изотопов йода является важной задачей.

Для X-, γ - спектрометрических измерений использовали образец изотопа ¹²⁵I, помещенный на полиэтиленовую пленку и имеющего геометрию образцов спектрометрических γ -излучений (ОСГИ), и образец изотопа ¹³¹I в виде азотнокислого раствора в пробирке.

Измерения проводили для изотопа ¹²⁵I на спектрометрическом комплексе рентгенофазового анализа (РФА) с полупроводниковым кремний-литиевым детектором, для изотопа ¹³¹I на автоматизированном γ -спектрометре с полупроводниковым германий-литиевым детектором типа ДГДК-100.

Типичные спектры X-, γ -излучения представлены на рис. 1 а, б. С помощью ЭВМ измеряли площади пиков. Измерения проводились в течение ~ 220 суток для ^{125}I (рис.1, а) и ~ 70 суток для ^{131}I (рис. 1, б).

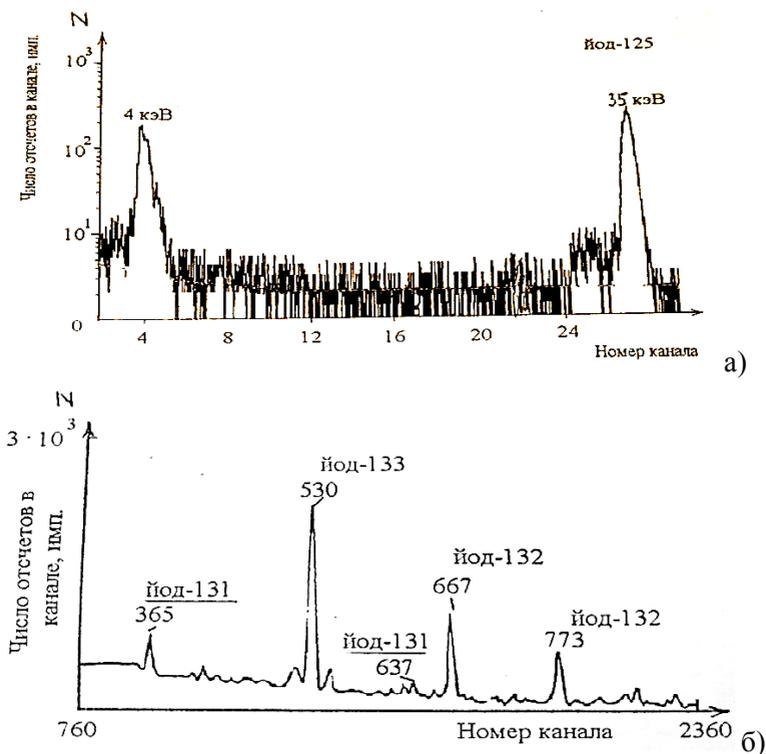


Рисунок 1. Спектры X-, γ - излучения нуклидов: а) – ^{131}I , б) – ^{125}I .

Определение периодов полураспада проводили по измерению площадей пиков гамма-излучений с энергиями 4 и 35 кэВ (^{125}I) [1]; 365 и 637 кэВ (^{131}I) [2] в течение времени эксперимента.

Кривая распада ^{131}I в полулогарифмическом масштабе представлены на рис. 2.

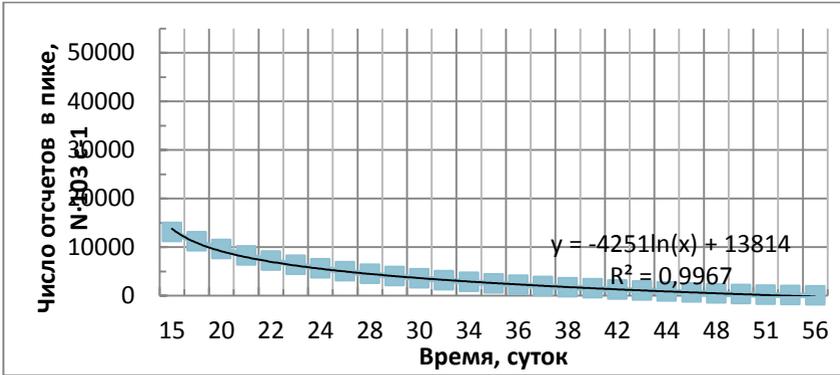


Рисунок 2. Кривая распада нуклида ^{131}I (365 кэВ).

Тангенс угла наклона полученных регрессивных прямых равен постоянной распада. Эту величину легко перевести в значение периода полураспада и сравнить с литературными данными.

Экспериментально полученные значения $T_{1/2}$ и относительных интенсивностей гамма-излучения представлены в таблице.

Таблица. Периоды полураспада и относительные интенсивности X-, γ -излучения радионуклидов ^{125}I и ^{131}I .

Нуклид, тип распада	$T_{1/2}$, сут		γ -излучение	
	Эксперимент	Оцененное	Энергия, кэВ	Относительная интенсивность
^{125}I , ЭЗ	59,3±1,1	59,89±0,09 [3]	4	20,2±0,2
			35	100
^{131}I , β	8,044±0,008	8,054±0,006 [4]	365	100
		8,0213±0,0009 [5]		
		8,051±0,003 [6]	637	9±1

Сравнение результатов измерений периодов полураспада с интенсивностями гамма-излучения изотопов ^{125}I и ^{131}I с известными

литературными данными показывает очень хорошее совпадение в пределах указанных погрешностей. Это свидетельствует о чистоте исследуемых изотопов и правильности методики измерения.

Литература

1. Левин, В.И. Получение радиоактивных изотопов / В.И. Левин. – М. : Атомиздат, 1972. – 191 с.
2. Попов, Ю.С. Метрологическое обеспечение ядерно-физических методов контроля радиохимического производства изотопной продукции: монография / Ю.С. Попов. – Димитровград : ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2012. – 181 с.
3. Голашвили, Т.В. Справочник нуклидов-2 / Т.В.Голашвили. – М., ФГУП «ЦНИИАтоминформ», 2002. – 347 с.
4. Характеристики излучений радиоактивных нуклидов, применяемых в народном хозяйстве. Оцененные данные: Справочник / Ю.В. Хольнов [и др.]. – М. : Атомиздат, 1980. – 264 с.
5. Houtermans, H. Table of Isotopes. [Text] / H. Houtermans, O. Milosevic, F.T. Reichel // IJARI. – 1980. – vol. 31. – №3. – p. 153-160.
6. Kovar, P. Theoretical considerations for Standardization of ^{131}I by the coincidence method. [Text] / P. Kovar, P. Dryak, L. Plchova // Jad. Energ. – 1989. – vol. 35. – №1. – p. 37-38.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОТОПА ^{10}B В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ

Зайцев А.А.^{1а, 2б}, Зарубин П.И.¹, Артеменков Д.А.¹

^ааспирант, ^бмладший научный сотрудник

¹Физический институт Российской академии наук им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

E-mail: zaicev@lhe.jinr.ru, тел. 8-985-301-94-95

Метод ядерной эмульсии (ЯЭ) обеспечивает непревзойденное пространственное разрешение (0.5 мкм) и диапазон чувствительности при измерении следов заряженных частиц, начиная с сильноионизирующих короткопробежных ионов и до однозарядных частиц с минимальной ионизацией. Применение ЯЭ на вновь создаваемых пучках ускорителей релятивистских ядер позволяет вести анализ, недоступный электронным методам детектирования. Точность измерения углов испускания фрагментов, рожденных в периферических взаимодействиях релятивистских ядер в ЯЭ, дает уникальные возможности изучения нуклонной кластеризации легких ядер [1].

Вклад нестабильных ядер ^8Be и ^9B в события когерентной диссоциации релятивистского ядра ^{10}B находится на стадии изучения, на основе ядерной эмульсии, облученной пучками на НУКЛОТРОНе ОИЯИ. Недавно, 200 звезд $2\text{He} + \text{N}$ отобраны в ускоренном поиске. Угловые измерения треков He и N указали на 54 распада $^8\text{Be}_{\text{g.s.}}$ (рис. 1) и 21 распад $^9\text{B}_{\text{g.s.}}$ (рис. 2). Набор статистики проводился путем просмотра первичного трека по следу, что дало возможность оценить длину свободного пробега ядер ^{10}B в ядерной эмульсии. Среднее значение свободного пробега составило 14.24 ± 1.19 см., расчетная длина 14.8 см. На данный момент соответствие N к p и He к α обсуждается. Идентификация изотопов He и N методом многократного рассеяния, прогрессируют в настоящее время.

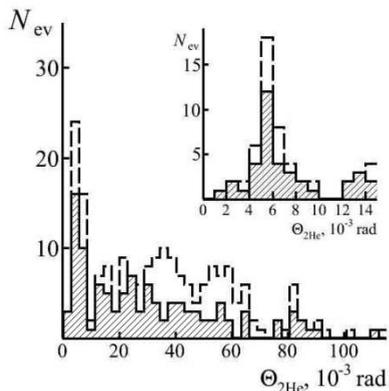


Рис. 1. Распределение событий $^{10}\text{B} \rightarrow 2\text{He} + \text{H}$ по пространственному углу $\Theta_{2\text{He}}$ пар 2α всех найденных событий (пунктирная) и «белых» звезд (сплошная).

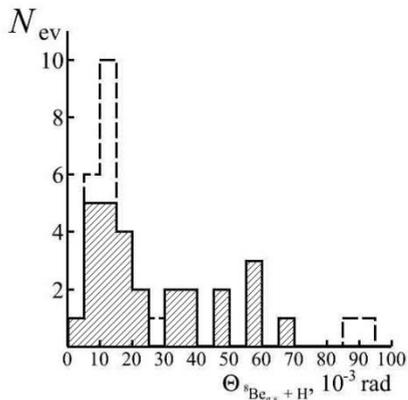


Рис.2. Распределение событий $^{10}\text{B} \rightarrow 2\text{He} + \text{H}$ по пространственному углу Θ между направлениями фрагментов $^8\text{Be}_{\text{g.s.}}$ и H всех найденных событий (пунктирная) и «белых» звезд (сплошная).

Литература

1. P.I. Zarubin // Lect. Notes in Phys. 2013 V.875. P.51.

РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ В ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Иванов А.В., Ефимов Е. И., Тебелев Л. Д.

ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград
Моб. 89278014487, edward-elric@yandex.ru

Спектр нейтронов представляет собой функцию, описывающую распределение нейтронов по энергии. Измерение спектров нейтронов представляет важную, но очень трудную задачу. По экспериментальному спектру нейтронов получают сведения об особенностях взаимодействия нейтронов с веществом, механизме этого взаимодействия, дозе нейтронного излучения и т. д.

Для регистрации нейтронов наибольшее распространение получили жидкие органические сцинтиллирующие вещества. Один из таких сцинтилляторов на основе дитолилметана: ЖС-20. Данный жидкий сцинтиллятор используется для больших сцинтилляционных счетчиков и может быть использован для регистрации космических излучений.

Быстрые нейтроны взаимодействуют с материалом сцинтиллятора в реакциях упругого рассеяния на ядрах. Нейтроны спектра деления или (α , n)-реакций (рис. 1)[1] вызывают сцинтилляции за счет реакций отдачи в основном на протонах. Это происходит из-за того, что при упругом рассеянии на протоне нейтрон может передавать ему 100% своей энергии. Кинетическая энергия протонов отдачи поглощается сцинтиллятором и в конечном итоге преобразуется в тепло и видимый свет.

Для регистрации γ -кванта или нейтрона необходимо, чтобы они прореагировали с веществом детектора; при этом возникшая вторичная заряженная частица должна быть зарегистрирована детектором. Чем больше находится вещества на пути γ -лучей или нейтронов, тем большей будет вероятность их поглощения, тем большей будет эффективность их регистрации. Измеряемый спектр нейтронов есть результат сложения спектров от нейтронов, испускаемых ядрами-осколками с широким распределением по массам и кинетическим энергиям.

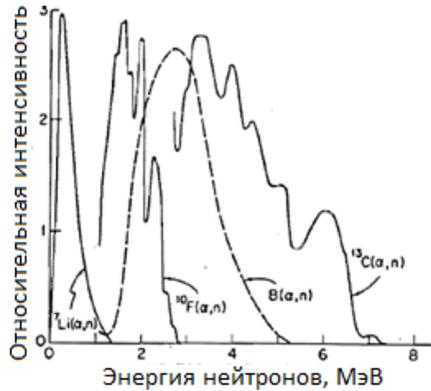


Рис. 1. Энергетический спектр нейтронов от разных (α, n) источников

Для разделения нейтронов и гамма-квантов главным образом используются методы разделения по форме импульсов[2-3]. На основе формы сигнала вычисляются некоторые параметры его формы импульса. Примерами таких параметров являются QS и QL – «короткая» и «длинная» части интеграла импульса по времени, A – максимальная амплитуда (рис. 2)[4]. Также рассчитываются параметры для разделения сигналов, например, QL/A – эффективная ширина импульса, параметр PSD , определяемый как:

$$PSD = \frac{QL - QS}{QL}$$

Для разделения строится, например, двумерная диаграмма зависимости вычисленного параметра PSD от максимальной амплитуды (рис. 3)[4]. Для количественного сравнения качества разделения рассчитывается:

$$FOM = \frac{\Delta Peak}{FWHM_n + FWHM_\gamma}$$

где $\Delta Peak$ – расстояние между пиками, а $FWHM_n$ и $FWHM_\gamma$ – полные ширины на половине максимальной амплитуды. Чем выше значение FOM , тем лучше качество разделения.

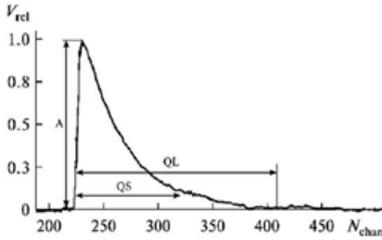


Рис. 2. Параметры формы импульса

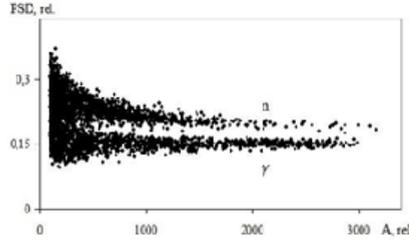


Рис. 3. Пример двумерной диаграммы PSD – A

Число уже проделанных измерений, использующих различную дифференциальную и интегральную технику, велико, но нет ещё хорошего согласия результатов измерения у различных экспериментаторов. Они могут быть связаны с возможностью регистрации наряду с нейтронами и γ -квантов, различными условиями регистрации осколков деления, неточностью учёта фона, неточностью калибровки энергетической шкалы и различными методами введения поправок.

Литература

1. Robert Mozley Appendix C: Particle Sources and Radiography Science and Global Security, 1990, Volume 1, Nos. 3-4, pp. 287-302
2. Прокуронов М., Руднев П. Идентификация нейтронов и гамма-квантов на основе цифровых методов. Электроника: НТБ.2009. № 1.
3. B.D. Mellow, M.D. Aspinall, R.O. Mackin, M.J. Joyce, and A. J. Peyton, Nuclear instruments and methods in physics research A 578, 191-197 (2007)
4. А. А. КАСПАРОВ, Е.С. КОНОБЕЕВСКИЙ, СВ. ЗУЕВ http://fizmat.smolgu.ru/images/stories/SKMP/skmp_sbornik_2015.pdf

СИСТЕМА ИНТЕРНЕТ ТЕСТИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ КАТАРАКТЫ

**Кирилловых К.Д., Никитаев В.Г., Трубилин В.Н., Проничев А.Н.,
Орлова О.М., Поляков Е.В.**

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва*

*Центр офтальмологии ФМБА России, Москва
тел.: +7-916-951-85-17, e-mail: kirillovykhksenia@gmail.com*

Актуальность

Глаз человека – сложная оптическая система.

Хрусталик является частью светопроводящей и светопреломляющей системы глаза. Это прозрачная, двояковыпуклая биологическая линза, обеспечивающая динамичность оптики глаза [1]. Чем прозрачнее глазной хрусталик, тем лучше он выполняет свои функции.

Возрастная катаракта – это физиологическое состояние, связанное с помутнением хрусталика глаза, что приводит к снижению пропускания света на сетчатку [2]. На сегодняшний день катаракта является одним из самых распространенных заболеваний глаз. По данным Национального института глаза (NEI), в 2010 г. в США было выявлено 24,4 млн. пациентов с катарактой. Согласно прогнозам, к 2050 г. число таких больных удвоится и составит 50 млн. человек [3].

Современные методы определения степени помутнения хрусталика (стадии катаракты), основаны на субъективной оценке врачом-офтальмолога. В настоящее время катаракту диагностируют с помощью щелевой лампы - аппарата, позволяющего производить микроскопический анализ видимых частей глаза [4].

Согласно приказу Минздрава России от 02.06.2015 № 290н время приема одного пациента врачом-офтальмологом не должно превышать 14 минут (включая заполнение врачом всей необходимой документации). За такой промежуток времени далеко не всегда удается полностью собрать анамнез, диагностировать патологию глазного яблока и объяснить пациенту необходимость и дальнейшую тактику лечения, помочь принять правильный выбор.

Цель

Разработка системы тестирования, позволяющая собирать предварительные данные о пациенте по сети Интернет, для повышения эффективности обследования его врачом.

Данные тестирования были получены из Центра офтальмологии ФМБА России. Для разработки системы была использована среда разработки QtCreator и база данных SQLite.

Результаты

Система тестирования состоит из 23 вопросов: общие вопросы (пол, возраст); вопросы, касающиеся образа жизни и субъективной оценки состояния зрительных функций самим пациентом. В заключении выдаются рекомендации о вероятном наличии/отсутствии катаракты и возможных вариантах замены помутневшего хрусталика глаза на искусственный. Полученные данные позволяют врачу-офтальмологу оценить текущее состояние органа зрения пациента на момент заполнения анкеты. Программа включает в себя базу данных, позволяющую хранить ответы и заключения по результатам тестирования.

Выводы

Разработанная система тестирования, позволяет оценить состояние органа зрения на основе субъективных данных пациента. Программа способствует сокращению времени на сбор анамнеза при первичном приеме у врача-офтальмолога, что крайне необходимо для повышения эффективности обследования, ранней диагностики катаракты и принятия решения о дальнейшей тактике лечения. В дальнейшем планируется развитие системы, для объединения полученных данных с электронной картой пациента.

1. Передерий В.А. Глазные болезни. Полный справочник. М.:Эксмо,2008.-704с. Стр 44

2. Xu Y. et al. Automatic grading of nuclear cataracts from slit-lamp lens images using group sparsity regression //Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2013. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 468-475.

3. Данные Национального Института Глаза, доступные по ссылке <https://nei.nih.gov/eyedata/cataract# 5> на 07 декабря 2015.

4. Li H. et al. Feature analysis in slit-lamp image for nuclear cataract diagnosis//Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference on. – IEEE, 2010. – Т.1. – С.253-256.

НОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ВОЛН НА ЦИРКУЛЯЦИЮ В ГАЗОВОЙ ЦЕНТРИФУГЕ ИГУАСУ

Кислов В.А., Боговалов С.В., Тронин И.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
+7(916)215-21-60, vakislov@mephi.ru*

Отбор газа из газовой центрифуги для разделения изотопов (ГЦ) производится неподвижными газоотборниками. При этом ГЦ вращается со сверхзвуковой скоростью. В результате взаимодействия быстро вращающегося газа и неподвижного газоотборника образуется ударная спиралевидная волна, которая распространяется по ГЦ в аксиальном направлении. Актуальным является вопрос о том как данные волны влияют на процесс циркуляции в ГЦ, так как циркуляционное течение является основным параметром, который определяет эффективность процесса разделения изотопов.

В работе рассматриваются осесимметричные двумерные модели ГЦ. Газоотборники заменяются источниками силы торможения [1]. Задача решается во вращающейся системе отсчета и рассматривается в двух постановках: 1 – нестационарная, где волны создаются пульсирующей аксиальной силой торможения, 2 – стационарной, с постоянной силой торможения. Рассматриваются две схемы расчетной области: двухкамерная и трехкамерная. Принципиальные схемы расчетной области приведены на рисунке 1. Верификация численного кода производилась с помощью методик, описанных в работах [2] и [3]. Область воздействия силы обозначена цифрой 2 на обоих изображениях на рисунке 1.

Зависимость безразмерной силы торможения от времени показана на рисунке 2. Линия 1 соответствует нестационарному случаю, а линия 2 стационарному. Из рисунка 2 видно, что время воздействия силы торможения в нестационарном случае составляет $1/10$ периода, что позволяет учесть влияние именно ударных волн.

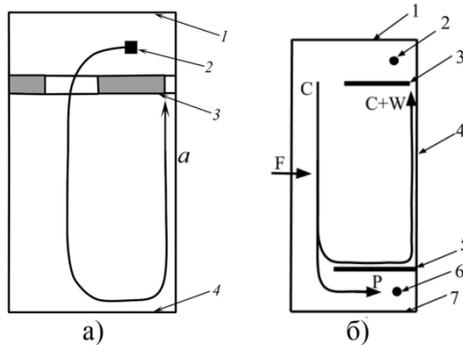


Рис.1. Принципиальные схемы расчетной области. а) двухкамерная модель. 1– верхняя крышка, 2–область воздействия силы торможения, 3– верхняя диафрагма, 4–нижняя диафрагма. б) трехкамерная модель. 1– верхняя крышка, 2–область воздействия силы торможения и сток массы, 3–верхняя диафрагма, 4–внешняя стенка ротора, 5–нижняя диафрагма, 6– сток массы, 7–нижняя крышка.

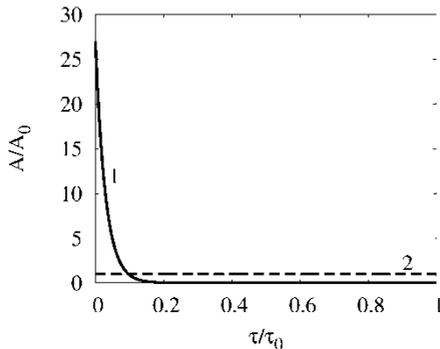


Рис.1. Зависимость аксиальной силы торможения от безразмерного периода вращения ГЦ. 1–сила торможения в нестационарном случае, 2– сила торможения в стационарном случае.

Получено, что в нестационарном случае для двухкамерной модели за счет воздействия волн средний за период циркуляционный поток в 2 раза больше чем в стационарном случае. В трехкамерной модели получено, что поток через отверстие в нижней диафрагме на 15 % больше чем в стационарном случае. Из полученных данных можно утверждать, что волны значительно влияют на цирку-

ляционное течение в ГЦ, а следовательно и на эффективность ее работы.

Литература

1. T.Matsuda, T.Sakurai, H.Takeda, Source-sink flow in a gas centrifuge, *J. Fluid Mech.*, 69 (1975), 197208.

2. A.A.Abramov, S.V.Bogovalov, V.D.Borisevich, V.D.Borman, V.A.Kislov, I.V.Tronin, V.N.Tronin, S.V.Yupatov, Verification of software codes for simulation of unsteady flows in a gas centrifuge, *Comput. Math. Math. Phys.*, 53(6), (2013), 789–797.

3. S.V.Bogovalov, V.D.Borisevich, V.D.Borman, V.A.Kislov, I.V.Tronin, V.N.Tronin, Verification of numerical codes for modeling of the flow and isotope separation in gas centrifuges, *Comput. Fluids*, 86, (2013), 177–184.

ТОПЛИВО ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Кнышев В.В., Кузнецова М.Е., Шаманин И.В., Беденко С.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, город Томск
конт. тел. 8-952-161-99-97, e-mail: vyk28@tpu.ru*

Для России рынок ториевых атомных энергетических установок малой мощности является потенциально благоприятным сценарием развития ядерной энергетики. Огромный отечественный опыт создания ядерных установок для военно-морского и ледокольного флота, уникальность отечественных водо-водяных и жидкометаллических реакторных установок наряду с потенциально огромным энергетическим рынком развивающихся стран делает это направление перспективным для внутреннего и внешнего рынка. Такие установки могут стать идеальным источником энергии и тепла при освоении северных территорий, разработке новых месторождений в районах Крайнего Севера, удаленных воинских гарнизонов.

Цель работы: провести исследования нейтронно-физических характеристик элементарной ячейки высокотемпературной газоохлаждаемой ториевой реакторной установки малой мощности с целью выбора оптимальных конфигурации топливной таблетки и ее состава, обеспечивающих сверхдлинную кампанию.

Микрокапсулированное топливо (МТ) для ВТГР – это топливный керн из делящегося материала со слоями функциональных покрытий. В качестве покрытий используют PuC различной плотности, SiC , ZrC , другие керамические материалы и наноламинаты [1, 2]. Как правило, конфигурация МТ выбирается с учетом специфики работы реактора и экономической целесообразности использования.

Оценки экономической эффективности производства энергии показали, что техническое решение, основанное на двухслойных покрытиях, упрощает процедуру изготовления МТ, значительно уменьшает топливную составляющую затрат [1-4].

Выбранная конфигурация МТ диаметром 600 μm представляет собой сферический топливный керн, покрытый последовательными

слоями PuC и Ti_3SiC_2 , диспергированный в графитовую матрицу цилиндрических таблеток (см. Рис. 1 а), которые размещаются в топливном блоке активной зоны исследуемого реактора (см. Рис. 1 б) [3,4]. Использование в качестве второго слоя Ti_3SiC_2 позволяет существенным образом снизить напряжения в силовом покрытии и уменьшить повреждаемость слоя по механизму образования сквозных трещин [1,2]. В качестве делящегося материала использована торий-плутониевая топливная композиция. Дополнительный барьер безопасности образован графитовой матрицей и функциональным покрытием на поверхности топливной таблетки в виде SiC -слоя толщиной $\sim 300 \mu\text{m}$ [4].

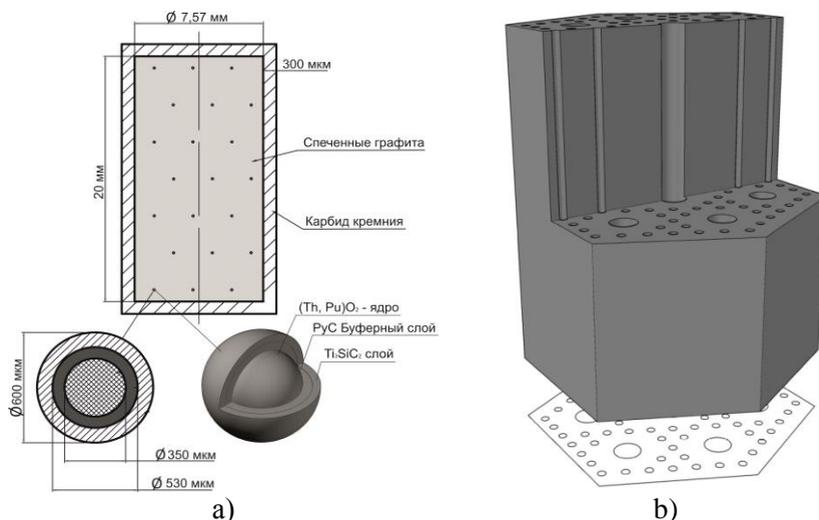


Рис. 1. Модель топливного блока ВГТРУ:
 а) – топливная таблетка ВГТРУ; б) – топливный блок ВГТРУ

В качестве расчетной моделей исследуемого реактора использовались расчетная модель элементарной ячейки реактора. Используемая для создания расчетной модели конфигурация топливной таблетки приведена на рис. 1 а. Расчеты выполнены с привлечением верифицированного расчетного кода программы MCU5 и оцененных библиотек ядерных данных (ENDF, JEFF, JENDL, РОСФОНД, БРОНД, БНАБ и др.).

Предварительные результаты позволяют утверждать, что реакторная установка с предложенными конфигурацией топливной таблетки и составом ядерного топлива может проработать не менее 3000 эффективных суток на мощности 60 МВт.

Литература

1. A.S. Hernikov, L.N. Permyakov, I.I. Fedik, Fuel elements on the basis of spherical fuel particles with protective coatings for high-safety reactors, *Atomic Energy*, Vol. 87, № 6, p. 871-878. (1999).

2. В.П. Денискин, С.Д. Курбаков, И.И. Федик, А.С. Черников. Микротвэл ядерного реактора с двухслойным защитным покрытием топливной микросферы. Патент на изобретение RUS 2368966 (30.04.2008).

3. И.В. Шаманин, С.В. Беденко, Ю.Б. Чертков, И.М. Губайдулин. Газоохлаждаемый ядерный реактор с ториевым топливом на основе топливного блока унифицированной конструкции. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. № 3. С. 124-134. (2015).

4. I. Shamanin, S. Bedenko, Y. Chertkov, I. Gubaydulin. Gas-Cooled Thorium Reactor with Fuel Block of the Unified Design, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2015, Article ID 392721, 8 pages, doi:10.1155/2015/392721.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ НАМАМАТСУ R11410-20

Козлова Е.С.², Акимов Д.Ю.^{1,2}

¹ФГБУ ГНЦ РФ - Институт Теоретической и Экспериментальной Физики НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Российская Федерация
²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Российская Федерация

E-mail: aspelene@gmail.com

Актуальность данной работы заключается в необходимости создания компьютерной модели работы фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и делителя напряжения с целью оптимизации последнего для различных условий работы ФЭУ. Аналогичное моделирование было описано в работе [1] для ФЭУ Hamamatsu R7400U, однако других подобных работ нам не известно.

Целью данной работы является создание компьютерной модели фотоумножителя Hamamatsu R11410-20. Модель построена с учетом требований к делителю ФЭУ, накладываемых спецификой эксперимента «РЭД-100» по обнаружению предсказанного Стандартной моделью процесса упругого когерентного рассеяния нейтрино на атомном ядре.

В качестве пакета для моделирования был выбран LTspice компании Linear Technologies, позволяющий проводить симуляцию электрических процессов в цепях с большим количеством элементов. Результаты моделирования показали хорошее согласие с заводскими характеристиками Hamamatsu [2] и теорией [3].

Литература:

1. Natan Kriehely, *SPICE Model of Photomultiplier Tube Under Different Bias Conditions*, IEEE Sensors Journal, 14, 3606, 2014
2. Hamamatsu corp., *Photomultipliers tubes and assemblies for scintillation counting and high energy physics*, Hamamatsu Photonics K.K., Shimokanzo, Iwata City, Shizuoka Pref., Japan, 2012.
3. S.O.Flyckt, C.Marmonier, *Photomultipliers tubes: principles and applications*, Photonis, Brive, France, 2002.

МЕТОД ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООТДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ

Кузьменков Д.М., Делов М.И., Куценко К.В., Лаврухин А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва
тел. +7(963)619-97-60, e-mail: dmitrii.kuzmenkov@mail.ru*

Повышение эффективности энергетического оборудования возможно благодаря использованию сверхпроводящих материалов. Это обуславливает необходимость исследования закономерностей теплопередачи к криогенным жидкостям и методов интенсификации теплообмена.

Особенностью теплообмена в криогенных жидкостях является наличие гистерезиса на кривой пузырькового кипения, которая связывает плотность теплового потока q с температурным напором ΔT при квазистационарном увеличении и уменьшении теплового потока (рис. 1). В работе [1] показана возможность интенсификации теплоотдачи к насыщенному жидкому азоту при переходе от однофазной конвекции к пузырьковому кипению за счет воздействия короткого теплового импульса по всей длине нагревателя. При этом перегрев нагревателя относительно температуры жидкости существенно уменьшается.

Целью данной работы является оценка минимальной длины зоны пузырькового кипения и энергии локального теплового воздействия, необходимого для ее образования, которое приводит к распространению очага пузырькового кипения по всему нагревателю, охлаждаемого жидким азотом. Это позволит интенсифицировать теплоотдачу при помощи воздействия локальных тепловых импульсов определенной энергии, например, при помощи излучения лазера.

Для расчета минимальной длины локального участка возникновения пузырькового кипения с повышенным коэффициентом теплоотдачи рассматривалась задача об устойчивости очага пузырькового кипения длиной l на тонком и длинном нагревателе с источником тепловыделения q_0 , охлаждаемом в режиме однофазной кон-

векции. В результате решения была найдена зависимость минимальной длины очага от плотности тепловыделения $l(q_0)$.

Расчет минимальной энергии производился по следующей формуле:

$$E_{\min}(q_0) = \left(\rho \cdot C_p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)_n \cdot l(q_0) \cdot \left(\Delta T_{np} - \frac{q_0}{\alpha_{\text{конв}}} \right). \quad (1)$$

Зависимость минимальной энергии теплового импульса, необходимого для интенсификации теплоотдачи, от начального тепловыделения q_0 для платинового нагревателя диаметром $d = 100$ мкм представлена на рис. 2. На этом же графике представлены экспериментальные данные по энергии теплового импульса, действующего по всей длине нагревателя [1]. Как видно из рисунка, абсолютное значение энергии для случая локального воздействия составляет на порядок меньшую величину по сравнению с воздействием по всей длине.

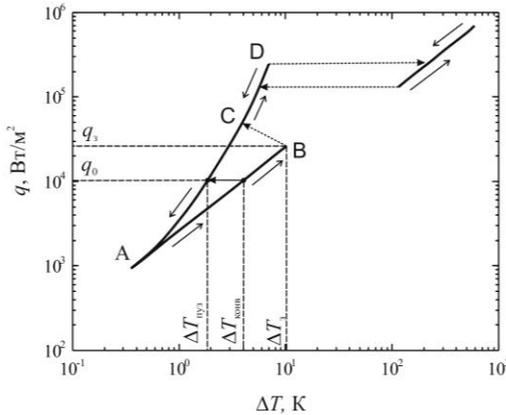


Рис. 1. Кривая кипения жидкого азота на вертикальном платиновом нагревателе [1].

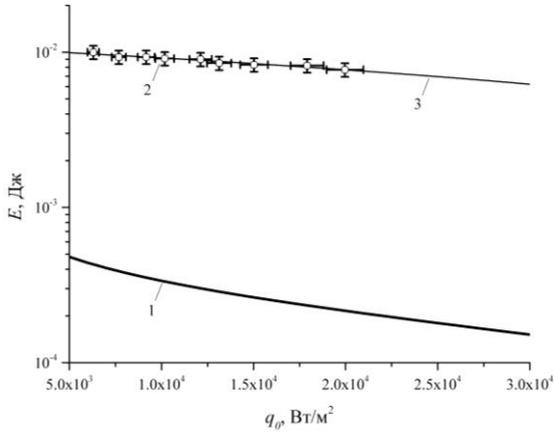


Рис.2. Зависимость минимальной энергии на переход к пузырьковому кипению от начальной плотности теплового потока: 1 – расчет по (1); 2, 3 – экспериментальные данные и расчетная зависимость для случая воздействия теплового импульса на всю длину нагревателя [1].

На основании работы можно утверждать, что рассмотренный метод локального воздействия для интенсификации теплоотдачи существенно более выгоден энергетически, чем воздействие теплового импульса на всю длину нагревателя.

Литература

1. Balakin B.V., Delov M.I., Kutsenko K.V., Lavrukhin A.A., Merinov I.G., Short-time heat impulse intensification of heat transfer in liquid nitrogen // *Cryogenics*, Vol. 67, 2015, pp. 1-3.

РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

Лагойда И. А.^{1,2}, Трушин А.В.²

¹НИЯУ МИФИ, Москва

²ООО «ТехноАналитПрибор», Москва

конт. тел. +79296482061, e-mail: iliyalagoida@gmail.com

Главной целью рентгеноспектрального анализа (РСА) является установление зависимости между интенсивностью характеристических лучей элементов, полученных в результате предварительного возбуждения, и концентрацией этих элементов в исследуемом веществе.

Существует множество методик, позволяющих повысить чувствительность анализа до сотых и тысячных долей процента, однако при анализе материалов промышленного производства, состав которых меняется в сравнительно узких пределах, а экспрессность анализа имеет решающее значение, приходится отказываться от сложных, и не осуществимых в промышленных цехах, конструкций приборов позволяющих проводить измерения с наибольшей точностью. В этих случаях применяются более простые способы рентгеноспектрального анализа: прямой способ внешнего стандарта, способы стандарта-фона и калибровки. Простота и экспрессность таких методов позволяет использовать рентгеновский спектрометр в качестве датчика химического состава при автоматизации технологических процессов обогатительных фабрик, металлургических, химических и цементных заводов [1].

Спектрометры на базе полупроводниковых детекторов, являются перспективными средствами для создания автоматизированных анализаторов качественного и количественного состава вещества. Такие устройства отличаются компактностью, небольшим весом, малыми габаритами, хорошей чувствительностью и высоким энергетическим разрешением. Данные преимущества позволяют использовать их как в качестве портативных анализаторов, так и для анализа руды и минерального сырья на конвейерной ленте.

В первом приближении концентрация элемента в веществе равна [2]:

$$C_i = KI_i,$$

где C_i – это концентрация i -го элемента, а I_i – интенсивность характеристической линии этого элемента, измеренная при возбуждении вещества внешними источниками, K – коэффициент зависящий от состава вещества.

В данной работе были исследованы образцы медной руды, полученные с уральских месторождений. Для возбуждения образцов использовались источники ^{109}Cd , с активностью 40 мКи. Для построения зависимости интенсивности от концентрации использовались, данные полученные при помощи волнодисперсионного анализа, который является более точным, но трудноосуществимым в промышленных условиях методом РСА. Спектр, полученный для одной из проб, представлен на рис. 1.

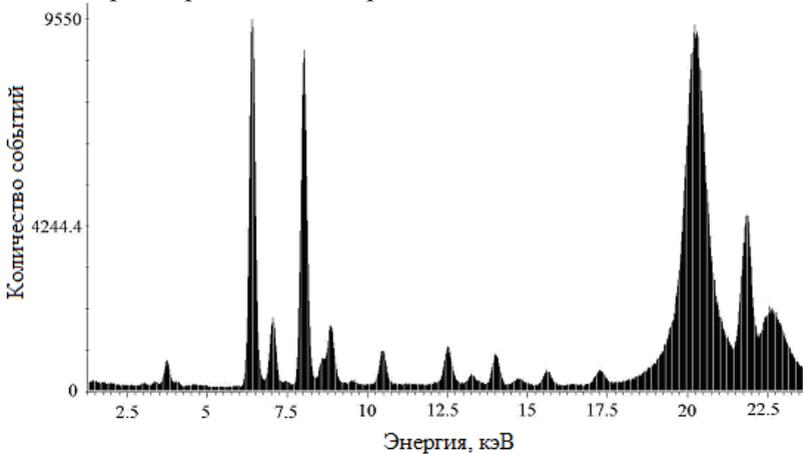


Рис.1. Спектр характеристического излучения для образца медной руды ($C_{\text{Cu}}(\%) = 3.13$)

Калибровочная кривая для меди была построена, основываясь на данных полученных волнодисперсионным методом и измеренными интенсивностями $K\alpha$ линий меди рис. 2.

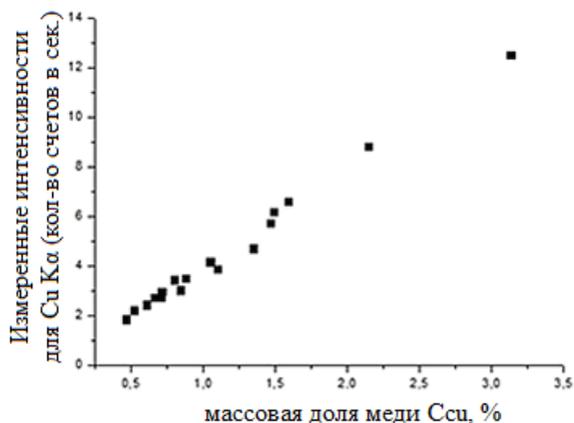


Рис.2. Калибровочная кривая для меди. Кривая зависимости измеренных интенсивностей Kα линии меди от концентрации меди в образцах

Полученная зависимость интенсивности от концентрации меди будет использоваться для обогащения медной руды на производстве. Погрешность измерений не превышала 11%.

Литература

1. Н.Ф. Лосев, А.Н. Смагунов. Основы рентгеноспектрального анализа. (М: Химия. 1982).
2. Rene E Van Grieken, Andrzej A Markowicz. Handbook of X-Ray Spectrometry Second Edition. (New York: Marcel Dekker, Inc. 2001).
3. В Beckhoff et al. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis (Berlin: Springer. 2006).

МОНТАЖ И НАЛАДКА ЭЛЕКТРОННО-НЕЙТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Лахонин А. А.¹, Богданов Ф.А.²

¹ Студент (магистр), ² Студент (бакалавр),
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Институт магистратуры, Москва, Россия
+79163719233, AALakhonin@mephi.ru

На уникальной научной установке НЕВОД создается установка УРАН для регистрации нейтронной компоненты широких атмосферных ливней [1] в области ПэВных энергий космических лучей. Установка УРАН включает в себя 72 детектора позволяющих регистрировать электронную и нейтронную компоненту (эн-детектор).

Регистрация нейтронов, замедлившихся до тепловых, происходит благодаря неорганическому сцинтиллятору ZnS с добавкой В₂О₃. Сцинтиллятор имеет вид силиконовой пластины с гранулами сплава смеси сцинтилляционной композиции. Эффективная площадь сцинтиллятора составляет ~ 0.36 м², засыпка сцинтиллятора составляет 50 мг/см² и позволяет регистрировать нейтроны с эффективностью 20% [2].

Детектор представляет собой полиэтиленовую бочку объемом 200 литров с установленным в ней диффузно-отражающим (собирающим) конусом, в основании которого расположен сцинтиллятор. В верхней части конуса установлен ФЭУ-200, который закреплен на крышке бочки специальной подвеской (детектирующий блок счетчика).

Тестирование детекторов происходит на специальном стенде, основными элементами которого являются: четырех-канальный блок высоковольтного питания (БВП-4К), аналого-цифровой преобразователь Velleman PCSU1000 (АЦП), компьютер, источник нейтронов ²⁵²Cf с потоком нейтронов ~ 1000 с⁻¹ (активность менее 10кБк), замедлитель нейтронов (пластик толщиной 10 см).

Методика тестирования включает в себя три этапа. На первом этапе происходит тестирование сцинтилляторов с эталонным ФЭУ. На втором этапе происходит настройка рабочего усиления ФЭУ. Третьим этапом является тестирование детекторов с эталонным

ДИУ (дискриминатор-интегратор-усилитель) (запуск по порогу на ДИУ) и с ИУ (интегратор-усилитель) (запуск по порогу на АЦП).

Методика тестирования счетчиков основана на отборе тепловых нейтронов по форме импульса сигнала. При данной методике набирается часовой спектр зарегистрированных тепловых нейтронов. На рисунке 1 изображены спектры при тестировании сцинтилляторов с эталонным ФЭУ, и спектры при тестировании счетчиков с эталонным ДИУ и с ИУ, который будет работать с детектором.

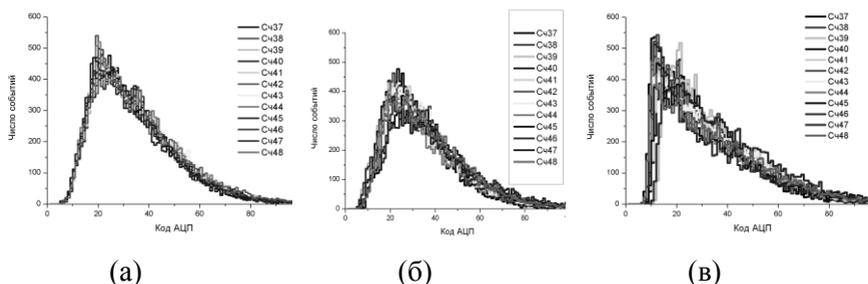


Рис 1. Спектры зарегистрированных тепловых нейтронов:
 (а) - тестирование сцинтилляторов, (б) - тестирование с эталонным ДИУ, (в) - тестирование с ИУ

При тестировании с эталонным ДИУ темп счета тепловых нейтронов в среднем составил $3.9 \pm 0,5$ нейтрона в секунду, отклонение от данной величины на всех протестированных счетчиках составило не более 14%. При тестировании с ИУ темп счета тепловых нейтронов в среднем составил $3.74 \pm 0,55$ нейтрона в секунду, отклонение от данной величины на всех протестированных счетчиках составило не более 15%. На рисунке 2 представлено распределение темпов счета.

В ходе работы было собрано и настроено 72 эн-детектора для установки УРАН. Получены спектры и темпы счета тепловых нейтронов для детекторов, которые показали идентичность настройки всех детекторов.

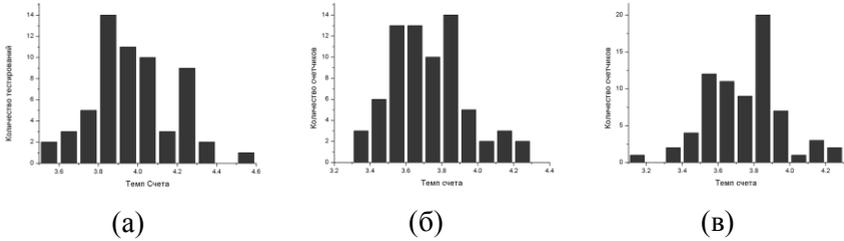


Рис 2. Распределение темпов счета,
 (а) - тестирование сцинтилляторов, (б) - тестирование с эталонным
 ДИУ, (в) - тестирование с ИУ

Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕБОД.

Литература

1. D.M. Gromushkin, N.S. Barbashina, F.A. Bogdanov et al. Project of the URAN array for registration of atmospheric neutrons. Journal of Physics: Conference Series, 675 (2016) 032043.
2. M.B. Amelchakov, F.A. Bogdanov, D.M. Gromushkin, and others. Large scintillator EN-detector with natural boron for EAS study. (ICRC-2015). Hague, Netherlands, 30 July– 06 August 2015. Book of Abstracts. ID 997. P. 287.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В СПП-500-1

Легкоступова В.В.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург
Тел. 89119353822, e-mail faith89@yandex.ru*

В данной работе ставилась задача анализа результатов расчетных и экспериментальных исследований сепараторов-пароперегревателей СПП-500-1. Подробное описание конструкции и опыт эксплуатации СПП-500-1 представлены в [1, 2]. Сепараторы-пароперегреватели данного типа эксплуатируются на действующих энергоблоках с реакторами РБМК. Расчетные исследования проводились методом математического моделирования двухфазного потока и процесса сепарации с помощью программного комплекса ANSYS CFX. Экспериментальные исследования проводились на исследовательских моделях СПП-500-1 на воздуховодяном стенде.

На первом этапе расчетных исследований были разработаны геометрические модели сепарационной части СПП-500-1: до модернизации, после модернизации, с различными углами подвода потока. Все расчеты проводятся в ANSYS CFX, в который импортировались модели и для которых строились конечно-элементная модели. Второй этап – проведение расчетов и сравнение полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными. Расчеты были проведены для однофазного потока (воздуха), двухфазных потоков – воздушно-водяного потока (с заданием капель влаги размером от 0,1 до 1 мм) и влажного пара (т.е. пара и воды).

После проведения расчетов и обработки полученных результатов можно сделать вывод о том, что во входной камере аппарата и в каналах сепаратора имеется существенная неравномерность раздачи среды по отдельным блокам. На рисунках 1, 2 представлены результаты расчетов в виде линий тока (пространственное распределение двухфазного потока). Результаты расчетов в виде поля скоростей потока на входе в сепарационные блоки представлены на рисунках 3, 4. Как видно, наиболее нагруженными сепарационными

ми блоками являются блоки, расположенные под входным патрубком, и блоки, расположенные напротив. Также имеют место области с обратным движением потока среды. Все эти явления снижают эффективность работы сепарационных блоков и СПП в целом.

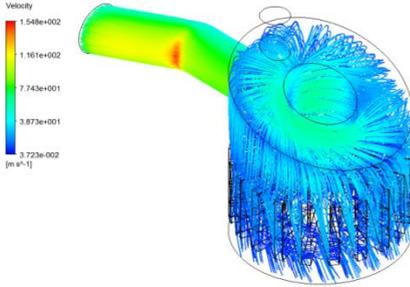


Рис. 1. Линии тока (пространственное распределение потока, угол ввода среды 28°) в сепарационной части СПП-500-1 до модернизации

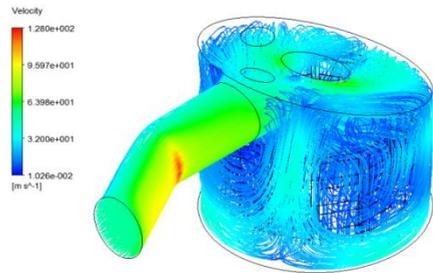


Рис. 2. Линии тока (пространственное распределение потока, угол ввода среды 28°) в сепарационной части СПП-500-1 после модернизации

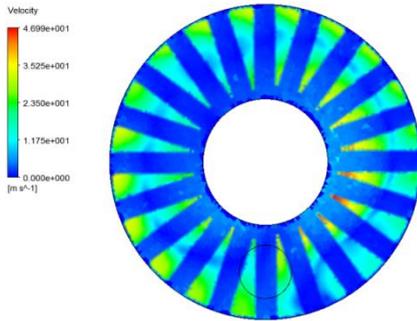


Рис. 3. Поле скоростей потока на входе в сепарационные блоки (вид сверху, угол ввода среды 28°) в сепарационной части СПП-500-1 до модернизации

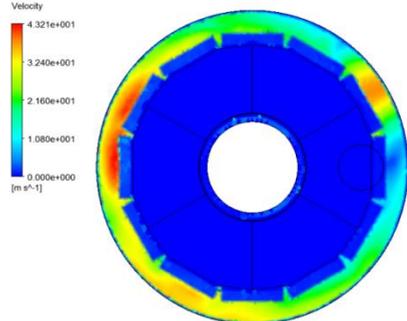


Рис. 4. Поле скоростей потока на входе в сепарационные блоки (вид сверху, угол ввода среды 28°) в сепарационной части СПП-500-1 после модернизации

Полученные результаты совпадают с результатом эксперимента [3,4]. Это позволяет сделать вывод: геометрическая модель и методика моделирования двухфазного поток достаточно адекватно описывают процессы в СПП-500-1. В дальнейшем данная методика

моделирования двухфазного потока может быть использована при расчетном анализе при проектировании и модернизации конструкций других СПП и теплообменных аппаратов, эксплуатируемых на действующих энергоблоках АЭС.

Литература

1. Филиппов Г.А., Поваров О.А. Сепарация влаги в турбинах АЭС. - М.: Энергия, 1980. – 320 с.: ил.

2. Шишкин А.А. Опыт эксплуатации промежуточных сепараторов-пароперегревателей турбин Ленинградской АЭС. / А.А. Шишкин, Е.Д. Федорович // Труды ЦКТИ. 1981, Вып.189. - С.3-9.

3. Легкоступова В.В. Модернизация сепараторов-пароперегревателей СПП-500-1 турбоустановок Ленинградской АЭС / В.В. Легкоступова, А.В. Судаков // Теплоэнергетика. 2015. № 3. С. 16-21.

4. Готовский М.А. Результаты испытаний модернизированных сепараторов-пароперегревателей турбоустановки К-500-65/3000 энергоблока №4 Ленинградской АЭС / М.А. Готовский, Б.С. Фокин, М.Я. Беленький [и др.] // Теплоэнергетика. 2012. № 2.– С. 27–32.

ЭКСПЕРИМЕНТ SHiP (ЦЕРН)***Лихачева В.Л.^{1,2}, Куденко Ю.Г.^{1,2}***¹*Институт ядерных исследований РАН, г. Москва*²*НИЯУ «МИФИ», г. Москва**тел. 8-(906)-766-37-02, e-mail: vikalikhacheva@mail.ru*

Для поиска трех новых фундаментальных фермионов, так называемых массивных Майорановских нейтрино, разрабатывается эксперимент SHiP (ЦЕРН) [1]. Существование тяжелых нейтрино объяснит темную материю, позволит сделать обычные нейтрино массивными, не нарушая положений Стандартной Модели, а также поможет понять механизм нарушения симметрии между материей и антиматерией. Массы этих частиц ожидаются в районе от 0,5 ГэВ до 30 - 40 ГэВ.

Проект SHiP предполагает использование пучка протонов, полученного в ускорителе SPS, с энергией 400 ГэВ и интенсивностью $4 \cdot 10^{13}$. Установка будет иметь форму цилиндра длиной примерно 50 м и диаметром 5 м. Пучок протонов, провзаимодействовав с вольфрамовой мишенью, сгенерирует D-мезоны, в распадах которых впоследствии образуется Майорановские нейтрино, распадающиеся на другие частицы, например, пион и мюон [2]. Необходимо будет измерить массу распадной частицы и идентифицировать частицы, на которые распалось тяжелое нейтрино.

Для идентификации мюонов в установке эксперимента SHiP будет установлен мюонный детектор, состоящий из 4-х станций, которые представляют собой чередующиеся активные элементы и пассивные железные фильтры [1]. В качестве активных элементов предложено использовать пластмассовые сцинтилляционные пластины со спектросмещающими оптическими волокнами и оптоэлектронной системой считывания.

Целью данной работы является тестирование сцинтилляционных пластин, разрабатываемых для мюонного детектора.

В пластины длиной 3 м, толщиной 7 мм и шириной 3 см / 5 см, изготовленные методом экструзии, были вклеены волокна фирмы

Kuraray WLS Y11. В качестве фотоприемников использовались микропиксельные фотосенсоры Hamamatsu S13081-050CS. Тестирование этих пластин производилось в ЦЕРНе на пучке протонов и пионов с энергией 10 ГэВ/с.

В ходе работы методом следящего порога определено временное разрешение сцинтилляционных пластин, облученных пучком протонов и пионов. Для пластин шириной 3 см временное разрешение оказалось равным около 700 пс, для пластин шириной 5 см – 780 пс.

На рис. 1 (а, б) представлены графики зависимостей световыхода от координаты попадания пучка в пластины шириной 3 см и 5 см. Кривая 1 соответствует значениям световыхода, посчитанным с фотосенсора на левом конце пластины, кривая 2 – с фотосенсора на правом конце, кривая 3 является их суммой.

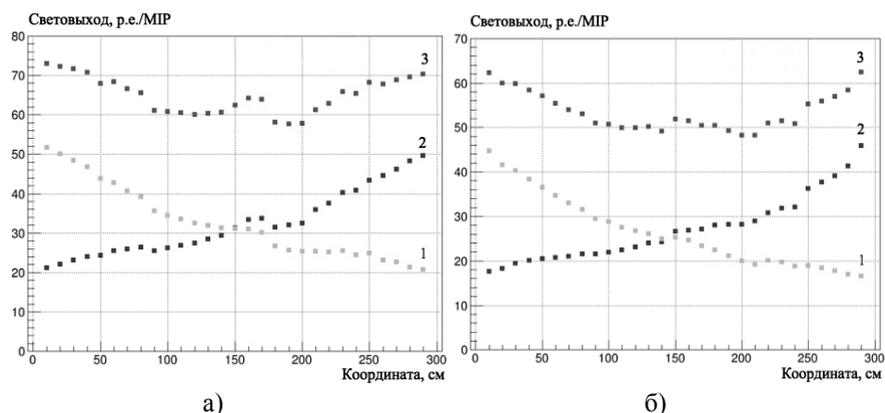


Рис. 1. Зависимость световыхода от координаты попадания пучка в сцинтилляционную пластину шириной а) 3 см, б) 5 см

Полученные зависимости показывают, что при облучении пучком пластин шириной 3 см значения световыхода оказываются лучше, чем при облучении пластин шириной 5 см. Таким образом, пластины меньшей ширины дают более высокий световыход и лучшее временное разрешение. Но эта разница между пластинами шириной 3 см и 5 см не имеет существенного значения и может быть сведена к минимуму путем изменения качества сцинтиллятора или характеристик фотосенсоров.

Литература

1. M. Anelli *et al.* (The SHiP Collaboration), “A Facility to Search for Hidden Particles (SHiP) at the CERN SPS ”, arXiv:1504.04956v1 [physics.ins-det].
2. S.N. Gninenko, D.S. Gorbunov, M.E. Shaposhnikov, “Search for GeV-scale sterile neutrinos responsible for active neutrino oscillations and baryon asymmetry of the Universe”, arXiv:1301.5516v1 [hep-ph].

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК ТИПА ВВЭР-1000

А.И. Максимкин¹, И.А. Тутнов², С.А. Соколов¹, И.С. Крюков¹

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

*² Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт",
г. Москва*

+7 (916) 882-46-10, aimaksimkin@mephi.ru

Главный циркуляционный трубопровод (ГЦТ) является ответственным элементом, обеспечивающим работоспособность ядерных энергетических установок, который функционирует в агрессивных условиях. В функции ГЦТ входит перенос теплоносителя. В случае реакторных установок (РУ) типа ВВЭР это вода при давлении 17,6 МПа и температуре 320°С. От герметичности ГЦТ напрямую зависит безопасность использования атомной энергетики [1].

Одним из необходимых этапов в процессе изучения причинности дефектообразования является определение формы и размеров внутренних дефектов сварных соединений ГЦТ [3]. Для полного представления процесса требуется визуализация сплошности материала, а именно получение акустических изображений для чего используются когерентные методы получения изображения.

Процесс внимательного изучения и полного установления причин дефектообразования является необходимым для устранения неисправностей и реализации соответствующих компенсирующих мероприятий [2]. От степени достоверности данных зависит эффективность вводимых мероприятий, для чего применяются методы распознавания технического состояния объектов контроля [5].

Возникающие дефекты представляют собой различные виды износа, связанные с коррозионными процессами, агрессивностью среды, такие как трещины, связанные с коррозионным растрескиванием, усталостные трещины, износ в результате кавитации [4].

Объектом исследования в настоящей работе стал трубопровод Ду 850 мм ГЦТ на РУ типа ВВЭР-1000, изготавливаемый из леги-

рованной стали перлитного класса марки 10ГН2МФА, плакированной изнутри сталью марки ЭИ-898 с помощью антикоррозионной ленточной наплавки. Толщина основного металла 65 мм, плакирующего слоя 5 мм, наружный диаметр трубы 990 мм.

Для визуализации внутренних дефектов используют метод фазированных решеток, основанный на акустических методах диагностики с использованием пьезокерамических преобразователей, изготавливаемых из пьезокерамики ЦТС-19. На практике настоящий метод позволил с требуемой точностью простроить акустические карты. Однако точность метода зависит от расположения дефекта. Дефекты сварных соединений могут располагаться:

- в металле сварного шва;
- на границе сплавления;
- в зоне термического влияния;
- в основном металле трубопровода.

Исследование проводилось в лабораторных на испытательных образцах с использованием макета дефектоскопа с на базе OMNIS-CAN MX. Сбор данных проводилось при шаге измерительной позиции в 0,5 мм.

В результате исследований в экспериментальных образцах были обнаружены дефекты, однако в процессе были замечены особенности применяемого метода в зависимости от угла наклона плоскости дефекта, для чего разработаны методики компенсации чувствительности измерительной системы.

Результаты исследований использовались при выполнении работ по Соглашению № 14.578.21.0067, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57814X0067, при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Поваров В.П., Бакиров М.Б. Анализ причин повреждения узла приварки горячего коллектора теплоносителя первого контура к патрубку ДУ 1200 парогенераторов 5-ГО блока Нововоронежской АЭС. Атомная энергия. 2015, №3, с126-134.

2. Европин С.В., Стрелков Б.П. Управление сроком безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов действующих и сооружаемых реакторных установок. — Атомная энергия, 2007, т. 103, вып. 1, с. 61—65.

3. М.Б. Бакиров, Е.М. Кудрявцев, Г.А. Сарычев, И.А. Тутнов. Введение в техническую диагностику потенциально опасных объектов атомной энергетики. Учебное пособие для вузов. М.: РАДЭКОН, 2003. 38с.

4. М.Б. Бакиров, Е.М. Кудрявцев, Г.А. Сарычев, И.А. Тутнов. Применение статистических методов распознавания и принятия решений при диагностике оборудования ЯЭУ. Учебное пособие для вузов. М.: РАДЭКОН, 2003. 32с.

5. Скоморохов А.О., Нахабов А.В., Белоусов П.А. Автоматизированный анализ результатов радиографического контроля сварных соединений на АЭС. Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2009, №3, с29-36.

ВВЭР-МТ**Масенко С.А.**

*Томский политехнический университет, г.Томск
89234199500, Mongusch-S@mail.ru*

В настоящий момент основной поток энергии электрических атомных станций в России производят реакторы типа ВВЭР, так как их преобладающее количество. Данный тип станций работает на керамическом топливе, которое имеет низкий коэффициент теплопроводности и высокий градиент температуры в топливе, поэтому предлагается использовать микротопливо (МТ), которое имеет более высокий коэффициент теплопроводности. В данном топливе горючее вещество находится в центре капсулы и окружено 3-4 слоями защиты [1]. Применение такого вида топлива позволяет повысить безопасность энергоустановки, потому что практически исключается выход продуктов деления даже в максимально тяжелых авариях, включая разрушение корпуса реакторной установки, введение большой положительной реактивности, так как топливо может сохранять свою герметичность при температуре 2000 °С более 200 часов при потере теплоносителя.

Замена одного вида топлива совершенно новым топливом для реакторной установки требует детального описания и изучения нейтронно-физических, теплофизических характеристик. Данная модель реактора мало изучена, поэтому было решено рассмотреть возможность перехода на микротопливо, сохраняя нейтронно-физические характеристики и улучшая безопасность установки. Для нейтронно-физического анализа МТ в водоохлаждаемом реакторе было построено две модели тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР-1000 в программном комплексе MCUTRU. Одна с стандартной загрузкой диоксида урана с обогащением 4,4 %, другая с микротопливом в виде свободной засыпки с разными защитными покрытиями и с тем же обогащением. Первое защитное покрытие для МТ выполнено из пироуглерода разной плотности и карбида кремния, обозначим его С, второе покрытие выполнено в виде композиции карбида кремния-углерод-нитрид-титана, обозначенное Ti.

Моделировалось изменение значение коэффициента размножения во временном интервале от 0 до 900 эфф. сут для трех видов топлива [2]. Значение коэффициента размножения имеют наименьше значение у МТ с оболочкой в виде композиции карбид кремния - углерод - нитрид - титана на протяжении всей кампании. Это связано с тем, что в данном топливе имеется материалы, у которых имеется паразитных захват в тепловой области, а именно титан, азот, кремний. Повысить значения коэффициента размножения можно увеличив обогащения топлива. Значение для МТ с оболочкой из пироуглерода лежат в одной области с обычным топливом.

Результаты моделирование двух разных загрузок показали, что спектр нейтронов в микротопливе более мягкий, чем в стандартном топливе. Жесткость спектра определяется отношением плотности потока резонансных нейтронов к плотности потока тепловых нейтронов. Значение жесткости спектра для рассчитанных топливных композиций приведены в таблице 3.

Таблица 3. Жесткость спектра

Топливная композиция	$\Phi_{\text{тепл}}, \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	$\Phi_{\text{рез}}, \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	K
UO ₂	2,48E+13	8,25E+12	0,333
C	3,34E+13	4,27E+12	0,125
Ti	3,55E+13	4,00E+12	0,113

Плотность потока тепловых нейтронов в МТ превосходит диоксид урана в 1,75 раза. Это объясняется наличие дополнительных материалов, которые замедляют нейтроны, а именно углерод в одном микротвэле и композиция карбид кремния-углерод-нитрид-титана в другом. Однако при переходе на микротопливо количество резонансных нейтронов уменьшается. Это связано с тем, что частицы топлива располагается относительно друг друга на расстоянии от 1 до 3 мм. Это расстояние меньше длины пробега нейтронов в водороде. Из-за чего возникает блокировка резонансов одного микротвэла другим. Отрицательно сказывается это на коэффициенте воспроизводства. Совместно с жесткость спектра рассчитана наработка и выгорание нуклидов.

Полученные результаты показали, что возможно использовать микротопливо в реакторе ВВЭР без существенных изменений конструкции. Техническое решение тепловыделяющего элемента в виде МТ позволяет достигать более высоких глубин выгорания, чем в стандартном твэле. Благодаря низкому градиенту температур в МТ повышается теплопередача теплоносителю, что эффективно сказывается на технико-экономических показателях реактора.

Литература

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 2. Ядерные топливные материалы. / Б.А. Калинин, Ю.А. Годин, Ф.В. Тенишев, В.В. Новиков./ Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2008. с. 505-523.
2. Обоснование нейтронно-физической и радиационной частей проектов ВВЭР. / Горохов А.К., Драгунов Ю.Г., Лунин Г.Л., Новиков А.Н../ – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. с. 350.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ В ДВУХФАЗНОМ ЭМИССИОННОМ ДЕТЕКТОРЕ

Масленкина А.Ю., Кирсанов М.А.

*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
г. Москва
8-(915)-076-44-72, anumas@yandex.ru*

Двухфазные эмиссионные детекторы (ДЭД) на основе благородных газов способны регистрировать частицы с предельно низким энерговыделением. Другим важным преимуществом таких детекторов является возможность создания установок с большим объемом детектирующего вещества, что является необходимым при регистрации слабовзаимодействующих частиц. Эти два главных преимущества ДЭД определяют основные области их применения в настоящее время: регистрация нейтрино и предсказываемых теорией гипотетических частиц, например, таких как частицы Темной Материи. Эксперименты по поиску частиц Темной Материи с использованием ДЭД на основе жидкого ксенона (Zepplin, Xenon, LUX, XMASS) идут уже в течение многих лет. В НИЯУ «МИФИ» создается детектор нейтрино нового поколения РЭД100 [1], предназначенный для регистрации нового вида взаимодействия – когерентного рассеяния нейтрино на ядрах. Одновременно в НИЯУ «МИФИ» действует жидкоксеноновый эмиссионный детектор РЭД1 [2], являющийся прототипом создаваемого детектора РЭД100.

В ДЭД регистрация частиц происходит в жидкой фазе. При этом возникает первая (сцинтилляционная) вспышка света. Образовавшиеся электроны ионизации под действием электрического поля эмитируют в газовую фазу детектора и порождают вторую (электролюминесцентную) вспышку. Световые фотоны регистрируются с помощью ФЭУ. Характерной особенностью ДЭД является то, что на выходе детектора формируются сигналы нескольких типов: сцинтилляционные, электролюминесцентные, а также шумовые сигналы (одноэлектронные и однофотоэлектронные). Это обстоятельство определяет специфику анализа данных подобных детекторов, которая состоит в том, что обработка данных происходит в

три этапа: 1) параметризация всех сигналов с детектора; 2) кластеризация сигналов по типам; 3) селекция полезных сигналов и по их параметрам определение физических характеристик зарегистрированных частиц.

Целью данной работы являлась разработка программы параметризации и кластеризации данных детектора РЭД1. На рис. 1 и рис. 2 представлены результаты кластеризации сцинтилляционных и электролюминесцентных сигналов детектора РЭД1, полученных от источника ^{83m}Kr . Распад изомера ^{83m}Kr (41.5 кэВ) позволяет провести энергетическую калибровку, а также определить время жизни свободных электронов в жидкой фазе детектора.

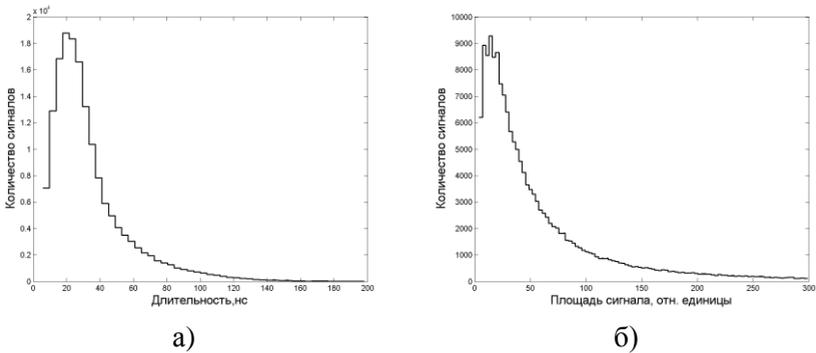


Рис.1. Распределение длительностей (а) и площадей (б) сцинтилляционных сигналов

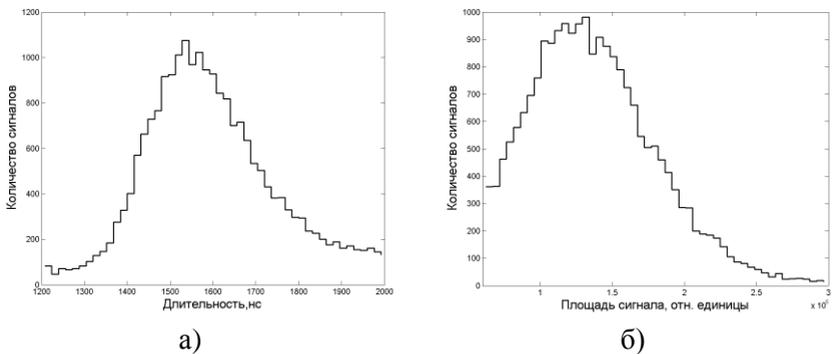


Рис.2. Распределение длительностей (а) и площадей (б) электролюминесцентных сигналов

Разработанная программа осуществляет параметризацию и кластеризацию всех типов сигналов детектора РЭД1. После адаптации данной программы под формат выходных сигналов создаваемого большого эмиссионного детектора РЭД100 она позволит решать данную задачу и для детектора РЭД100.

Литература

1. D.Yu. Akimov et al. «Prospects for observation of neutrino-nuclear neutral current coherent scattering with two-phase Xenon emission detector». JINST. V.8. P10023 (2013).
2. D.Yu. Akimov et al. « Observation of delayed electron emission in a two-phase liquid xenon detector». JINST. V.11. C03007 (2016).

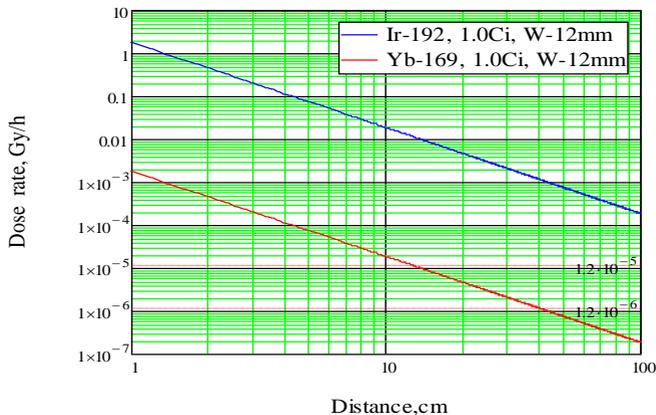
БРАХИТЕРАПИЯ С ИТТЕРБИЕВЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

**Михайлова Т.С., Акулиничев С.В., Чаушанский С.А.,
Яковлев И.А.**

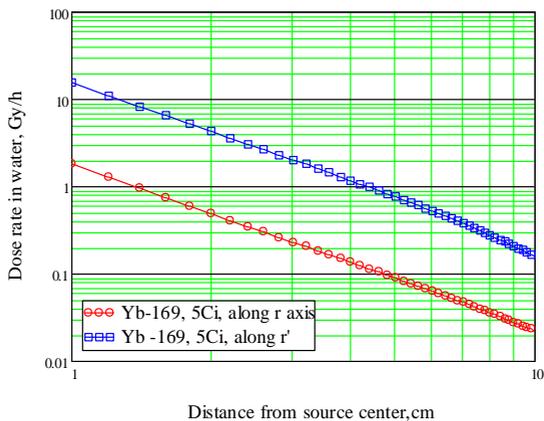
ИЯИ РАН, 117312, г. Москва
8(985)170-94-52, mikhaylova@med.inr.ru

Высокодозовая брахитерапия (ВДБ) с иридиевыми источниками - эффективная и широко используемая технология лечения различных видов опухолей. Но иридий-192 имеет ряд недостатков: требуются специальные каньоны для проведения лечения и специальное оборудование для поставки и замены источников, затруднена защита здоровых органов от излучения. Эти недостатки могут быть устранены при использовании иттербиевых источников, имеющих среднюю энергию излучаемых фотонов 93 кэВ. Излучение иттербия-169 очень эффективно экранируется тяжелыми материалами. Например, при экранировании вольфрамом толщиной 12 мм, терапевтический иттербиевый источник безопасен для персонала (рис.1).

Кроме того, качество лучевой терапии может быть значительно улучшено за счёт коллимации излучения иттербия. На рис.1 сравниваются два дозовых распределения иттербия в воде: с вольфрамовым экраном толщиной 1мм (нижняя линия) и без него. Из рисунка следует, что слой вольфрама в 1 мм позволяет защитить здоровые органы от излучения ^{169}Yb .



а)



б)

Рис.1 а) мощность дозы в воздухе источников ^{169}Yb и ^{192}Ir с активностью 1Ки, закрытых вольфрамом толщиной 12мм (горизонтальные линии- максимальные уровни персонала группы А и Б). б) мощность излучения иттербиевого источника активности 5 Ки для открытого источника (верхняя линия) и с вольфрамовым экраном толщиной 1 мм.

ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРИКОРПУСНЫХ УСТРОЙСТВ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

Мовчан Ю.С.

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Киев
+38 (066) 467-00-49, Julia.movchan.94@gmail.com*

За последние 5 лет ученые и энергетики стран СНГ получили значительный опыт в вопросах оценки остаточного ресурса оборудования АЭС и внедрения новых методологий и норм на эксплуатационных участках. Особенностью отечественной атомной энергетики является то, что замена внутрикорпусных устройств (ВКУ) реакторов не всегда является экономически возможной. Именно поэтому в общем наборе критериев надежности оборудования появляются характеристики, которые учитывают влияние факторов вызванных накопленными дефектами в материале, обусловленными флюенсом нейтронов и радиационным энерговыделением.

Характерные размеры элементов выгордки со временем эксплуатации могут существенно меняться, причем интенсивность формоизменения зависит от поражающей дозы и температуры [2], которые в свою очередь определяются общей динамикой эксплуатации реакторной установки. Изменение геометрии в свою очередь может повлиять на гидравлику проточной части реактора, вызывая так называемые аномальные гидродинамические процессы, изменение собственной частоты колебаний ВКУ, тем самым смещая резонансы в спектре характерных частот вибрационных процессов. Однако самым главным следствием формоизменения является заклинивание ТВС на периферии реакторной установки [2] через некоторое время после начала эксплуатации. Дальнейшая тенденция изменения геометрических размеров в том же направлении приведет к неспособности обеспечить нормальную эксплуатацию реактора без замены внутрикорпусного оборудования.

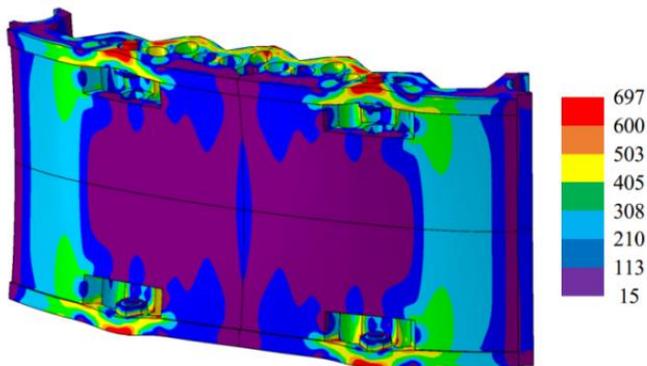


Рис.1. Расчетные напряжения деформированного состояния после 60 лет эксплуатации, МПа

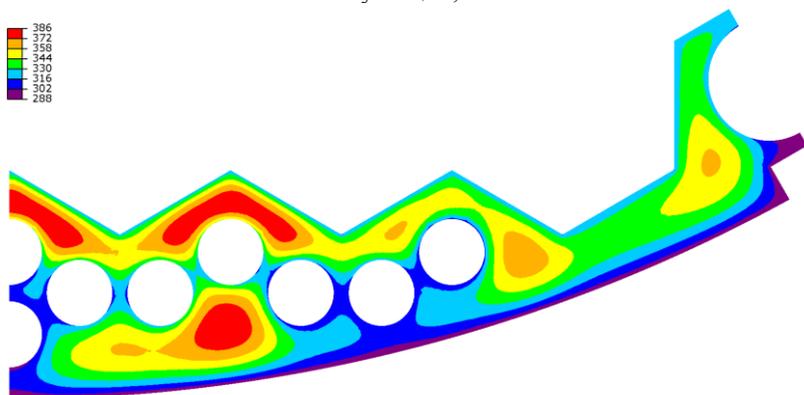


Рис.2. Распределение температуры в выгородке при нагрузке радиационными энерговыделениями при работе на максимальной мощности, °С

Для оценки скорости формоизменения необходимо оперировать интегральной характеристикой работы реакторной установки в течение всего срока эксплуатации, которая определяет интенсивные характеристики – остаточные напряжения (см. рис. 1) и напряжения вызванные неравномерностью распределения температур (см. рис. 2), которые вызывают деформацию. Существует много моделей для оценки формоизменения [2], которые в основном являются модификациями «моделей свободного распухания», дополненными средним напряженным состоянием, видом напряженного состоя-

ния, явлением радиационной ползучести и скоростью набора дозы материалом. С помощью таких моделей оценивают деформацию и напряжение деформированного состояния, последнее сравнивают с пределом текучести, и делают предварительные выводы относительно дальнейшей работы ВКУ. Окончательно принимаются решения относительно адекватности выбранной модели и возможности дальнейшей эксплуатации реакторной установки только после натуральных измерений во время капитального или планового ремонта энергоблока.

Литература

1. Пономарев-Степной Н.Н. Тепловыделение в ЯР / Глушков Е.С. ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1985 – 159 с.
2. Мирзов И.В. Напряженно-деформированное состояние внутрикорпусных устройств реактора ВВЭР-1000 : дис.. кан. тех. наук/ Мирзов И.В. –К, 2015-200с.

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В СЕТЕВОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛА ОЙ ХАНГАЛАССКОГО УЛУСА

Наумова К.А., Егорова С.Е., Степанов В.Е., Рафаилова Н.А

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

г.Якутск

Тел.: 4 (112) 49-68-73, e-mail: galich_88@mail.ru

Исследование содержания радона в жилых деревянных домах с газовыми отоплениями проводились в селе Ой Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия) с помощью прибора радиометра объемной активности радона-222 Alpha Guard фирмы Genitron Instruments GmbH, Германия. Радиометр непрерывно автоматически измеряет объемную активность радона в воздухе жилых и производственных помещений, а также на открытом пространстве. Alpha Guard одновременно регистрирует условия для измерения объемной активности – температуру, давление и относительную влажность контролируемого воздуха.

Село Ой – центр Немюгюнского наслега, расположено на левом берегу р.Лена, в 68 км выше Якутска и в 7 км ниже улусного центра г.Покровска. Измерения проводились для четырех видов газовых котлов: универсальный газовый котел КЧМ, газовый котел АОГВ (агрегат отопительный газовый водонагревательный), котел КСГ мощностью в 12,5 кВт (котел стальной газовый) и немецкий котел Wolf.

Максимальные результаты измерений для четырех газовых котлов приведены в таблице 1.

В среднем погрешность прибора при измерениях объемной активности радона равна ± 20 Бк/м³. Из таблицы 1 средние значения измерений для каждого котла следующие: КЧМ-5 – 87,2 Бк/м³; КСГ-12,5 – 38,25 Бк/м³; АОГВ – 140,6 Бк/м³; Wolf – 88,2 Бк/м³.

Таблица 1. Измерение объемной активности радона				
Наименование газовых котлов	^{222}Rn , Бк/м ³	Температура воздуха, °С	Давление воздуха, мбар	Влажность воздуха, %
КЧМ-5	95	22	999	15
КЧМ-5	80	21	1000	15
КЧМ-5	75	20,8	1001,5	16
КЧМ-5	98	26	1008,4	18
КЧМ-5	88	19,3	1006,4	10
КСГ-12,5	47	21	1002	15
КСГ-12,5	47	21,5	1000,1	17,1
КСГ-12,5	24	23	1010,2	20
КСГ-12,5	35	24	1010,5	23
АОГВ	150	21	999,1	15
АОГВ	66	22	1000,1	16
АОГВ	229	21	1001,1	16
АОГВ	197	21,2	999,8	14
АОГВ	117	21,5	1011,4	12
АОГВ	85	23,6	1031,1	6
Wolf	126	21	1010	16
Wolf	56	20,9	999,3	15
Wolf	79	21	1002,3	15
Wolf	85	20,9	1000,6	16
Wolf	95	21,1	1002,3	12

Самый наибольший результат был получен в жилом помещении с универсальным газовым котлом АОГВ – 229 Бк/м³. По сравнению с другими газовыми котлами его среднее значение наибольшее – 140,6 Бк/м³. Предельно допустимая концентрация (ПДК) радона в воздухе помещений составляет 200 Бк/м³. Это означает, что показание в 229 Бк/м³ находится на уровне ПДК.

Самый наименьший результат был получен в жилом доме с газовым отоплением КСГ-12,5. Его среднее значение составило 38,25 Бк/м³. Это в 5,2 раза меньше ПДК.

Таким образом, установлено, что содержания радона, обусловленные потреблением природного газа, зависят от коэффициента

полезного действия котлов и теплоизоляции домов, определяющих объемы потребляемого газа. В то же время наилучшие показатели по радону получаются при эксплуатации котлов КСГ отечественного производства.

ОЦЕНКА ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА, ПОСТУПАЮЩИХ ЧЕРЕЗ ЯГОДЫ И ИВАН-ЧАЙ

**Наумова К.А., Филатова З.Д., Степанов В.Е.,
Мохначевская М.М.**

*Северо-Восточный Федеральный Университет имени М.К. Аммосова,
г. Якутск
тел: 89247627917, e-mail: galich@mail.ru*

Продукты питания являются одним из основных источников поступления естественных радионуклидов в организм людей. К числу таких продуктов относится ягоды и травянистые растения, которые применяются в качестве заменителя чаев. Тема представляет теоретический и практический интерес, так как радиоактивное загрязнение атмосферы и накопление радионуклидов в ягодных и травянистых растениях Республики Саха (Якутия) изучена недостаточно.

Объектами исследования являются ягодные растения Вилюйской, Центральной, Алданской группы улусов и травянистые растения пригорода г. Якутска. Измерения активности радионуклидов производились на портативном гамма-спектрометре на основе ОЧГ (особо чистого германия) Trans-Spec DX100.

Выбор данных улусов был определен в связи с наличием в Алданском улусе группы радиоактивных месторождений Эльконского горста, в Вилюйской группе улусов при разведке ряда месторождений в 70-80-е годы XX века были применены ядерные взрывы. Усть-Алданский улус был выбран как эталонный, т.к. в данном улусе нет промышленных предприятий и радиоактивных месторождений. Пригород г. Якутска выбран с целью проверки содержания радионуклидов в местности расположенной в зеленой зоне г. Якутска, где местное население собирает лекарственные растения.

Результаты измерений приведены в таблице 1. Проведенные исследования показали, что наибольшее содержание калия-40 в бруснике Вилюйского улуса - 2982,5 Бк/кг. А внутренняя дозовая нагрузка на организм человека составляет 250,5 мкЗв/год, при нор-

ме -1008 мкЗв/год. Искусственный цезий-137 не обнаружен во всех пробах.

Таблица 1. Расчет доз внутреннего облучения

Наименование	Радионуклид	A _{пр} , Бк/кг	A _{год} , Бк/год	K _D по НРБ-99/09, мкЗв/Бк	D _{внутр} , мкЗв/год	Дозовый предел по НРБ-99/09, мкЗв/год
Брусника (Алдан)	К-40	2390,2	4780,4	0,042	207,7	1008
	Th-232	48,2	96,4	0,45	43,3	990
	U-238	47,2	94,4	0,12	11,3	1008
Брусника (Вилюйск)	К-40	2982,5	5965	0,042	250,5	1008
	Th-232	50	100	0,45	45	990
	U-238	118,1	236,2	0,12	28,3	1008
Брусника (Усть-Алдан)	К-40	2699,8	5399,6	0,042	226,7	1008
	Th-232	48,2	96,4	0,45	43,3	990
	U-238	41,2	82,4	0,12	9,8	1008
Голубика (Алдан)	К-40	262,6	525,2	0,042	22,05	1008
	Th-232	7,4	14,8	0,45	6,6	990
	U-238	-	-	-	-	-
Голубика (Вилюйск)	К-40	-	-	-	-	-
	Th-232	13,3	26,6	0,45	12	990
	U-238	23	46	0,12	5,52	1008
Голубика (Усть-Алдан)	К-40	367,6	735,2	0,042	30,8	1008
	Th-232	20,7	41,1	0,45	18,6	990
	U-238	23,1	46,2	0,12	5,54	1008
Черная смородина (Алдан)	К-40	1229,1	2458,2	0,042	103,2	1008
	Th-232	13,1	26,2	0,45	11,7	990
	U-238	-	-	-	-	-
Черная смородина	К-40	321,8	643,6	0,042	27,03	1008
	Th-232	13,1	26,2	0,45	11,7	990
	U-238	-	-	-	-	-

(Вилюйск)						
Черная смородина (Усть-Алдан)	К-40	685	1370	0,042	57,5	1008
	Th-232	22,4	44,8	0,45	20,1	990
	U-238	51	102	0,12	12,24	1008
Красная смородина (Вилюйск)	К-40	14,4	28,8	0,042	1,2	1008
	Th-232	5,6	11,2	0,45	5,04	990
	U-238	4,1	8,2	0,12	0,98	1008
Красная смородина (Усть-Алдан)	К-40	487,2	974,4	0,042	41	1008
	Th-232	16,2	32,4	0,45	14,5	990
	U-238	20,6	41,2	0,12	4,9	1008
Иван-чай	К-40	314	628	0,042	26,3	1008
	Th-232	9,8	9,8	0,45	4,41	990
	U-238	50,3	50,3	0,12	6	1008

На основании данных измерений по таблице 1. получается, что в исследованных ягодах и иван-чае естественные радионуклиды дают дозы внутреннего облучения от потребления брусники в 5 раз меньше чем ПДК для продуктов питания. Для остальных ягод и иван-чае этот показатель в сотни раз меньше ПДК.

ТЕОРИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДОЗИМЕТРИИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕНА НЕРАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Наумова К.А., Степанов В.Е.

ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова» г. Якутск
+79142723129, kristinan_1604@rambler.ru

Новая теория радиационно-индуцированной температурной дозиметрии возникла из того, что поглощение веществом ионизирующего излучения приводит к поглощению энергии веществом в виде тепловой энергии и соответствующим повышением температуры. Поглощение радиации веществом сопровождается не только ионизацией воздуха в эталонной камере в счетчике Гейгера внутри дозиметра, но и повышением температуры вещества. Следовательно, измеряя повышение температуры можно определять дозы радиации.

Например, рассмотрим «водяной дозиметр» т.е. берем 1 литр воды и даем дозу в 1 Гр (1 Грей поглощенной дозы) в течение часа. Эту дозу равную 1 Дж/кг, умножаем на полную массу воды в 1 кг и получаем энергию воды равную 1 Дж, которая эквивалентна 4,38 калорий тепловой энергии. Если вода имела начальную температуру 0°C , то она нагреется до $0,000239^{\circ}\text{C}$. Полученную разность температур умножаем на время 60 минут и получаем температурную дозу равную 0,014 Ст (Стефан). Аналогичным образом рассмотрим 1 кг воздуха («воздушным дозиметром»), даем дозу в 1 Гр. Если воздух имел начальную температуру 0°C , то нагреется на $0,001^{\circ}\text{C}$. Эту разность температур умножаем на 60 минут и получаем температурную дозу, которая равна 0,06 Ст. Таким же методом зададим воздуху (1 кг) смертельную дозу (для человека) в 7 Гр в течении часа. Через час разность температур составит $0,007^{\circ}\text{C}$, умножаем на время (60 минут) и находим температурную дозу равную 0,42 Ст.

Температурная доза – это интегральная характеристика температурного воздействия на объект, равная площади графика зависимости температуры от времени. В международной системе единиц

температурная доза имеет размерность градус на секунду. При отрицательных температурах воздействие характеризуется отрицательными дозами. Для практики предложена новая внесистемная единица, названная Стефаном (Ст) – градус на минуту. Поглощение веществом ионизирующего излучения приводит к поглощению энергии веществом в виде тепловой энергии и соответствующим повышением температуры.

С помощью теории температурной дозиметрии были экспериментально определены:

1. теплотворные способности топливных композиций из отходов древесины, твердых бытовых отходов, резины, пластмассы, отработанного масла, угольной крошки с помощью формулы теплового баланса: $S = k \cdot H \cdot m \cdot \Delta t$ где S - температурная доза, k - коэффициент теплообмена печи, учитывающий уход тепла с дымовыми газами, H - теплотворность топлива (дж/кг), m - масса топлива (кг), $\Delta t = t_2 - t_1$ полное время горения топлива;

полученные значения теплотворных способностей: для смеси лиственница+уголь 10,2 МДж/кг, смеси лиственница+пластмасса 11 МДж/кг, резины 25 МДж/кг, смеси резина+лиственница 12,2 МДж/кг, смеси масло+лиственница 10,9 МДж/кг.

2. коэффициенты теплопроводности различных композитных материалов, таких как лед и песок $\lambda = 3,1 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{град})}$, лед и земля $\lambda = 3,04 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{град})}$ с помощью формулы $\lambda = k \cdot S$ где λ – коэффициент теплопроводности, S – температурная доза, k – калибровочный коэффициент;

3. температуропроводности различных материалов с помощью построения задачи о распределении температуры в полубесконечном стержне.

Литература

1. К.А.Наумова, В.Е.Степанов. Исследование теплопроводности материалов методом температурной дозиметрии// сборник материалов конференции «Фундаментальные научные основы современных комплексных методов исследований и испытаний материалов, а также элементов конструкций»: М- ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2015.

ОЦЕНКА ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТРИТИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ПРИМЕРЕ ОКРЕСТНОСТЕЙ С. БЕЧЕНЧА ЛЕНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) И Г. ЯКУТСКА

Наумова К.А., Игнатъева Г.А., Степанов В.Е., Корякина А.Ю.

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

Тел.: 4 (112) 49-68-73, e-mail: galich_88@mail.ru

По причине того, что фоновые содержания трития (порядка 1 – 10 Бк/л) стали доступны измерениям только на новых приборах типа Tri-Carb 3120 или Quantulus 1220 и SL-300 [1] данные основательных исследований по фону трития стали появляться сравнительно недавно. Малые содержания измеряемой величины составляют главный вызов для исследователей, который имеет фундаментальную значимость для исследования влияния естественной и искусственной радиации на биосферу.

Исследование концентрации трития в водоемах Республики Саха (Якутия) актуально в связи с известным широтным эффектом, на северных широтах имеют место наибольшие воздействия солнечных термоядерных реакций, порождающих тритиевый дождь с суточными вариациями. На территории Якутии на границе Ленского и Мирнинского районов расположено Средне-Ботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение, от которого берет начало действующий экспортный нефтепровод ВСТО. С целью повышения дебита скважин нефтяного месторождения там было произведено 7 подземных ядерных взрывов в 70-80-х гг. Район исследования расположен в 160-200 км от скважин этих подземных ядерных взрывов.

С августа 2015 года по январь 2016 года отобрано 17 образцов воды, снега и льда на территории Ленского района вблизи с. Беченча, а так же из близлежащих местностей. Пробы измеряли на жидкостном сцинтилляционном спектрометре SL-300 производства фирмы Hidex, Финляндия. Прибор позволяет измерять содержание трития на уровнях до 1 Бк/л. Учтены суточные вариации фона прибора посредством чередования измерений изучаемых образцов во-

ды с низким содержанием трития, полученных сжиганием и конденсированием сжиженного природного газа. Было выполнено 100 измерений в идентичных условиях для воды из талого снега со средним значением в $5,69 \pm 0,986$ Бк/л, ошибка составила 17,3%.

№	Наименование пробы	Бк/л
1	Родник села Беченча	4,22
2	Родник села Мурья	4,15
3	Малая Ботуобуйа	4,22
4	Река Нюя1	2,92
5	Очистительная г.Мирный	2,86
6	Река Лена	5,6
7	Улэгир поселок Арылах	2,7
8	Река Мурбай	4,7
9	Речка Беченча урэгэ	2,13
10	Река Нюя2	5,93
11	Снег с.Беченча	3,01
12	Снег г.Ленск	1,43
13	Снег г.Мирный	5,57
14	Лед р. Беченча	2,61
15	Лед р. Лена	5,11
16	Лед р. Мурбай	4,8
17	Водопроводная вода г.Ленск	4,04
Среднее значение		3,88±1,32*
* - в ошибку измерений введена дисперсия данных вокруг среднего значения, которая называется стандартным отклонением.		

Для исключения псевдосигналов от воздействия прямых солнечных лучей и повышения температуры сцинтиллятора все пробы охлаждались и выдерживались в холодильнике до температуры 13°C в течение суток.

Значения концентрации трития в пробах Ленского района находятся на уровне естественных значений от 1,43 до 5,93 Бк/л и приведены в таблицу 1.

Для сравнения так же были исследованы несколько проб воды из г. Якутска (см. таблицу 2). Содержания трития в водных образцах Ленского района и г. Якутска имеют небольшую разницу между собой, в среднем колеблются от 0,91 до 18,76 Бк/л и в некоторых случаях превышают фоновые значения.

Таблица 2. Концентрация трития в водах г. Якутска			
№	Наименование пробы	Дата отбора	Бк/л
1	Дождевая вода	09.06.2012	1,81
2	Дождевая вода	24.05.2013	18,76
3	Снег	11.03.2013	9,61
4	Снег	25.01.2016	10,6
5	Водопроводная вода	12.03.2013	0,91
6	Водопроводная вода	25.01.2016	1,52
Среднее значение			7,2±7,1

Самый наибольший результат был получен в дождевой воде – 18,76 Бк/л, и в снеге – 10,6 Бк/л. Это объясняется космогенным тритием, который выпадает с атмосферными осадками. Итоги этих исследований могут быть применены в качестве стандартов для последующего мониторинга.

Литература:

1. Самойлов И.В., Shatrov A.N., Ibraeva L.S. Методика определения органически связанного трития в биологических объектах // Химия и химические технологии. № 9 Радиохимия . 2015 г.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОФИЗИКЕ

Носова Е.М., Аверьянов Г.П., Будкин В.А., Дмитриева В.В.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

На кафедре Электрофизических установок (ЭФУ) НИЯУ МИФИ в результате многолетней работы по внедрению ИТ в учебную и научную деятельность была создана открытая модульная информационная научно-образовательная среда (УНС) «Электрофизика», которая может функционировать автономно, в компьютерных классах локальной сети кафедры ЭФУ, а также может быть доступна из компьютерных сетевых структур разных уровней, от учебных компьютерных классов университета и компьютерной сети кампуса, до корпоративной сети НИЯУ МИФИ и Internet. Средства дистанционного обучения представляют собой универсальные кроссплатформенные Web-приложения.

На сервере УНС «Электрофизика» размещаются обновляемые индивидуальные и групповые архивы, хранятся различные методические указания, индивидуальные задания, учебные пособия и научная литература. Защита учебных информационных ресурсов от случайных и преднамеренных факторов обеспечивается за счет разграничения доступа для студентов, преподавателей и научных сотрудников.

УНС «Электрофизика» построена на базе локальной компьютерной сети Вычислительной лаборатории кафедры ЭФУ НИЯУ МИФИ (Рис.1.), включающей компьютерный класс и сервер с сетевым коммутатором и шлюзом в Internet. В качестве рабочих ОС применяются Windows и GNU/Linux.

Web-сервер Apache, обеспечивает работу информационного сайта кафедры ЭФУ (www.accel.ru) и портала дистанционного обучения (edu.accel.ru). На информационном сайте (Рис.2.) размещены общедоступные учебно-методические материалы для самостоятельного выполнения лабораторных работ студентами. Портал дистанционного обучения создан на основе виртуальной обучающей системы Moodle.

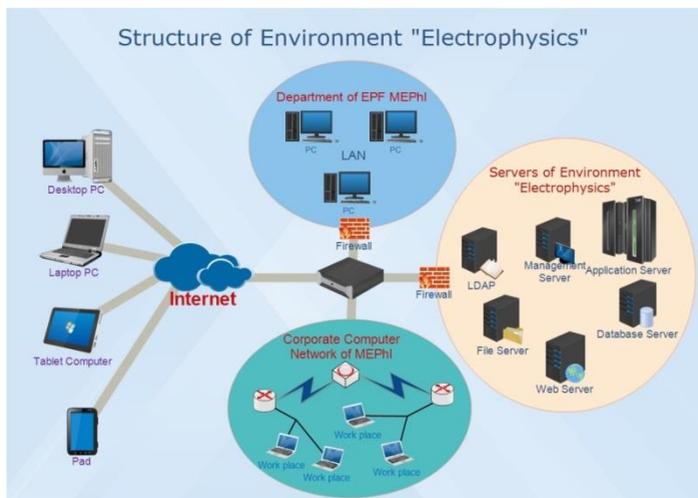


Рис. 1. Уровни доступа к УНС Электрофизика.

Дистанционное обучение служит великолепным дополнительным средством расширения возможностей самостоятельной работы студентов. Внедрение систем дистанционного обучения позволяет повысить управляемость и эффективность учебного процесса.

Ядром УНС «Электрофизика» является комплекс виртуальных лабораторий по каналам транспортировки частиц высоких энергий, электронным системам ускорителей, вакуумной и мощной импульсной технике (МИТ). Виртуальные лаборатории обеспечивают визуальную сборку схем исследуемых устройств, настройку параметров и визуализацию работы устройств в виде графиков.

Наиболее развитым с точки зрения соответствия программного симулятора реальному физическому процессу является комплекс виртуальных лабораторий МИТ. Разработанные математические модели успешно использовались в работе по созданию специализированного САПР для устройств формирования мощных электромагнитных импульсов в сильноточных ускорителях заряженных частиц, по заказу Всероссийского НИИ экспериментальной физики (г. Саров).

Пользовательский интерфейс виртуальных лабораторий МИТ (Рис. 2.) состоит из конструктора (сборщика схем), и имитатора цифрового осциллографа. Сборка схемы заключается в выборе

элементов схем и вводе параметров, а также задании точек наблюдения выходных импульсов. Графики импульсов выводятся на имитатор цифрового осциллографа, который позволяет регулировать время задержки и развертки наблюдаемого сигнала.

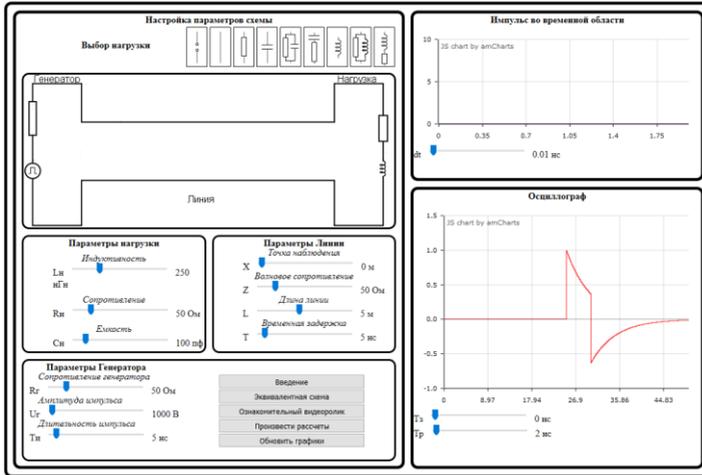


Рис. 4. Пользовательский интерфейс «Длинных линий».

Литература

1. Averyanov, G.P. Budkin, V.A. ; Dmitriyeva, V.V.; Korshunov, A.M. Virtual electrophysics laboratories. Beam Dynamics and Optimization (BDO), 2014 20th International Workshop on Page(s):1-2.

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОПОГЛОЩЕНИЯ ГАММА-КВАНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Осинов В.Ю., Потапова К.Г., Степанов В.Е.

*ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова», г. Якутск
8(914)278-35-32, vjacheslav-tbx@mail.ru*

На пути от источника до чувствительной области детектора гамма-кванты могут быть поглощены внутри самого источника, в материале измерительного контейнера и в оболочке детектора. Кроме того о количестве содержания радионуклидов можно судить только по количеству гамма-квантов зарегистрированных в пике полного поглощения в результате фотоэлектрического поглощения в веществе детектора [1]. Оценка вклада самопоглощения гамма-квантов на результаты гамма-спектрометрического анализа является актуальной проблемой в исследовании содержания радионуклидов в продуктах питания, строительных материалах и объектах окружающей среды.

Гамма-спектрометрический анализ исследуемых образцов произведен на полупроводниковом ППД гамма-спектрометре с коаксиальным ОЧГ детектором TransSPEC DX100 фирмы ORTEC. В качестве источника гамма-излучения использован объемный твердотельный источник Am-241 и Eu-152.

Исследования коэффициентов самопоглощения гамма-квантов в различных средах выполнены в образцах почвы, воды, опилок, песка, цеолита и мяса.. По результатам измерения коэффициента самопоглощения методом пропускания производилась аппроксимация «кривой» зависимости $K_{\text{сп}}$. Полученные данные позволяют получить коэффициенты поправки на самопоглощение для каждой интересующей энергии гамма-линии радионуклида.

Данные зависимости самопоглощения, в воде полученной методом пропускания коррелируются с данными рассчитанными по линейному коэффициенту ослабления, что подтверждает чистоту эксперимента (График 1).

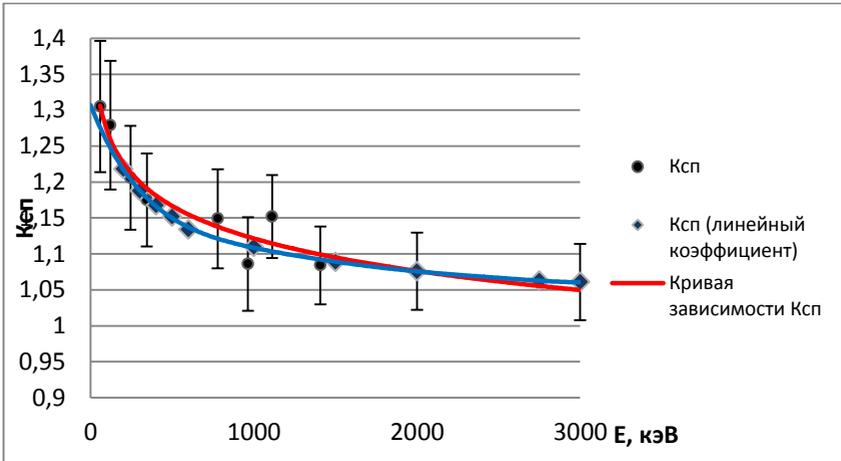


График 1. Зависимость самопоглощения гамма-квантов в воде

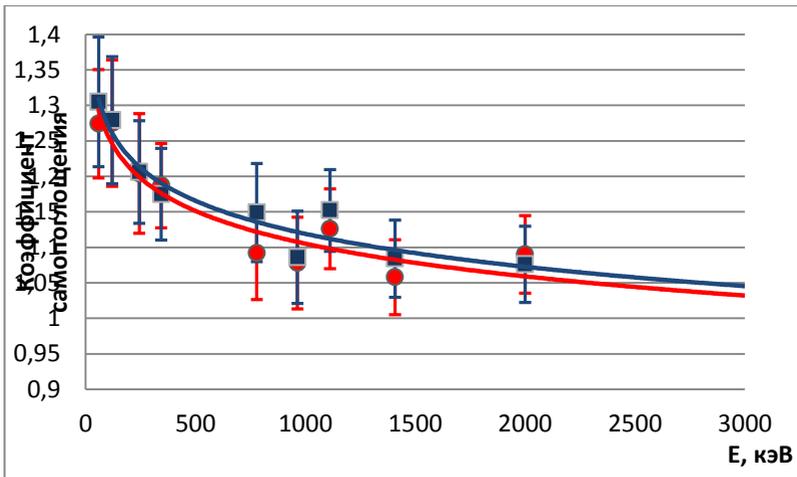


График 2. Сравнение зависимости самопоглощения в образцах мяса и воды

В графике 2 приведено сравнение данных полученных в образцах мяса и воды. Корреляция данных обуславливается высоким содержанием воды в мясе.

Результаты оценки вклада в пробах почвы и песка показали, что вклад поправки на самопоглощение играет существенную роль в оценке содержания радионуклидов с гамма-линиями с низкоэнер-

гетического диапазона. В образцах песка и почвы наибольший вклад в 14,2% и 25,9% соответственно, вносят $K_{\text{сп}}$ для Ra-226 с основной гамма-линией 186,21 кэВ.

Результаты исследования $K_{\text{сп}}$ могут быть применены для экспресс анализа проб окружающей среды без предварительной пробоподготовки. Для минимизации погрешности измерений следует использовать наиболее интенсивные гамма-линии с высокими энергиями. Также при выборе гамма-линии следует учитывать влияние гамма линий других радионуклидов с близкими энергиями. Гамма-линии в низком энергетическом диапазоне являются менее информативными из-за вклада характеристического рентгеновского излучения и комптоновского рассеяния. Например, методика учета самопоглощения позволяет измерить активность пробы мяса и овощей без предварительного озоления, что существенно снижает трудоемкость процесса измерения.

Литература

1. Бушуев А.В., Петрова Е.В., Кожин А.Ф. Практическая гамма-спектрометрия: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2006. – 124с.
2. Руководство пользователя портативного спектрометра со встроенным ОЧГ Trans-Spec-DX-100.

КСЕНОНОВЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ УСТАНОВКИ ПО СОРТИРОВКИ И СЕГРЕГАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Е.В. Петкович, В.В. Дмитренко

НИЯУ МИФИ, Москва
+7 915 408 72 46, *Petkovich10@mail.ru*

В настоящее время можно наблюдать за быстрым развитием атомной отрасли, за так называемым «Ядерным ренессансом». Развитие атомной отрасли было существенно приостановлено после Чернобыльской катастрофы. Сегодня снова запускаются новые ядерные энергоблоки и строятся новые атомные электростанции (АЭС). С каждым днем становится ясно, что дальнейшее развитие человечества невозможно без атомной энергетики.

С другой стороны, увеличение числа АЭС и их энергоблоков, а также вывод из эксплуатации старых, ведет к увеличению количества радиоактивных отходов (РАО), которые необходимо сортировать по своему составу и концентрации радионуклидов. Необходимо определять с высокой точностью состав и концентрацию отдельных радионуклидов в каждом образце РАО. Сортировка требуется для определения места их захоронения.

Сегодня недостаточно только определять уровень активности РАО. Необходимо определять с высокой точностью состав и концентрацию отдельных радионуклидов в том или ином образце РАО. Для решения этой задачи следует использовать гамма-спектрометры с хорошим энергетическим разрешением, с помощью которых можно эффективно сортировать [1], [2].

Следует отметить, что использование современных гамма-спектрометров в комплексах по контролю за радиоактивными отходами, принесет большой экономический эффект за счет разделения РАО с учетом их активности и изотопного состава. Как известно, стоимость захоронения РАО с большим периодом полураспада и большой активностью во многом отличаются от стоимости захоронения низкоактивных. Поэтому в настоящее время важно создать новые гамма-спектрометрические установки, которые обладают высокой чувствительностью, устойчивостью к внешним воздей-

ствиям, таким как вибро-акустическое воздействие, способность работать в полевых условиях, т.е. должны обладать необходимой герметичностью и защитой. Все выше перечисленные характеристики необходимы для того, чтобы производилась сортировка РАО в соответствие с их активностью и составом.

На сегодняшний день существует большое разнообразие детекторов для регистрации гамма-излучения. Они различны по режимам работы, способу производства, условиям работы, а также имеют разные энергетические разрешения. Для создания установки по сортировке и сегрегации радиоактивных отходов требуется детектор с оптимальным уровнем энергетического разрешения. К тому же, детектор должен быть устойчив к вибрациям, акустическим шумам, иметь подходящие габариты с учетом параметров конструкции для установки по сортировке. Немаловажным фактором для выбора детектора - является его стоимость. Стоимость складывается из видов материалов из которых сделан детектор, возможность создания необходимых условий, при которых данный детектор будет эффективно регистрировать излучение [3].

Наиболее перспективным рабочим веществом для создания гамма-детекторов на основе благородных газов является ксенон, имеющий, как известно, атомный вес 131 и заряд 54. С помощью ксеноновых гамма-детекторов можно получить энергетическое разрешение около 2% для гамма-квантов с энергии 1 МэВ. Ксеноновый гамма-детектор менее затратный в изготовлении, а также возможно создать детектор с различными размерами [6].

Достигнутые результаты:

- Был создан ксеноновый гамма-спектрометр (КГС) на основе тонкостенного четырех литрового ксенонового гамма-детектора;
- Разработана система передачи спектрометрической информации через интерфейс RS-485;
- Проведено тестирование КГС в лабораторных условиях с использованием гамма-источников из набора ОСГИ;
- КГС интегрирован в установку для сортировки и сегрегации РАО;
- Произведен пробный запуск и тестирование установки;

- Испытана возможность обнаружения и идентификации радионуклидов (с активностью от 4 кБк до 10 кБк) на различных расстояниях от КГС за (5-10) секунд;
- Протестирован КГС на выработку команд («bad» или «good»). Получен протокол с учетом превышения 3σ над фоном и минимальных значений активности от всех гамма-линий конкретного гамма-источника в Бк/г в соответствии с ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002.

Литература:

1. A.I. Sobolev, «Russia: experience of radioactive waste (RAW) management and contaminated site clean-up,» 2013.
2. P. Filss, «Relation between the activity of a high-density waste drum and its gamma count rate measured with an unshielded Ge-detector,» p. 805–12, 1995.
3. A.Napoleon, «The Real Costs of Cleaning Up Nuclear Waste: A Full Cost Accounting of Cleanup Options for the West Valley Nuclear Waste Site,» *Cambridge, MA: Synapse Energy Economics, Inc*, 2008.
4. С. Е. Улин, «Гамма-спектрометры на сжатом ксеноне (разработка, исследование характеристик и применение): Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук,» 1999.

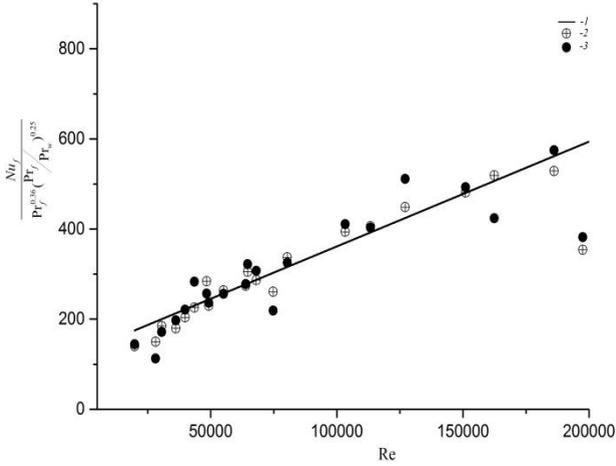
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ТЕПЛОТДАЧЕЙ В ПОПЕРЕЧНО ОБТЕКАЕМЫХ КОРИДОРНЫХ И ШАХМАТНЫХ ПУЧКАХ ТРУБ

Писаревский М.И., Федосеев В.Н., Корсун А.С., Балберкина Ю.Н.

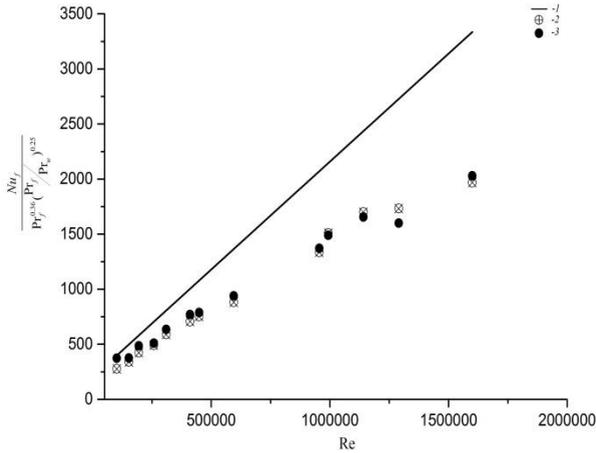
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
тел. +7(917)536-30-34, e-mail: Peace579@mail.ru*

Введение

Установление взаимосвязи между гидравлическим сопротивлением теплоотдачей для конкретных охлаждаемых поверхностей является актуальной задачей теплообмена и гидродинамики. Для гладких прямых каналов эта задача является практически решенной, а в случае каналов сложной формы с отрывными вихревыми течениями (поперечно обтекаемые пучки труб, шаровые засыпки, пористые материалы и т.д.), где потери давления на трение составляют незначительную часть от общих потерь давления на прокачку теплоносителя, этот вопрос требует серьезных исследований. В имеющихся в литературе публикациях предлагаются разные подходы к решению этой задачи [1-4]. В работе [1] предлагается и обосновывается универсальная взаимосвязь между гидравлическим сопротивлением и тепло- и массоотдачей в пористых средах, которая обобщает большой массив экспериментальных данных разных авторов по многим структурам с отклонением не более 30%. Однако эта зависимость не описывает теплоотдачу при поперечном обтекании коридорных пучков. В работе [4] авторам достаточно точно обобщены данные по теплоотдаче при поперечном обтекании шахматных и коридорных пучков с большим значением пористости ($Π \geq 30$). Плотные пучки ($Π < 30$) данные формулы не описывают.



а)



б)

Рис.1. Зависимость комплекса теплоотдачи от числа Re для коридорного пучка с высокой пористостью (а) и низкой пористостью (б): 1- расчет по рекомендациям [4], 2- расчет по формуле (1), 3- экспериментальные значения.

Положения модели.

Предложенная Б.С. Петуховым и др. формула для расчета теплоотдачи в трубах [2] приводится к виду:

$$St = \frac{\varphi^2}{1 + k\varphi(\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (1)$$

Как и в работах [2,3] делается предположение об универсальности уравнения (1) и его применимости к расчету средней теплоотдачи в каналах сложной формы с отрывными течениями. Основной задачей при этом является поиск взаимосвязи между динамической скоростью и средней скоростью потока теплоносителя в канале. Для любых каналов справедливо соотношение :

$$\varphi = \frac{v_*}{v} = c \left(\frac{\zeta}{2\text{Re} \Pi} \right)^{0.25}$$

В данной работе на основе обработки экспериментальных данных работы [4] показано что для поперечно обтекаемых шахматных и коридорных пучков с пористостью Π большей 0.3 коэффициент «с» не зависит от числа Рейнольдса, а является функцией геометрических параметров пучка. В плотных пучках труб при $\Pi = 0,14-0,3$ проявляется зависимость «с» от числа Рейнольдса. Расчет по формуле с использованием установленных зависимостей для «с» хорошо согласуется с экспериментальными данными [4] (рис.1).

Анализ экспериментальных данных

Полученные результаты говорят о возможности применения данного подхода к обобщению данных по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению в различных каналах сложной формы.

Литература

1. Л.С. Кокорев, В.Н. Федосеев, В.В. Харитонов, В.В. Воскобойников. Новый подход к расчету теплоотдачи в пористых средах. Москва, МИФИ. 1986г.
2. А.А Жукаускас. Конвективный перенос в теплообменниках. Издательство «Наука». 1982г.
3. Б.С Петухов, Л.Г. Генин, С.А.Ковалев. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Москва, Энергоатомиздат. 1986 г.
4. А.А Жукаускас, В. Макарявичус, А. Шланчяускас. Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости. Издательство «МИНТИС» Вильнус-1968.

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ 3D СТРУКТУР ЦИТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Поляков Е.В.¹, Никитаев В.Г.¹, Проничев А.Н.¹, Шабалова И.П.²,
Джангурова Т.В.², Зайцев С.М.

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

²ГОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного
образования», Москва

тел.: +7-903-005-68-98, e-mail: voterstreit@inbox.ru

Цитологическое исследование позволяет установить правильный морфологический диагноз до операции, при динамическом наблюдении, раннем выявлении рецидивов. Однако необходимо отметить, что субъективный фактор играет важную роль, также важен практический опыт врача-цитолога, его интуиция, способность собирать в единое целое различные морфологические признаки. Изучая препараты под микроскопом, цитолог анализирует параметры клеток, параметры структур, фон препарата на основании известных ему критериев диагностики: размер клеток ядер, наличия или отсутствия клеточного и ядерного полиморфизма и т.д. Такая оценка возможна при накоплении специалистом опыта работы и знаний, которые позволяют врачу не просто механически формировать заключение, а дают возможность сравнивать исследуемую цитограмму с теми цитологическими картинками («фотографиями изображений в памяти»), которые он запомнил в ходе предшествующей работы. Но даже у опытных специалистов возникают объективные сложности при редких или сложных в диагностическом отношении опухолях.

Для преодоления субъективных и объективных трудностей, с которыми приходится сталкиваться в процессе цитологического исследования, разрабатываются и с успехом внедряются в практику цитолога информационные технологии[1-2].

Использование сканирующей микроскопии решает многие диагностические задачи: ставит на новый уровень возможности телепатологии (консультаций с использованием сети интернет), вопросы архивирования препаратов, повышает качество проведения внутри

лабораторного и внешнего контроля качества, обучения и самообучения цитологов.

Сканирующие микроскопы позволяют автоматически ввести цифровое изображение цитологического препарата в компьютер. Препарат сканируется на разных увеличениях, автоматически сшиваются участки изображений, на экране монитора можно просмотреть весь препарат в привычном для обычной микроскопии виде, переходя в нужных участках на большее увеличение[3].

В настоящее время все большее количество лабораторий применяет препараты, приготовленные по методу «жидкостной цитологии». Данные препараты характеризуются многослойной структурой и сканирующие микроскопы, формирующие изображения цитологических препаратов традиционным методом, не всегда могут обеспечить информационную полноту получаемых изображений, т.к. объекты исследования находятся в разных оптических плоскостях. В этой связи актуальным является разработка системы сканирования препаратов приготовленных по методу «жидкостной цитологии» с учетом трехмерной структуры исследуемых объектов[2].

Целью данной работы является проведения исследования по подбору параметров для сканирования препаратов по методу жидкостной цитологии.

Для проведения исследования были использованы препараты, приготовленные по методу «жидкостной цитологии». В ходе исследования были выявлены объекты в разных оптических плоскостях. Для получения срезов изображения разработана исследовательская система, позволяющая подобрать режимы съемки препарата в трех координатных плоскостях и просматривать полученный результат. В результате получены параметры позволяющие, получить оптимальное количество слоев сканирования для просмотра всей структуры объекта

Дальнейшим направлением работы является создание алгоритмов съемки в каждой координатной плоскости, программы позволяющей просматривать результаты послойно для имитации работы на микроскопе.

Список литературы

1. Никитаев В., Проничев А., Комаров В., Белопольский В. Формирование панорамных изображений: применение в телемедицинских комплексах онкологической диагностики // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2009. № 5. С. 96-99.
2. Djangirova T. V. et al. The virtual cytologic slides for external evaluation of quality of implementation of cytologic analyses in clinical diagnostic laboratories: possibilities and perspectives //Klinicheskaia laboratornaia diagnostika. – 2015. – Т. 60. – №. 8. – С. 29-32.
3. Zhang Y. et al. Automatic microscopy image stitching based on geometry features //Image and Signal Processing (CISP), 2013 6th International Congress on. – IEEE, 2013. – Т. 2. – С. 927-931.

ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ КОНТАКТА СПЛАВОВ Pb-Mg-Zr И СТАЛИ ЭП-823 В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 300 – 900 °С

***Стручалин П.Г.¹, Круглов А.Б.¹, Круглов В.Б.¹, Харитонов В.С.¹
Орлова Е.А.², Загребяев С.А.², Жмурин В.Г.²***

¹*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва*

²*АО «ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт имени
А.И.Лейпунского», Обнинск
+7 (926) 490-40-28, pstruchalin@mail.ru*

В современных проектах перспективных ядерных энергетических установках на быстрых нейтронах планируется использование нитридного топлива, существенными достоинствами которого являются высокая ураноемкость и теплопроводность. Предельная мощность твэлов с нитридным топливом ограничивается температурой приблизительно в 1200 °С [1], выше которой возможно сильное газовое распухание топлива. Снижение максимальной температуры топлива до 1000 °С при сохранении высокого энерговыделения требует использования теплопроводящего жидкометаллического подслоя между топливом и оболочкой.

При исследовании твэла с нитридным топливом и свинцовым подслоем под облучением в РУ БОР-60 [2] обнаружена проблема совместимости расплава свинца с оболочкой твэла из стали ЭП823-Ш (16X12ВМСФБР). Коррозионное взаимодействие расплава с поверхностью отсутствует, если в качестве теплопроводящего подслоя используется свинец, легированный магнием и цирконием. В этом случае на поверхности стали формируется защитное покрытие из карбонитрида циркония и обеспечивается самозалечивание его случайных повреждений.

Анализ температурных режимов твэлов с нитридным топливом, требует прецизионных данных по теплопроводности сплавов свинца с магнием и цирконием и данных по контактному сопротивлению между расплавом и поверхностью стали. К настоящему времени такие данные отсутствуют. Экспериментальному исследованию теплопроводности сплавов свинца с магнием и цирконием посвя-

щена настоящая работа. Сплавы для исследования были подготовлены на экспериментальном участке АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» в атмосфере аргона (сплав Pb-2,3 % Mg) и азота (сплавы Pb-1,4 % Mg; Pb-2,3 % Mg-Zr).

Измерения теплопроводности и термического сопротивления осуществлялись с помощью установки *LFA-457 Microflash*. Применялась разработанная ранее методика [3], которая была адаптирована к текущим измерениям.

В ходе выполнения работы проведено исследование теплопроводности сплавов Pb-2,3% Mg, Pb-2,3% Mg-Zr, Pb-1,4% Mg в диапазоне температур 300 – 900 °С, изучены процессы изменения контактного термического сопротивления между расплавом и сталью в зависимости от температуры и времени.

Литература

1. Самойлов А.Г. и др. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1996 – 400 с.
2. Беляева А.В., Крюков Ф.Н., Никитин О.Н. и др. Основные результаты исследования уран-плутониевого нитридного плотного топлива после облучения в реакторе БОР-60. /Сб. докл. Междун. научн.-техн. конф. «Инновационные продукты и технологии ядерной энергетики», 27-29 ноября 2012 г. – М.: НИКИЭТ, 2012. – С. 223-228.
3. Круглов А.Б., Круглов В.Б., Рачков В.И., Стручалин П.Г., Харитонов В.С., Асхадуллин Р.Ш., Мартынов П.Н. Методика измерения теплопроводности жидкого свинца в диапазоне температур 350 – 1000 °С. Теплофизика высоких температур, 2015, том 53, № 4, с. 596-600.

НЕОБРАТИМОСТЬ РАДИОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ НЕЙТРОНОВ

Тебелев Л.Д., Ефимов Е.И.

ДИТИ НИЯУ МИФИ, Димитровград
+79297951637, noob.ko.desu@gmail.ru

Первые проекты атомных станций теплоснабжения в России были разработаны ещё в 70-е годы XX века. К их числу относится установка АРБУС с органическим теплоносителем -замедлителем, которая эксплуатировалась в НИИАР (г. Димитровград) сначала как АЭС (с 1963 по 1979 г), затем как атомная станция теплоснабжения (АСТ до 1988 г). Установка – двухконтурная. В качестве замедлителя нейтронов и теплоносителя в первом контуре реактора АЭС АРБУС использовался газойль, в АСТ – дитолилметан (ДТМ) отечественного производства [1]. Среднее удельное выделение энергии для АСТ при мощности 12 МВт составило 22,2 кВт/л.

Эксплуатация АЭС и АСТ позволила сделать вывод, что по сравнению с водой органический теплоноситель-замедлитель имеет такие преимущества как низкая упругость паров, слабая коррозионная активность и практически полное отсутствие активации. Длительность кампании АСТ определял процесс радиационно-термического разложения дитолилметана, сопровождающийся *фаулингом* – образованием твёрдых отложений на твэлах. Фаулинг подвержены все без исключения органические теплоносители ядерных реакторов. Поэтому для обеспечения бесфаулинговых режимов работы реактора АСТ предполагались дальнейшие испытания новых твэлов и исследования по технологии теплоносителя [1].

Поскольку в публикациях мы не нашли ответа на вопрос, почему эти исследования были прекращены, то решили проанализировать соответствующие препринты НИИАР [2-4], чтобы понять, как реакторное облучение влияет на ДТМ.

В препринтах [2, 3] описаны результаты идентификации продуктов термордиолиза ДТМ методами газовой хроматографии, масс-спектрологии, ИК-спектрологии и жидкостной адсорбционной хроматографии высокого давления. В диапазоне массовых чисел 2-800 обнаружены *газообразные; низкокипящие и высококи-*

пящие вещества [2]. Высококипящие компоненты содержат от трёх до восьми бензольных колец. Установлено [3], что кубовый остаток после вакуумной дистилляции – это сложная смесь ароматических углеводов, карбонил- и гидроксилсодержащих органических веществ.

Отложения, главным образом, на твэлах в активной зоне реактора АСТ-1 – твердые частицы темно-коричневого цвета. В ИК спектре отложений [3] наряду с полосами поглощения полиядерных ароматических углеводов также наблюдаются полосы ОН групп ($3200-3500\text{ см}^{-1}$), полосы валентных колебаний карбонильной группы $\text{C}=\text{O}$ (1710 см^{-1}), и полосы валентных колебаний одинарной связи $\text{C}-\text{O}$ и деформационных колебаний ОН групп ($1350 - 1150\text{ см}^{-1}$). Следовательно, в состав отложений входят такие же кислородсодержащие группы, какие обнаружены и в продуктах окисления ДТМ [4], и в кубовом остатке [5] после вакуумной дистилляции реакторного теплоносителя АСТ-1.

Сходство ИК спектра угля со спектром реакторных отложений [4] даёт основание полагать, что кислородсодержащие соединения в отложениях и осаждениях высококипящих соединений поликонденсации не столько продукты внутри реакторного окисления, сколько результат взаимодействия с кислородом воздуха радикалов, образованных под действием реакторного облучения. Как следует из работ [2 – 5], при отборе проб изоляция их от воздуха не предусматривалась.

Малый срок работы АСТ до перезагрузки (не более 6 месяцев) был обусловлен тем, что радиолит ДТМ приводит к необратимому процессу его коксования, а окисление – сопутствующий, но не определяющий фактор. Любые предложения по усовершенствованию технологии органического теплоносителя и конструкции ядерного реактора (ЯР) должны учитывать необратимость коксования органического замедлителя. В будущих проектах ЯР с органическим теплоносителем необходимо предусмотреть альтернативный замедлитель: графит или тяжёлую воду.

Литература

1. В.А. Цыканов, Ю.В. Четкин, Ю.П. Кормушкин и др. «Опытная атомная станция теплоснабжения на базе реактора АР-БУС». Атомная энергия, т. 50, вып. 6, с. 376-381 (1981).

2. Л.Н. Рождественская, Л.Г. Тебелев, О.С. Бендерская и др. «Идентификация продуктов термордиолиза дитолилметанового теплоносителя». Препринт НИИАР–26(591). - Димитровград, 1983, 20 с.

3. В.Е. Неваева, Е.В. Поварова, Е.И. Соколов, Л.Г. Тебелев. «Применение жидкостной хроматографии и молекулярной спектроскопии для идентификации компонентов высококипящей фракции дитолилметанового теплоносителя». Препринт НИИАР–12(723). М. ЦНИИАтоминформ, 1987. - 23 с.

4. Л.Г. Тебелев, Е.И. Соколов, В.Е. Неваева и др., «Идентификация кислородсодержащих групп в продуктах окисления дитолилметана». Препринт НИИАР–33(679). М. ЦНИИАтоминформ, 1985. - 23 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В НЕЙТРИННОМ ДВУХФАЗНОМ КСЕНОНОВОМ ДЕТЕКТОРЕ

Тоболкин А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
межкафедральная лаборатория экспериментальной ядерной физики,
Москва, Россия*

Конт. тел.: 84957885699 доб.9116; e-mail: ant86.86@mail.ru

Благодаря гранту правительства РФ по постановлению №220, в НИЯУ МИФИ в 2011-2015 гг. создана современная лаборатория экспериментальной ядерной физики (ЛЭЯФ) [1], которая специализируется на разработке и создании новых детекторов ядерных излучений. В лаборатории построен и испытывается уникальный нейтринный двухфазный детектор РЭД-100 (Российский Эмиссионный Детектор), использующий 240 кг жидкого ксенона в качестве рабочего вещества, из которых доверительными являются 100 кг.

Детектор обладает уникальной возможностью регистрации ядер отдачи ксенона, возникающих в процессе упругого когерентного рассеяния нейтрино (УКРН) при экспозиции детектора практически на поверхности Земли, и основанной на эмиссионном принципе регистрации частиц в двухфазных средах.

Детектор РЭД-100 может также использоваться для исследования неупругих взаимодействий нейтрино с тяжелыми ядрами, для наблюдения $(\bar{\nu}_e e)$ -рассеяния с малыми энерговыделениями [2], для поиска позитронного безнейтринного бета-распада [3], для исследования процесса УКРН на ядерных реакторах, являющихся интенсивными источниками нейтрино одного типа $\bar{\nu}_e$ [4].

Частица нейтрино, провзаимодействовавшая в детекторе, производит возбуждение атомов рабочей среды (жидкого ксенона) и их ионизацию. Снятие возбуждения атомов происходит через высвечивание ультрафиолетовых фотонов сцинтилляции (S1) (Рис. 1). Под действием электрического поля ионизационные электроны движутся к границе жидкого ксенона. Преодолевая потенциальный

барьер на поверхности жидкости, они затем вытягиваются в газовую фазу. Здесь напряжённость электрического поля подобрана такой, чтобы электроны ускорялись и производили возбуждение атомов газа, но не вызывали ударной ионизации. При снятии возбуждения атомов так же, как и при сцинтилляции, образуются ультрафиолетовые фотоны – этот эффект называется электролюминесценцией (S2).

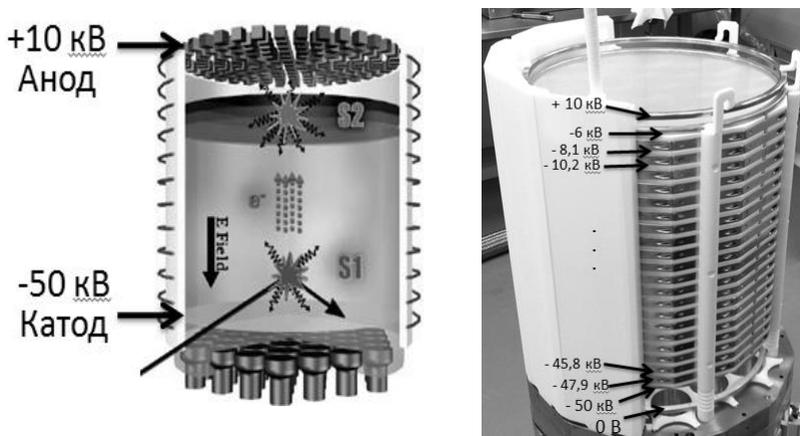


Рис. 1. Электродная система РЭД-100.

В данной работе содержится описание компьютерного моделирования электрических полей в таком детекторе. Однородность электрического поля во внутренней области детектора имеет большое влияние на точность регистрации событий в детекторе. Электрическое поле в этой области должно быть из вертикальных силовых линий параллельных поверхности из цилиндрических тефлоновых отражателей, которые устанавливают внешние границы этого региона. Задачами моделирования были: 1) Определение модуля и направления вектора напряжённости электрического поля в каждой внутренней точке детектора для избежания пробоев. 2) Определение областей (на краях) где электрическое поле неоднородно т.к. это приводит к ошибкам в определении координат событий и энерговыведения. 3) Выявление других непредвиденных проблем.

Литература

1. <http://enpl.mephi.ru/> (Межкафедральная лаборатория экспериментальной ядерной физики)
2. M. Baldo-Ceolin et al. Large volume liquid Xe detector for anti-electron-neutrino magnetic moment measurement from anti-electron-neutrino e- scattering at nuclear power reactor. In Proceedings of Dubna 1992, Weak and electromagnetic interactions in nuclei, pp. 753-759 (1992).
3. Bolozdynya A., Egorov V., Koutchenokov A., Safronov G., Smirnov G., Medved S. and Morgunov V. An electroluminescence emission detector to search for double beta positron decays of ^{134}Xe and ^{78}Kr , *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 1997, v.44, pp. 1046-1051.
4. D.Yu.Akimov et al. (RED collaboration). Search for elastic neutrino scattering off atomic nuclei at the Kalinin Nuclear Power Plant. *Physics Procedia* 74 (2015) 423 – 430

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСИОННОГО ТОПЛИВА ОТ ОТНОШЕНИЯ МАТРИЦА/ТОПЛИВО

Чуйкина А.В.

*Томский политехнический университет
тел: 8-952-805-1429, e-mail: flipped2010@mail.ru*

В настоящее время в энергетических ядерных реакторах используется керамическое топливо в виде диоксида урана [1]. Из-за низкой теплопроводности температура в центре топливной таблетки достигает 1500 °С, при температуре на поверхности таблетки 400 °С [2]. До теплоносителя доходит почти в три раза меньше тепла. Все остальное теряется еще на первом этапе.

Решение этой проблемы – использование дисперсионного топлива. У такого топлива более высокая теплопроводность, что позволяет не только увеличить количество отдаваемого теплоносителю тепла, но и снизить термическое напряжение топлива, а значит повысить безопасность использования ядерных реакторов. В зависимости от используемых материалов матрицы и топлива, теплопроводность дисперсионного топлива может быть выше теплопроводность диоксида урана в несколько десятков раз.

Дисперсионное топливо, несмотря на его безопасность и перспективность не используется на данный момент ни на одном из энергетических реакторов по причине сложности изготовления и дороговизны. Если улучшить способ производства и цену такого топлива, это топливо может успешно заменить существующее.

Дисперсионное топливо состоит из материалов топлива и матрицы [3]. В качестве материалов матрицы были рассмотрены: тугоплавкие металлы (молибден, вольфрам, тантал и ниобий), металлы, которые используются в ядерной технике (алюминий, железо, никель), перспективные интерметаллические соединения (алюминиды никеля, железа, циркония и титана) и графит [4,5]. В качестве топлива рассматривается диоксид урана.

Так как часть делящегося материала заменяется неделящейся матрицей, может уменьшиться коэффициент размножения и, как следствие, мощность и кампания реактора. Поэтому необходимо

рассчитать оптимальное соотношение топлива и матрицы для того, чтобы при переходе на дисперсионное топливо не пострадали нейтронно-физические характеристики. Для расчета оптимального соотношения матрица-топливо была создана математическая модель ТВС и тепловая модель твэла реактора ВВЭР-1000. В качестве топлива было выбрано перспективное топливо с диоксидом урана и алюминидом никеля в качестве матрицы.

Зависимость отношения матрица-топливо и коэффициента размножения представлена в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость коэффициента размножения от отношения топливо/матрица и обогащения для глубины выгорания 32 (МВт·сут)/тU

Доля топлива	Обогащение, %						
	4,4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,63622	0,69152	0,76042	0,82629	0,89216	0,95803	1,0057
0,6	0,74706	0,81152	0,88042	0,85629	0,92216	0,98803	—
0,7	0,86706	0,93152	0,98963	1,05076	1,09076	1,12076	—
0,8	0,93904	1,05152	1,06485	—	—	—	—
0,9	1,00398	—	—	—	—	—	—

По результатам расчетов, оптимальное соотношение матрица-топливо при сохранении обогащения, используемого в реакторах ВВЭР – 90 % топлива и 10 % матрицы. При таком соотношении коэффициент размножения превышает 1 и равен 1,00398. При таком соотношении коэффициент теплопроводности ниже, чем при соотношении 50/50. Поэтому необходимо рассмотреть возможность повышения обогащения топлива. Уже при 10 % обогащении коэффициент размножения превышает 1 и равен 1,0057.

Переход от керамического ядерного топлива к дисперсионному в реакторе типа ВВЭР сказывается положительно. Это улучшает не только теплофизические свойства ядерного топлива, такие как коэффициент теплопроводности и градиент температур, но и нейтронно-физические свойства реактора, в частности, жесткость спектра нейтронов и плотность потока тепловых нейтронов. Уменьшение термических напряжений позволяет увеличить кампанию топлива.

Литература

1. Бушуев, В.В. Энергетика России (избранные статьи, доклады, презентации): в 3-х т./ В.В. Бушуев — М.: ИЦ "Энергия", 2014. — 415 с. — т. 3
2. Кириллов П. Л., Терентьева М. И., Денискина Н. Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Учебно-справочное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИздАт, 2007. — 200 с.
3. Самойлов А. Г., Волков В. С. Дисперсионные твэлы: в 2т. — М.: Атомиздат, 1982 г. — 448 с.
4. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 6 т. Том 6. Часть 1. Конструкционные материалы ядерной техники / Под общей ред. Б.А. Калина. — М.: МИФИ, 2008. — 672 с.
5. Miracle D.B., Darolia R. NiAl and its Alloys // Intermetallic Compounds. — 1995. — Vol. 2. — P. 55-74.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Шеметов А.Н.

ООО «РИОТЕХ», г. Москва
(499) 198-84-74, 79152010045@yandex.ru

Основным недостатком современной атомной энергетики является высокая радиоактивность отработанного ядерного топлива. Кардинальным решением проблемы мог бы стать такой режим проведения реакции ядерного деления, при котором не возникали бы экологически опасные отходы. Речь идёт о полученных теоретических и экспериментальных свидетельствах многомодальности этого процесса. Некоторые из делительных мод обладают тем замечательным свойством, что осколки, на которые делится ядро в этой моде, отличаются экологической чистотой – они быстро превращаются в стабильные ядра, то есть имеют малый период полураспада. Ключевым является вопрос – как организовать заселение только таких, экологически чистых мод деления.

Современное представление о делительной моде связано с выявлением в рельефе поверхности потенциальной энергии деформирующегося в процессе деления ядра потенциальных долин, разделённых хребтами. Метод визуализации различных путей деления (делительных мод) основан на анализе двумерных распределений осколков деления, получаемых в эксперименте [1]. Анализ экспериментальных данных ведётся на базе расчётов энергии делящегося ядра методом Струтинского в 20-мерном пространстве деформаций и кластерно-молекулярного подхода, дополняющих друг друга [2]. Метод даёт уникальную возможность проследить эволюцию делящегося ядра по мере его спуска по конкретной потенциальной долине.

Получение ядерной энергии на базе экологически чистых делительных мод с очевидностью влечёт серьёзные экономические и социальные последствия. Управление процессом деления в смысле преимущественного заселения только представляющих специальный интерес мод (например, имеющих в качестве продуктов распада элементы платиновой группы) не менее перспективно.

Литература

1. A.N. Shemetov et al., Fine Structure in Fission Fragment Mass-energy Distributions for Thermal Neutron Fission of Actinides, Proc. Int. Conf. on Nuclear Research, pp. 47-50, Bratislava (1992).
2. V.V. Pashkevich et al., Manifestation of Fine Structures in the Fission Fragment Mass- energy Distribution of the Thermal Neutron Fission of the U-233 Reaction, Nucl. Instr. And Meth., A 488 (2002) 381-399.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абин Д.А. 145
Аверин А.С. 89
Аверьянов Г.П. 337
Агафонов В.В. 148
Акимов Д.Ю. 296
Акулиничев С.В. 321
Алеев А.А. 229

Алоджанц А.П. 264
Анищенко И.В. 151
Антонова М.М. 270
Антоновская В.В. 20
Артеменков Д.А. 283
Атуев Ш.М. 23, 56
Ахоян Л.А. 153

Б

Бакиштова Г.Н. 26
Балберкина Ю.Н. 346
Башарин А.А. 179, 259
Баясхаланов М. В. 273
Беденко С.В. 276, 293
Безотосный П.И. 157
Березин М.Ю. 244
Березнер А.Д. 29
Беспалова П.Г. 32
Богданов Ф.А. 303

Боговалов С.В. 290
Болдырев К.Н. 160
Борисов С.А. 170
Бородай А.Ю. 276
Босак А.А. 170
Бразовский С.А. 206
Брынза Н.П. 163
Будкин В.А. 337
Бурцева Е.К. 166

В

Ванина П.Ю. 170
Варсеев Е.В. 34
Васильев В.Е. 173
Васильев М.С. 102
Вебер А.Е. 126
Винников В.С. 36

Власенко В.А. 176
Власов М.Н. 273
Вольский Н.А. 179
Воронин А.И. 41
Воронов С.А. 110

Г

Гавриков А.А. 181
Гаврилкин С.Ю. 157, 176
Геворкян В.А. 153
Гейко Р.В. 105
Гладышев П.П. 153
Голубев В.Г. 257

Голубева К.В. 279
Гонгальский М.Б. 232
Гонцова С.С. 107
Гончар К.А. 195, 224
Горячева В.С. 110

Д

Даубарайте Д.К. 39
Девтерова Ю.М. 173
Делов М.И. 50, 297
Демихов Е.И. 262
Демчегло В.Д. 41

Джангирова Т.В. 349
Дмитренко В.В. 343
Дмитриева В.В. 337
Доан Т.Н.В. 113, 184
Доброхотов П.Л. 86

Егоров В.И. 44
Егоров О. 264
Егорова С.Е. 326

Жарков С.Н. 47
Жилов Д.М. 50

Завацкий О.В. 241
Заводов С.П. 189
Загребаяев С.А. 352
Зайцев А.А. 283
Зайцев С.М. 349

Иваненко О.М. 157
Иванов А.В. 285
Иванов Ю.Ф. 241
Иванова О.В. 241
Игнатъева Г.А. 334

Калашиников Н.П. 122
Калитка В.С. 262
Каменский Д. 160
Канищева О.И. 197
Капустин П.Е. 200, 203
Карпенков Д.Ю. 254
Карпов П.И. 206
Кашурников В.А. 187
Кириллов С.Е. 229
Кирилловых К.Д. 288
Кирпичев А.А. 189
Кирсанов М.А. 318
Кислов В.А. 290
Кньшев В.В. 293
Кобранова А.А. 116
Коваль А.А. 209
Кожокаръ М.В. 212
Козлов А.П. 53
Козлов И.В. 215
Козлов М.Д. 56
Козлова Е.С. 296
Комиссарова И.А. 241

Е

Еланцев Д.А. 113
Ефимов Е.И. 285, 354

Ж

Жмурин В.Г. 352
Жумагулов Я.В. 187

З

Замковская А.И. 192
Зарубин П.И. 283
Зубаирова А.А. 195
Зубова Н.Г. 63

И

Измайлов А.О. 270
Иннокентьева Н.Н. 238
Исаенкова М.Г. 86
Исакулов А.Б. 224

К

Коновалов М.А. 34
Коновалов С.В. 241
Кормазева Е.С. 218
Корсун А.С. 273, 346
Корякина А.Ю. 334
Косинов Д.А. 241
Костров Е.А. 262
Красавин А.В. 187
Круглов А.Б. 352
Круглов В.Б. 352
Крышилина Д.В. 83
Крюков И.С. 312
Куденко Ю.Г. 309
Кузичкин К.Л. 59
Кузнецов С. 251
Кузнецова Е.В. 222
Кузнецова М.Е. 293
Кузьменков Д.М. 297
Кузьмин В.С. 61, 81
Куликов Н.Д. 173
Куралбаева Г.А. 224
Курдюков Д.А. 257

Кондакова А.В. 224
 Кондратьева А.С. 32
 Конов В.И. 257

Лаврухин А.А. 50, 297
 Лагойда И.А. 300
 Ларин Д.А. 120
 Латуга А.А. 226
 Лахонин А.А. 303
 Легкоступова В.В. 306
 Ли Э.В. 39
 Ликий О.И. 118

Ма Х. 264
 Майоров А.Г. 131
 Макаров Е.И. 26
 Макин Р.С. 139
 Максимкин А.И. 312
 Максимова Е.М. 107, 192
 Малкина К.А. 63
 Мананков А.А. 232
 Мангасарян Н.Р. 153
 Маркелов А.В. 262
 Мартьянов А.К. 251
 Масенко С.А. 315
 Масленкина А.Ю. 318
 Матвеев М.В. 66
 Матросова М.Ю. 69
 Матющенко И.А. 235

Набережнов А.А. 170
 Нагараджа К.К. 148
 Наумова К.А. 326, 329, 332, 334
 Наухацкий И.А. 107
 Несветайло Т.В. 75
 Неустроев В.С. 26
 Неустроев Е.П. 166, 238

Орищенко А.В. 102
 Орлова Е.А. 352
 Орлова О.М. 288
 Осинцев К.А. 241

Кутовой В.Ю. 118
 Куценко К.В. 50, 297

Л

Литвиненко О.В. 69
 Лихачева В.Л. 309
 Логинова С.В. 226
 Лукьянчук А.А. 229, 267
 Луцик И.О. 61, 81
 Лянге М.В. 254
 Ляшенко М.С. 173

М

Маякова М. 251
 Меринов И. Г. 273
 Милокова Е.Т. 107
 Минаков А.А. 72
 Минеев Н.А. 145, 151
 Митягин Ю.А. 113, 148, 184
 Михайлов В.В. 110
 Михайлова Т.С. 321
 Мицен К.В. 157
 Мовчан Ю.С. 323
 Могутов И.В. 47
 Моисеенко В.Н. 163
 Молодык А.А. 262
 Молчанова А.Д. 160
 Мохначевская М.М. 329
 Мулярчик Е.И. 122

Н

Нечайкина Т.А. 39
 Нигматулов Г.А. 120
 Никитаев В.Г. 288, 349
 Никитин А.А. 267
 Ноговицына М.В. 238
 Носков А.И. 222
 Носова Е.М. 337

О

Осипов В.Ю. 340
 Осипов М.А. 145
 Осминкина Л.А. 209
 Островский С.С. 173

Павлова Т.В. 197
 Пачин М.М. 78
 Переверзев В.Г. 251
 Перлович Ю.А. 86
 Петкович Е.В. 343
 Писарев Р.В. 160
 Писаревский М.И. 346
 Плохих А.И. 72

Разницын О.А. 229
 Ральченко В.Г. 251, 257
 Рафаилова Н.А. 326
 Ретина И.Н. 173
 Реснина Н.Н. 254
 Рзаев Р.А. 20, 23, 56

Сафин А.Р. 248
 Светухин В.В. 200, 203
 Седов В.С. 251
 Селиваникова О.В. 66
 Середина М.А. 254
 Синев В.В. 128
 Смирнов В.И. 181

Смирнов М.В. 226
 Соболев В.К. 276
 Совык Д.Н. 257
 Соколов М.Е. 173

Табачкова Н.Ю. 41
 Таракаенко П.В. 276
 Тебелев Л.Д. 285, 354
 Теленков М.П. 113, 148, 184
 Тересов А.Д. 241
 Терехов В.М. 36, 53
 Тимошенко В.Ю. 232
 Тихончев М.Ю. 200, 203

Федосеев В.Н. 346
 Федюк Р.С. 96
 Фёдоров В.А. 29

П

Плужникова Т.Н. 29
 Поляков Е.В. 288, 349
 Покровский С.В. 145, 151
 Попов Ю.С. 279
 Попова А.А. 126
 Посохов Д.В. 61, 81
 Потапова К.Г. 340
 Проничев А.Н. 288, 349

Р

Рован Е.Д. 128
 Рогожкин С.В. 229, 267
 Роденко С.А. 131
 Рожков Д.А. 244
 Руднев И.А. 145
 Русяев Н.Н. 99

С

Соколов С.А. 312
 Соловьев В.Ю. 218
 Соломатенко А.В. 133
 Соломатенко В.Н. 133
 Сошкина Е.А. 83
 Стенищев И.В. 259
 Степаниденко Е.А. 173
 Степанов В.Е. 326, 329, 332, 334, 340
 Столбов С.Д. 86
 Стручалин П.Г. 352

Т

Тоболкин А.А. 357
 Толстов И.В. 89
 Тронин И.В. 290
 Трубилин В.Н. 288
 Трушин А.В. 300
 Тутнов И.А. 312
 Тысячных Ю.В. 262

Ф

Филатова З.Д. 329
 Филонов В.В. 136
 Фроня М.А. 94

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Харитонов В.С. 352
Ховайло В.В. 254
Хомич А.А. 257

Цветков А.Ю. 157

Чарухчян М.В. 264
Чаушанский С.А. 321
Чепурнов В.И. 189

Шабалова И.П. 349
Шаманин И.В. 293
Шарапова Т.В. 139
Шеляков А.В. 244

Щербина Н.А. 83

Яббаров Д.Р. 99
Яковлев И.А. 321

Х

Хомяков В.А. 142
Хохлов С.С. 142
Храмов Д.А. 96

Ц

Ч

Черепанов Д.Н. 66
Честнов И.Ю. 264
Чуйкина А.В. 360

Ш

Шеметов А.Н. 363
Шорин А.М. 181
Шульженко И.А. 118
Шутов А.С. 229, 267

Щ

Я

Яковлева Е.И. 142

Подписано в печать 21.04.2016
Формат 60×84 1/16 Заказ № 57 Тираж 50 экз. Печ. л. 23,5

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