

Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Научно-исследовательское издание.

Выпуск 20, 2015

Раздел 1. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

УДК 533.95: 537.84, 537.811

Расчеты физических эффектов опыта «Морская звезда» с использованием многопоточного МГД-приближения

В. А. Жмайло, А. Н. Залялов, Н. В. Иванов, А. А. Пушкарев, И. В. Соболев, А. Е. Широков

Описаны расчеты параметров области ядерного взрыва операции «Морская звезда», проведенного США в 1962 г. Приведено сравнение их результатов с опубликованными данными измерений, полученными в этом эксперименте.

Ключевые слова: «Морская звезда», ядерный взрыв, магнитная каверна, β -электроны.

УДК 538.915; 669.824

Альфа-распад плутония, фазовые превращения, радиогенный гелий и набухание плутония

Б. А. Надыкто

Рассмотрены вопросы образования дефектов в плутонии при α -распаде, нанопузырьков гелия и их эволюция при увеличении температуры. Реальное набухание плутония наблюдается при температуре, близкой к температуре плавления. Отмечается возможное влияние на радиационные повреждения в сплаве Pu-Ga фазового превращения при сжатии под действием атома отдачи. Указано на возможность образования пор нанометрового радиуса непосредственно при действии атома отдачи единичного акта α -распада.

Ключевые слова: сплав Pu-Ga, α -распад, радиационный гелий, атом отдачи, набухание плутония.

Раздел 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.6

Феноменологическая модель кинетики развития поврежденности в твердых материалах при импульсных воздействиях

С. С. Соколов

Представлена феноменологическая модель кинетики зарождения, развития и уменьшения поврежденности в твердых материалах под действием импульсных нагрузок и компактирования разрушенных материалов под действием сил сжатия. При построении модели применялся континуально-кинетический подход, в рамках которого разрушение моделируется как процесс накопления повреждений под действием растягивающих напряжений и из-за сдвиговых деформаций. Приведены результаты численного моделирования разрушения клиновидных урановых образцов и плоского алюминиевого образца и дано их сравнение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: феноменологическая модель, зарождение и развитие поврежденности, разрушение из-за сдвиговых деформаций и растягивающих напряжений, компактирование, валидационные расчеты.

УДК 621.375.826

Численное исследование энергетических характеристик сверхзвукового химического кислород-йодного лазера с различными вариантами смещения потоков

Ю. Н. Дерюгин, Б. А. Выскубенко, Д. К. Зеленский, С. П. Ильин, Ю. В. Колобянин, Е. А. Кудряшов

Приведены результаты численного исследования энергетических характеристик сверхзвукового химического кислород-йодного лазера с сопловыми устройствами различного типа. Для каждого типа соплового устройства определены оптимальные условия, при которых реализуются максимальные энергетические характеристики лазера.

Ключевые слова: химический кислород-йодный лазер, математическая модель, расчетная методика, характеристики генерации излучения, химическая эффективность.

УДК 517.9+519.6+533.7+536.7

Влияние вязкости и дисперсии на параметры ударных волн разрежения для невыпуклого уравнения состояния общего вида

Ю. А. Бондаренко, В. Н. Софронов, Ю. Е. Дудник

Получены условия допустимости ударных волн разрежения в случае уравнения состояния общего вида с невыпуклой изэнтропией, когда главным процессом, размазывающим скачок, является нормальная дисперсия, а вязкость отсутствует. Они отличаются от условия допустимости ударных волн разрежения при определяющей роли вязкости. Различаются и соответствующие решения автомодельных задач распада разрыва с ударными волнами разрежения. При преобладании вязкости на разрежении численные решения сходятся к вязкому точному решению, а при отсутствии вязкости на разрежении – к дисперсионному точному решению.

Ключевые слова: ударные волны разрежения, условия допустимости, вязкость, дисперсия, автомодельное решение, численная сходимость.

УДК 539.122:518.5

Моделирование методом Монте-Карло неупругого рассеяния медленных нейтронов

А. Н. Иванов, Н. В. Иванов

Рассматривается проблема учета химических связей в задачах переноса медленных нейтронов. Предлагается эффективный метод моделирования траекторий медленных нейтронов методом Монте-Карло. Точность метода демонстрируется численными расчетами критических сборок.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, медленные нейтроны, неупругое рассеяние.

УДК 519.6

Монотонный метод частиц для моделирования двумерных газодинамических течений

Ю. В. Янилкин, В. А. Шмелёв, В. Ю. Колобянин, С. П. Беляев

Описано развитие монотонного метода частиц для двумерных задач газовой динамики, реализованного в рамках комплекса программ ЭГАК. Приводятся алгоритмы взаимодействия частиц с компонентами, которые заданы без применения частиц, а также алгоритмы, позволяющие делать расчеты, используя частицы только в окрестности контактных границ.

Ключевые слова: газовая динамика, многокомпонентная среда, монотонный метод частиц, смешанные ячейки, контактная граница.

УДК 519.63:539.17

Расчет изотопного состава реакторных установок при моделировании процессов выгорания и остаточного энерговыделения ядерного топлива в программном комплексе CONCORD

С. В. Мжачих, А. В. Алексеев, А. Н. Гребенников, Е. А. Гусев, А. А. Ермаков, Е. А. Ирничев, С. С. Касаткин, Н. А. Крутько

Дается описание программного модуля, предназначенного для расчета процесса ядерной кинетики в реакторных установках на тепловых и быстрых нейтронах, который входит в состав программного комплекса CONCORD. Приводятся источники данных модуля, описываются используемые методы и модели расчета.

Ключевые слова: ядерный реактор, тепловой реактор, быстрый реактор, программный комплекс CONCORD, отработанное ядерное топливо (ОЯТ), нейтронно-ядерные процессы, радиоактивное преобразование ядра, запаздывающие нейтроны, ТВС, разностная схема Розенброка–Ваннера.

УДК 519.6

Адаптивная система маршрутизации для отечественной системы межпроцессорных обменов СМПО-10G

В. Г. Басалов, В. М. Вялухин

Представлен результат работ по созданию алгоритмов адаптивной системы маршрутизации для отечественной системы межпроцессорного обмена СМПО-10G. Приводится обоснование выбора локальной адаптивной маршрутизации в качестве оптимальной для СМПО-10G. Описываются разработанные механизм инициализации коммуникационной среды и алгоритм маршрутизации сообщений. Детализирован алгоритм выбора оптимального выходного порта коммутатора при передаче сообщения. Описывается механизм организации широкополосных обменов для СМПО-10G.

Ключевые слова: мультипроцессорная вычислительная система, система межпроцессорных обменов, СМПО-10G, топология коммуникационной среды, локальная адаптивная маршрутизация, механизм широкополосной связи.

Раздел 3. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

УДК 621.039.573

Принципиальная конструкция и нейтронные параметры реакторной установки БИГР + УФН-П

В. Ф. Колесов, В. Х. Хоружий, С. В. Воронцов, А. А. Девяткин, М. И. Кувшинов, В. В. Сажнов

Разработана принципиальная конструкция и выполнена серия расчетов статических и динамических нейтронных параметров двухсекционной импульсной установки БИГР + УФН-П, намечаемой в качестве основного узла облучательной системы с многофункциональным петлевым контуром, предназначенной для испытаний топлива АЭС с различными теплоносителями в нештатных условиях.

Ключевые слова: двухсекционный импульсный реактор, реактор БИГР, подкритическая сборка, облучательная полость, флюенс нейтронов, коэффициент нейтронной связи секций.

УДК 539.1.074.8(088.8):621.039.571

Детектор мощности гамма-излучения типа КГК-2 для диагностики полей излучений ядерных реакторов в диапазоне от 10 мкГр/с до 100 Гр/с

*А. С. Кошелев, Л. Е. Довбыш, В. Х. Хоружий, С. В. Чуляев**

**АНО НИИ технологии материалов, г. Москва*

Описана конструкция детектора мощности γ -излучения типа КГК-2. Диагностические возможности детектора продемонстрированы на примере результатов измерения мощности дозы в энергетических пусках реакторов БР-К1 и БР-1М, осуществленных в режиме генерирования импульсов деления на запаздывающих нейтронах.

Возможности использования детектора КГК-2 для постимпульсной γ -диагностики продемонстрированы на примере результатов измерений в импульсе делений на мгновенных нейтронах реактора БР-1М.

Ключевые слова: мощность гамма-дозы, газонаполненный гамма-детектор, импульсный ядерный реактор, постимпульсная релаксация.

Раздел 4. УСКОРИТЕЛИ

УДК 621.384.654

Малогабаритные высокопроизводительные ускорители АРСА для оперативных испытаний на радиационную стойкость ЭКБ

С. Л. Эльяш, С. П. Пухов, А. В. Родигин, А. Л. Юрьев

Проведена модернизация малогабаритного импульсного ускорителя АРСА с целью повышения граничной энергии до 1,3 МэВ, дозы тормозного излучения до 3 Гр и длительности импульса до 10 нс, автоматизации управления ускорителем и комплексом измерительного оборудования, что позволяет использовать его в качестве высокопроизводительного источника тормозного излучения при оперативных испытаниях элементной

компонентной базы на радиационную стойкость.

Ускоритель отличается стабильностью характеристик (разброс не более $\pm 10\%$), высокой мощностью дозы тормозного излучения (до $5 \cdot 10^{10}$ P/c в пятне диаметром 1 см), возможностью интенсивной работы (сотни пусков в день), электромагнитной совместимостью с РЭА.

Разработан волоконно-оптический монитор-дозиметр, функционально связанный с пультом управления ускорителя АРСА. Для контроля формы импульсов тормозного излучения предусмотрен отдельный канал.

Ключевые слова: малогабаритный импульсный ускоритель, доза тормозного излучения, длительность импульса, радиационная стойкость, волоконно-оптический монитор-дозиметр.

УДК 621.384.6+539.1.08

Метод измерения средней энергии квантов тормозного излучения ускорителя ЛИУ-30

Н. К. Миронов, С. А. Горностай-Польский, А. В. Грунин, А. Н. Залялов, С. А. Лазарев

Описан метод измерения средней энергии квантов тормозного излучения ускорителя ЛИУ-30. Метод основан на использовании конвертора, включающего в себя сцинтиллятор и устанавливаемый перед ним комбинированный слой вещества. Реализована схема физического суммирования информации, в которой производится регистрация одним сцинтилляционным детектором рассеянных конвертором квантов, распространяющихся по воздуху, и световой вспышки от сцинтиллятора конвертора, передаваемой по волоконно-оптической линии связи. Разработан способ *in situ* градуировки, основанной на выравнивании наклонов спектральных характеристик и достижении независимости отношения откликов системы от спектра тормозного излучения.

Ключевые слова: тормозное излучение, метод измерения, установка ЛИУ-30, средняя энергия квантов тормозного излучения, детектор, спектральная характеристика, градуировка.

УДК 621.384.6.93

Обзор сильноточных импульсных ускорителей электронов, созданных в РФЯЦ-ВНИИЭФ на базе ступенчатых линий

В. Ф. Басманов, В. С. Гордеев, А. В. Гришин, Н. В. Завьялов, Г. А. Мысков, С. Т. Назаренко

Представлен краткий обзор ускорителей И-3000, СТРАУС, СТРАУС-2, ЛИУ-10М, СТРАУС-Р, ЛИУ-Р-Т и ГАММА-1. Системы формирования высоковольтных импульсов ускоряющего напряжения этих установок выполнены с использованием многокаскадных ступенчатых линий, образованных из отрезков однородных линий со ступенчатым характером изменения импедансов. Такие устройства в результате волновых процессов обеспечивают при высоком КПД повышение в несколько раз выходного напряжения по сравнению с зарядным напряжением линий. Граничная энергия электронов ускорителей находится в диапазоне 2,3–25 МэВ, амплитуда тока пучка 20–750 кА, длительность токового импульса 16–80 нс на полувывоте.

Ключевые слова: импульсные ускорители электронов СТРАУС, ЛИУ-10М, ЛИУ-Р-Т, СТРАУС-Р, ГАММА-1, генерация тормозного излучения, электрическая схема, многокаскадный генератор высоковольтных импульсов, ступенчатые линии.

УДК 621.384.64

Состояние работ по проекту создания электронного резонансного ускорителя непрерывного действия БЕТА-8

Е. Н. Гладышев, В. С. Гордеев, Н. В. Завьялов, Н. Н. Кузнецова, С. М. Придчин, С. А. Путевской, И. С. Селин, Н. П. Ситников, М. Л. Сметанин, А. В. Тельнов, С. М. Тресков, И. В. Шорилов, В. Е. Юрлов

Разработаны и изготовлены основные элементы ускорителя: корпус коаксиального резонатора; один из трех модулей ВЧ генератора с выходной ВЧ мощностью 180 кВт; узел ввода мощности резонатора, рассчитанный на передачу ВЧ энергии 500 кВт. Проведены измерения ВЧ характеристик коаксиального резонатора в сборе с узлом ввода мощности на низком уровне ВЧ мощности. Проведены испытания ВЧ генератора, нагруженного на согласованную поглощающую нагрузку. Предполагается тестирование ускорителя в макетном режиме с питанием от одного модуля ВЧ генератора.

Ключевые слова: полуволновый коаксиальный резонатор, свободные колебания типа Т1, мощность потерь, собственная добротность резонатора, узел ввода ВЧ мощности, режим непрерывной генерации ВЧ мощности, обратная связь, фидер, дипольный магнит.

УДК 621.384.6.03+621.039.514

Расчет динамики поля тормозного излучения сильноточных ускорителей электронов

С. А. Лазарев, В. С. Гордеев, Е. Н. Донской, А. Н. Залялов, Е. С. Михайлов, Д. В. Ткачук

Приведены результаты сквозных расчетов динамических характеристик полей тормозного излучения линейного индукционного ускорителя ЛИУ-10М и ускорителя прямого действия ГАММА-1. Расчеты процессов формирования и транспортировки в ускорительном тракте и характеристик электронного пучка, падающего на мишенный узел ускорителя, выполнялись по программе BEAM25. Расчеты временных зависимостей пространственно-спектральных распределений флюенсов квантов, электронов и позитронов на поверхности мишенного узла и на различных расстояниях от него в объеме экспериментального зала проводились по программе ЭЛИЗА. Результаты расчетов качественно согласуются с данными измерений характеристик полей излучений.

Ключевые слова: ускоритель ЛИУ-10М, ускоритель ГАММА-1, пространственно-спектральные характеристики поля тормозного излучения, программа BEAM25, программа ЭЛИЗА.

Раздел 5. ЭЛЕКТРОФИЗИКА

УДК 533.9.07

О перспективах генерации мощных импульсов МРИ на установке ГАММА

Н. В. Завьялов, В. С. Гордеев, А. В. Гришин, А. Л. Мозговой, С. Т. Назаренко, А. П. Орлов, В. С. Павлов, С. Ю. Пучагин

Представлены результаты 3D электродинамических, 0D оптимизационных и 2D радиационных магнитогидродинамических расчетов, проведенных с целью оценки ожидаемых характеристик выходного импульса МРИ при работе установки ГАММА на единую лайнерную нагрузку.

Ключевые слова: тормозное излучение, установка ГАММА, мягкое рентгеновское излучение, установка АНГАРА-5-1, 0D модели, РМГД моделирование, численное моделирование.

УДК 533.9; 551.594

Анализ фундаментальных взаимодействий, способных генерировать нейтроны в грозовой атмосфере

Л. П. Бабич, Е. И. Бочков, И. М. Куцык

Выполнен анализ элементарных процессов, способных генерировать нейтроны в грозовой атмосфере. Оценивается эффективность ядерного синтеза, фотоядерных реакций, электродезинтеграции и реакций, обратных β -распаду. Для протекания ядерного синтеза в канале молнии требуется нереально сильное электрическое поле. Генерация нейтронов в грозовой атмосфере связана с фотоядерными реакциями и в меньшей степени – с реакциями электродезинтеграции.

Ключевые слова: ядерный синтез, фотоядерные реакции, электродезинтеграция, реакции обратные β -распаду, электрическое поле, генерация нейтронов грозами, гамма-излучение, лавина релятивистских убегающих электронов.

УДК 533.9; 551.594

Об усилении потока фотоядерных нейтронов в грозовой атмосфере и возможности его регистрации

Л. П. Бабич, Е. И. Бочков, А. Н. Залялов, И. М. Куцык

Анализируется достоверность сообщений о регистрации усиления потока нейтронов в грозовой атмосфере. Анализ мотивирован тем, что используемые газоразрядные счетчики на основе реакций ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ и ${}^{10}\text{B}(n; {}^4\text{He}, \gamma){}^7\text{Li}$ регистрируют не только нейтроны, но любые проникающие излучения. Фотоядерные реакции способны отвечать за усиление потока нейтронов в грозовой атмосфере, поскольку в корреляции с грозами неоднократно регистрировались вспышки γ -излучения со спектрами, простирающимися выше порога фотоядерных реакций в воздухе. Численным моделированием показано, что зарегистрированные в грозовой атмосфере импульсы γ -излучения способны генерировать фотоядерные нейтроны в количествах, достаточных для регистрации даже на уровне моря.

Ключевые слова: поток нейтронов в грозовой атмосфере, газоразрядный счетчик, проникающее излучение, фотоядерные реакции, гамма-излучение, электромагнитное излучение, разряд молнии.

УДК 533.9; 539.121.7

Излучение Вавилова – Черенкова субнаносекундного импульса убегающих электронов, генерируемого разрядом в открытой атмосфере

Л. П. Бабич, Т. В. Лойко, А. В. Родигин

Впервые наблюдалось излучение Вавилова–Черенкова пикосекундного ($\Delta t_{0,5} \approx 0,15$ нс) импульса убегающих электронов высоких энергий, генерируемых электрическим разрядом в открытой атмосфере. Измеренная длительность излучения $\Delta t_{0,5} \approx 0,4$ нс. Впервые со 100 %-ной достоверностью установлено, что спектр убегающих электронов в столь плотной среде, как воздух атмосферного давления, простирается выше энергии 178 кэВ.

Ключевые слова: убегающие электроны, излучение Вавилова–Черенкова, субнаносекундный импульс, регистрация излучения, люминесценция оргстекла.

УДК 537.523; 539.1.074

Калибровка детекторов ионизирующих излучений с помощью пучка убегающих электронов субнаносекундной длительности, генерируемого разрядом в открытой атмосфере при высоких перенапряжениях

Л. П. Бабич, Т. В. Лойко, А. В. Родигин

Электрический разряд в воздухе при атмосферном давлении в условиях многократных перенапряжений генерирует электронный пучок субнаносекундной длительности. На примерах измерения временного разрешения трактов регистрации, включающих различные детекторы ионизирующих излучений, демонстрируется эффективность использования пучка для калибровки детекторов с субнаносекундным разрешением. Основным преимуществом такого способа калибровки является отсутствие вакуумированной ускорительной трубки, малогабаритность источника электронов и большой эксплуатационный ресурс.

Ключевые слова: электрический разряд в воздухе, убегающие электроны, детектор ионизирующих излучений, калибровка детекторов, предионизация газа, газоразрядный диод, полупроводниковый детектор, черенковский детектор, рентгеновский детектор, люминесценция оргстекла.

УДК 533.9; 551.594; 537.531

Численное моделирование узких биполярных электромагнитных импульсов, генерируемых грозowymi разрядами

Е. И. Бочков, Л. П. Бабич, И. М. Куцык

Выполнено численное моделирование компактного внутриоблачного разряда в самосогласованном электрическом поле как генератора мощных электромагнитных импульсов ВЧ-УВЧ излучения (узкие биполярные импульсы). Вычислено число электронов, инициирующих лавину релятивистских убегающих электронов, при которых расчетные характеристики электромагнитных импульсов согласуются с измеренными параметрами узких биполярных импульсов. Отмечаются затруднения гипотезы об участии широких

атмосферных ливней космических частиц в инициировании лавины релятивистских убегающих электронов. Разряд, способный генерировать узкие биполярные импульсы, порождает убегающие электроны в количествах, близких к оценкам числа убегающих электронов в источнике γ -вспышек земного происхождения.

Ключевые слова: численное моделирование, грозовой разряд, электромагнитный импульс ВЧ-УВЧ диапазона, узкий биполярный импульс, широкий атмосферный ливень, пробой на убегающих электронах, лидер молнии, лавина релятивистских убегающих электронов, перенапряжение поля, обратная релятивистская связь, напряженность электрического поля ЭМИ.

УДК 538.311.001.24, 621.372.825.4, 621.385.6

Анализ электродинамических характеристик многолучевой замедляющей структуры типа «клеверный лист»

М. В. Кузьмичев, В. Б. Профе, К. В. Троцюк

Дано описание конструкции многолучевой замедляющей структуры типа «клеверный лист». Анализируются ее электродинамические характеристики, полученные в результате численного моделирования.

Ключевые слова: многолучевая замедляющая структура (ЗС) типа «клеверный лист», электродинамические характеристики, численное моделирование, полоса пропускания, пролетный канал, центральная частота ЗС.

Раздел 6. ПЛАЗМА И ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

УДК 533.952 + 533.9.082.79

Источник с выходом 10^{13} ДТ-нейтронов на основе сферической камеры с плазменным фокусом

Н. В. Завьялов, В. В. Маслов, В. Г. Румянцев, И. Ю. Дроздов, Д. А. Ершов, Д. С. Коркин, Д. А. Молодцев, В. И. Смердов, А. П. Фалин, А. А. Юхимчук

Представлены результаты предварительных экспериментальных исследований нейтронного излучения, генерируемого сферической камерой с плазменным фокусом, заполненной равнокомпонентной смесью дейтерия и трития. При максимальной амплитуде тока в газоразрядной камере $\sim 1,5$ МА зарегистрированы импульсы нейтронного излучения длительностью на полувысоте 75–80 нс и интегральным выходом $\sim 1,3 \cdot 10^{13}$ ДТ-нейтронов.

Ключевые слова: регистрация импульсов гамма-нейтронного излучения, камера с плазменным фокусом, равнокомпонентная ДТ-смесь, генератор импульсов тока, метод Монте-Карло, нейтронный выход.

Раздел 7. ФИЗИКА ЛАЗЕРОВ

УДК 537.563

Влияние режима предионизации на электрофизические характеристики мощных импульсных ксеноновых ламп

А. Г. Арзев, И. В. Галахов, В. А. Осин, В. В. Свиридов

Приведены результаты исследований влияния режима предионизации на электрофизические характеристики мощных импульсных ламп с длиной разрядного промежутка 1600 мм и внутренним диаметром колбы 40 мм. На основе измерений тока в контуре и напряжения на лампах были вычислены плотность тока в лампах, энергия, мощность разряда ламп, КПД контура. Проведено сравнение этих характеристик в режимах работы с предионизацией и без предионизации. В пакете программ OrCAD9.2 выполнено моделирование разрядного контура. Сопоставляются расчетные данные и экспериментальные результаты, полученные на прототипе модуля конденсаторной батареи.

Ключевые слова: конденсаторная батарея, моделирование разрядного контура, режим предионизации, мощные импульсные ксеноновые лампы, оптические характеристики, неодимовая лазерная установка УФЛ-2М.

УДК 535.375

Адаптивные системы на основе датчика Шака – Гартмана и датчика интенсивности

М. А. Глухов, А. И. Голубев, М. О. Колтыгин, Р. С. Кузин, А. Н. Маначинский, Ф. А. Стариков

С целью фазовой коррекции лазерного пучка проведена проверка эффективности двух алгоритмов оптимизации градиентного типа: стохастического параллельного градиентного алгоритма и модифицированного метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: фазовая коррекция лазерного пучка, искажения волнового фронта, стандартная адаптивная оптическая система коррекции, датчик Шака–Гартмана, стохастический параллельный градиентный алгоритм (СПГ), модифицированный метод наименьших квадратов (ММНК), биморфное адаптивное зеркало, число Штреля.

УДК 533.9

Численный анализ экспериментов по генерации ударных волн в алюминии при непрямом (рентгеновском) воздействии на установке «Искра-5»

С. В. Бондаренко, Е. А. Новикова

По методике СНД-ЛИРА в секторном приближении выполнено численное исследование динамики полей излучения (лазерного и рентгеновского) в экспериментах с цилиндрическими боксами-конвертерами (иллюминаторами), проведенных ранее на лазерной установке «Искра-5» (вторая гармоника йодного лазера с $\lambda = 0,66$ мкм). В этих экспериментах температура рентгеновского излучения в боксе определялась посредством измерения скорости ударной волны, генерируемой в исследуемом образце, расположенном на торце цилиндрического иллюминатора. В расчетах по программе СНД-ЛИРА проведено сквозное численное моделирование, учитывающее поглощение излучения лазерного драйвера на стенках бокса, генерацию

квazитеплого излучения, а также формирование и распространение ударной волны в исследуемом образце. Анализ экспериментов позволяет определить коэффициент ограничения электронной теплопроводности f : при $f = 0,03$ удается согласовать данные экспериментального скейлинга для температуры рентгеновского излучения в боксе с расчетными данными. Полученные в расчетах скорости ударной волны также согласуются с результатами экспериментов.

Ключевые слова: ударные волны, непрямоe рентгеновское воздействие, йодный лазер, численное моделирование.

УДК 519.542

Эффективная генерация Ho:YAG лазера с дифракционным качеством пучка

С. Д. Великанов, А. В. Мухин, Ю. Н. Фролов

Представлены результаты экспериментальных исследований непрерывной генерации твердотельного гольмиевого (Ho:YAG) лазера, накачиваемого тулиевым волоконным лазером. Дифференциальная эффективность преобразования достигала $\approx 72\%$. Параметр распространения лазерного пучка составил $M^2 < 1,1$.

Ключевые слова: твердотельный гольмиевый лазер, непрерывная генерация, мощность генерации, мощность накачки, эффективность преобразования, параметр распространения лазерного пучка.

УДК 621.373.826

Акустооптическая адаптивная коррекция спектральной формы чирпированного лазерного импульса в регенеративном усилителе на неодимовом фосфатном стекле

И. Н. Воронич, С. Г. Гаранин, Л. В. Горячев, В. Я. Молчанов, В. В. Романов, Н. Н. Рукавишников, С. В. Соколовский, С. И. Чижиков*, К. Б. Юшков**

**Государственный технологический университет «Московский институт стали и сплавов», Научно-технологический центр акустооптики*

Представлены результаты экспериментальных исследований коррекции спектрального состава чирпированных лазерных импульсов в регенеративном усилителе на неодимовом фосфатном стекле с высоким ($\sim 4 \cdot 10^7$) физическим коэффициентом усиления с помощью акустооптической дисперсионной линии задержки, для которой определено спектральное разрешение $1,1 \text{ см}^{-1}$ при дифракционной эффективности $> 80\%$. Осуществлен режим работы регенеративного усилителя, при котором длительность выходного чирпированного импульса не сокращается по сравнению с длительностью входного чирпированного импульса, т. е. сохраняется ширина спектра излучения.

Ключевые слова: чирпированный лазерный импульс, регенеративный усилитель, ширина спектра излучения, акустооптическая дисперсионная линия задержки.

УДК 621.373.7

Высокоэнергетичные источники терагерцевого излучения: проблемы и перспективы

Г. С. Рогожников, Р. Ю. Костюнин, О. И. Козырева, И. В. Мишина, Н. Н. Рукавишников

Из перспективных методов генерации терагерцевого излучения, основанных на использовании сверхкоротких лазерных импульсов, оптимальным для генерации высокоэнергетичных (миллиджоульного уровня) импульсов признан способ оптического выпрямления благодаря его широким возможностям для масштабирования.

Выявлено, что максимальная эффективность данного метода (до $0,1\%$) достижима при соблюдении условия неколлинеарного синхронизма фазовой и групповой скоростей лазерного и терагерцевого импульсов, а также при обеспечении интенсивности лазерного излучения, близкой к порогу насыщения (для кристалла ниобата лития $\sim 1 \text{ ТВт/см}^2$).

Ключевые слова: методики генерации терагерцевого излучения, метод оптического выпрямления, сверхкороткие лазерные импульсы.

УДК 621.373.826.038.823.4

Лазер на парах цезия с диодной накачкой в импульсно-периодическом и непрерывном режимах

В. О. Паутов, С. М. Куликов, А. В. Рус

Создан экспериментальный стенд для отработки лазера на парах цезия с диодной накачкой. Описана лазерная кювета, обеспечивающая прокачку лазерной среды через область генерации лазерного излучения.

На основе теоретической модели лазера написана расчетная программа.

Исследованы и определены: оптимальный режим работы источников диодной накачки; время выхода спектра источника накачки на заданную длину волны; давления буферных газов метана и гелия; температура рабочей среды. Получена непрерывная генерация мощностью $\sim 220 \text{ Вт}$ при эффективности лазера «свет в свет» $\sim 32\%$. Исследована работа лазера в импульсно-периодическом режиме с частотой 100 Гц , получена генерация с пиковой мощностью $\sim 700 \text{ Вт}$ с кпд «свет в свет» 47% и дифференциальным кпд 56% .

Ключевые слова: лазеры на парах щелочных металлов, диодная накачка, лазерная кювета, непрерывная генерация, давление буферных газов.

УДК 621.375.826

Применение неустойчивого оптического резонатора в малогабаритном электроразрядном DF-лазере

С. Д. Великанов, Н. А. Зарецкий, Р. В. Порубов

Проанализированы различные конфигурации неустойчивого оптического резонатора телескопического типа. Показано, что такой резонатор позволяет достичь расходимости лазерного излучения, близкой к ее дифракционному пределу, а также эффективно управлять ею в достаточно широком диапазоне без использования дополнительных оптических элементов в системе. Применение неустойчивого оптического резонатора позволяет улучшить стабильность пространственных и энергетических характеристик лазерного

излучения при угловых разъюстировках зеркал оптического резонатора.

Ключевые слова: расходимость лазерного излучения, конфокальный неустойчивый оптический резонатор, расфокусированный неустойчивый оптический резонатор, кривизна зеркал оптического резонатора.

УДК 621.373.826; 533.9

Исследования взаимодействия интенсивных лазерных импульсов с веществом в РФЯЦ-ВНИИЭФ

С. А. Бельков, С. Г. Гаранин, Н. Н. Рукавишников

Представлены описания и принципы работы действующих в ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ лазеров со сверхкороткой длительностью импульса излучения: тераваттной установки ($E \approx 1,5 \text{ Дж}$; $\tau \approx 0,7 \text{ пс}$) и лазерной системы петаваттного уровня мощности ($E \approx 50\text{--}70 \text{ Дж}$; $\tau \approx 45\text{--}70 \text{ фс}$) на основе параметрического усиления широкополосного chirпированного лазерного импульса. Приведены результаты измерений изображения мишени в собственном рентгеновском излучении; спектра электронов и протонов в постановочных экспериментах по облучению тонкопленочных мишеней из различных материалов при интенсивности лазерного пучка $I_{\text{миш}} \sim 10^{19} \text{ Вт/см}^2$; расчетно-теоретических исследований воздействия лазерного импульса длительностью 50–100 фс и интенсивностью от $1 \cdot 10^{18}$ до $5 \cdot 10^{21} \text{ Вт/см}^2$ на твердотельные мишени различного состава и конструкции, выполненных с помощью численных PIC-кодов PLASMA-2 и KAPAT.

Ключевые слова: лазеры со сверхкороткой длительностью импульса излучения, параметрический усилитель света, численное моделирование, усиление chirпированного лазерного импульса.

УДК 519.542

Исследование неоднородностей воздушной среды в области лазерного пробоя

Б. Г. Зималин, И. Н. Воронич, М. Г. Кузин, Н. Н. Рукавишников

Экспериментально исследованы неоднородности воздушной среды, возникающие в области лазерного пробоя воздуха наносекундными импульсами в диапазоне энергий до 1 Дж при интенсивностях $10^{11}\text{--}10^{12} \text{ Вт/см}^2$ в интервале времени до 5 нс от момента пробоя. Оценка масштаба и структуры неоднородностей воздушной среды в области лазерного пробоя позволяет учесть влияние фокусировки частично отраженных от поверхности линз лазерных пучков на пространственный профиль лазерного пучка в мощных многопроходных лазерных установках.

Ключевые слова: оптический тракт лазерной установки, неоднородности воздушной среды, область лазерного пробоя, ближняя зона зондирующего пучка, ударная волна, интенсивность излучения.

УДК 621.373.7

Методика измерения энергетических и мощностных параметров паразитного лазерного излучения в схеме с прямым усилением chirпированного импульса

Р. Ю. Костюнин, Г. С. Рогожников, Н. Н. Рукавишников

Экспериментально (в зависимости от энергии накачки) исследован коэффициент усиления слабого (ненасыщающего) сигнала в активной среде из неодимового фосфатного стекла в однопроходном режиме работы регенеративного усилителя.

Исследовано пропускание затвора Поккельса № 2 РУ в закрытом состоянии.

Отработаны методики измерений и исследованы определяющие контраст излучения мощностные и энергетические характеристики паразитного лазерного излучения на выходе регенеративного усилителя лазерной установки тераваттного уровня мощности. Определен контраст сверхкороткого лазерного импульса на выходе регенеративного усилителя: энергетический – $K_E = 3 \cdot 10^4$, мощностный – $K_P = 4 \cdot 10^4$. Даны рекомендации на повышение контраста импульса до 10^5 .

Ключевые слова: лазеры со сверхкороткой длительностью импульса излучения, паразитное лазерное излучение, методика измерения, прямое усиление chirпированного импульса, регенеративный усилитель, контраст излучения лазерного импульса, люминесценция активной среды регенеративного усилителя, коэффициент усиления слабого сигнала.

УДК 535.8; 535.31

Финальный оптический модуль установки УФЛ-2М с пространственным разведением излучения первой и второй гармоники

в плоскости установки мишени

В. Н. Деркач, И. Н. Деркач, Р. В. Жуков

Проведена оптимизация оптической схемы финального оптического модуля и его компонентов для получения минимальных вносимых аберраций. Аберрационный анализ основывается на геометрической трассировке лучей через оптическую систему. Определены области обратноотраженного излучения с высокой концентрацией энергии. Исследованы необходимые допуски на материалы, изготовление и размещение оптических элементов. Установлено, что максимальный размер пятна рассеяния в плоскости наилучшей установки не превышает 40 мкм. Исследовано влияние температуры и давления окружающей среды на компенсационное смещение плоскости облучения мишени.

Ключевые слова: оптическая схема финального оптического модуля, обратноотраженное излучение, размер пятна рассеяния, смещение плоскости облучения мишени.

УДК 535.8

Исследование генерации параметрических неустойчивостей в лазерной плазме с использованием излучения с управляемой степенью когерентности

А. Ю. Воронин, В. Н. Деркач, Н. В. Жидков, С. В. Калипанов, А. И. Кедров, Н. А. Петражицкая, К. В. Стародубцев, А. Е. Чаунин

Исследовалось распространение излучения через протяженные слои плазмы толщиной до 1 мм, имеющей

плотность в четверть критической для длины волны 0,657 мкм. Изучены особенности генерации излучения $3/2\omega$ в плазменном слое. Коэффициент генерации составил $\approx(2-6) \cdot 10^{-4}$.

Ключевые слова: лазерная установка, системы декогерентизации излучения, параметрические неустойчивости, генерация излучения $3/2\omega$ в плазменном слое, мишень.

УДК 535.015

Система формирования высокоэнергетичных фемтосекундных лазерных импульсов с наклонным волновым фронтом

Г. С. Рогожников, Н. Н. Рукавишников, Р. Ю. Костюнин, И. В. Мишина

Рассмотрен высокоэнергетичный источник фемтосекундных лазерных импульсов, который может быть использован для преобразования лазерного излучения ближнего ИК-диапазона в терагерцевое излучение путем оптического выпрямления в нелинейных кристаллах. Источник способен работать как в импульсно-периодическом, так и моноимпульсном режиме. Для обеспечения синхронизма в преобразующем кристалле в источнике предусмотрена возможность наклона волнового фронта.

Ключевые слова: наклон волнового фронта, лазерное излучение, метод оптического выпрямления в нелинейных кристаллах, терагерцевое излучение, эффективность преобразования, chirпированный импульс.

Раздел 8. ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 621.039.564.2; 53.08; 65.011.56; 004.415.2

Цифровая широкодиапазонная аппаратура измерения физической мощности импульсных ядерных реакторов

В. С. Майорников, М. А. Овчинников, Г. Н. Пикулина, С. М. Придчин, Н. В. Распопов, М. Б. Романов, С.В. Гунин, А. С. Черкасов, М. А. Воинов, Ю. М. Дроздов

В ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана специализированная аппаратура контроля нейтронного потока: приборы типа ШИПН и ТИПН, – предназначенная для измерения физической мощности импульсных ядерных реакторов, периода удвоения мощности, для формирования аварийных для СУЗ реакторов. Параметры ИЯР рассчитываются на основе измерения скорости счета статистически распределенных импульсов от счетчиков нейтронов типа СНМ-11 и измерения тока от нейтронных камер типа КНК15-1. Используя комбинацию токовых и импульсных трактов измерения, можно обеспечить измерение физической мощности ИЯР в диапазоне ~ 10 порядков. На базе приборов типа ШИПН и ТИПН создан аппаратный комплекс для измерения физической мощности ИЯР ГИР-2. Разработанная аппаратура может быть использована на других ИЯР.

Ключевые слова: импульсный ядерный реактор, счетчик нейтронов, нейтронная камера, широкодиапазонный измеритель потока нейтронов, токовый измеритель потока нейтронов, программное обеспечение.

УДК 539.1.074

Сцинтилляционный волоконно-оптический детектор с наносекундным временным разрешением

А. В. Родигин, Т. В. Лойко, С. Л. Эльяш

С помощью электронного и рентгеновского излучений субнаносекундной длительности измерено временное разрешение волоконно-оптического детектора. Показано, что использование оптических фильтров и преобразователя мод в виде вставки в разрыве кабеля приводит к улучшению временного разрешения волоконно-оптического детектора. Для кабелей длиной 5 и 10 м со вставкой из двойного фиолетового оптического стекла ПС13 временное разрешение волоконно-оптического детектора составило $\tau_{0,5} = 1,16$ и $1,64$ нс соответственно.

Ключевые слова: волоконно-оптический детектор (ВОД), временное разрешение ВОД, черенковское излучение, оптический фильтр, ускоритель СПИН-2.

УДК 548.734.3:534.222.2+620.178.7

Рентгенографические исследования микроструктурных изменений циклотетраметилентетранитрамина, возникающих в результате копрового или ударно-волнового воздействия

В. Н. Лашков, О. Л. Игнатов, А. А. Селезнев, Н. Т. Казаковский, А. Ф. Михайлов, Д. А. Блинов, Д.В. Чулков

Представлены результаты рентгенографических исследований микроструктурных изменений образцов циклотетраметилентетранитрамина (октогена) до и после копрового или ударно-волнового воздействия методом порошковой рентгеновской дифракции – методом Ле Бэйла. Проведен рентгенофазовый анализ полученных образцов. Проведено моделирование экспериментальных дифрактограмм методом Ле Бэйла. По результатам обработки рентгенограмм рассчитаны параметры микроструктуры: размеры блоков когерентного рассеяния и микронапряжения. Проведен сравнительный анализ полученных данных.

Ключевые слова: метод порошковой рентгеновской дифракции (метод Ле Бэйла), копровые испытания, ударно-волновое воздействие, взрывчатое вещество, детонация, микроструктура октогена, фазовые переходы, область когерентного рассеяния, микродеформация.

УДК 621.351

Применение резистометрического метода и импедансной спектроскопии для исследования микронных и нанодисперсных материалов СВС

В. В. Мокрушин, М. В. Царев, К. В. Коршунов, А. Ю. Постников, И. А. Царева

Приведены примеры использования методов измерения электропроводности на постоянном и переменном токе для исследования структуры и свойств микронных и нанодисперсных порошковых материалов, применяемых в СВС. Показаны возможности данных методов применительно к изучению процессов перемешивания СВС композиций и проведению контроля качества порошковых смесей и исходных компонентов на различных стадиях использования в процессах СВС.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), порошковые материалы

для СВС, резистометрический метод исследования, метод импедансной спектроскопии, структура, межчастичные контакты.

УДК 621.385.633

Исследование влияния внешней нагрузки на режимы работы ЛОВ-генератора

И. В. Ошкин, В. Б. Профе, К. В. Троцюк

Приведены результаты экспериментального исследования лампы обратной волны с замедляющей системой типа цепочки связанных спиральных резонаторов. Показано, что существует прямая зависимость спектра генерируемых колебаний от КСВ на выходе электродинамической системы. Обнаружено, что в резонансной лампе обратной волны возможна генерация монохроматических колебаний с высоким электронным КПД (до 28 %) при низких значениях первеанса пучка.

Ключевые слова: лампа обратной волны (ЛОВ), периодические замедляющие системы, первеанс пучка, устройство вывода энергии.

Раздел 9. ГИДРОДИНАМИКА И РЕОЛОГИЯ

УДК 533.2:546.12.027

Измерение квазиизэнтропической сжимаемости гелия при давлении ~5000 ГПа

М. А. Мочалов, Р. И. Илькаев, В. Е. Фортос, А. Л. Михайлов, В. А. Аринин, А. О. Бликов, А.Ю. Баурин, В.А. Комраков, В. А. Огородников, А. В. Рыжков, А. А. Юхимчук*

**Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

Приведены результаты измерения квазиизэнтропической сжимаемости плазмы гелия с использованием экспериментального устройства сферической геометрии и рентгенографического комплекса, состоящего из трех бетатронов и многоканальной оптико-электронной системы регистрации рентгеновских изображений. В эксперименте получена плотность сжатого гелия $\sim 8 \text{ г/см}^3$ при давлении порядка 5000 ГПа. Анализ данных показывает, что при измеренных параметрах гелий находится в однократно ионизованном состоянии.

Ключевые слова: уравнения состояния, взрывчатое вещество (ВВ), ударная волна, продукты взрыва, изэнтропическое сжатие, бетатрон, упругопластические свойства среды.

УДК 541.427.6

Несложная кинетическая модель окисления алюминия различной дисперсности во взрывчатых составах

Д. В. Мильченко, В. М. Бельский, В. А. Бурнашов, В. Н. Герман

Рассмотрена формальная кинетическая модель окисления высокодисперсного Al во взрывчатых составах, основанная на представлениях о гетерогенном, контролируемом диффузией процессе горения, учитывающая особенности изменения коэффициентов переноса в высокоплотных флюидах и согласованная с экспериментальными данными о временах горения порошков алюминия различной дисперсности при повышенном давлении. Модель позволяет учесть влияние обтекания частиц Al газовым потоком за фронтом детонационной волны. Этот фактор может в несколько раз увеличивать скорость горения. Для ультрадисперсных порошков алюминия со средним диаметром частиц менее 200 нм прогнозируется сгорание во фронте детонационной волны более чем на 50 %.

На основании предложенной модели сделан прогноз о величинах метательной способности алюминизированных ВВ. Для широко применяемых мощных ВВ повышение метательной способности за счет добавки алюминия не должно превышать 5 %, что согласуется с экспериментальными данными.

Ключевые слова: высокодисперсный алюминий, взрывчатый состав, взрывчатое вещество, фронт детонационной волны, кинетическая модель окисления, метательная способность, гетерогенное горение порошков алюминия.

УДК 541.427.6

Структура и взрывчатые свойства тонких слоев вторичных взрывчатых веществ, получаемых методом термовакuumной возгонки

Д. В. Мильченко, В. Н. Герман, С. А. Вахмистров, Л. А. Андреевских, Е. В. Халдеев, С. С. Журавлев, В.А. Бурнашов

Дан краткий обзор экспериментальных результатов исследования структуры и взрывчатых свойств тонкослойных зарядов вторичных ВВ, получаемых методом термовакuumной возгонки.

Метод термовакuumной возгонки (термовакuumного испарения–осаждения или термовакuumного напыления) основан на способности многих ВВ при нагревании в вакууме переходить без плавления в газовую фазу и затем конденсироваться на подложках.

Рассмотрены экспериментальные данные о механизме формирования тонких слоев ВВ на подложках. Микроструктура осажденных слоев ВВ характеризуется значительным количеством микропор и межзеренных границ раздела, т. е. в целом высоким содержанием микродефектов.

Указанная структурная особенность определяет повышенную детонационную способность осажденных ВВ, малые критические размеры детонации. Так, критическая толщина детонирующего слоя осажденного тэна составляет 30–50 мкм, БТФ – 15–25 мкм. При этом чувствительность осажденных ВВ к механическим и тепловым воздействиям остается на уровне исходных штатных ВВ.

Предложенный подход представляется перспективным для получения особо миниатюрных «двумерных» зарядов различного назначения.

Ключевые слова: вторичное взрывчатое вещество (ВВ), осаждение ВВ, метод термовакuumной возгонки, микродефекты, скорость детонации.

УДК 662.215.4

К вопросу о воздействии электронов с энергией 50 МэВ на полимеры

А. М. Злобин, С. А. Вахмистров, В. Н. Герман, Н. В. Завьялов, Т. Е. Кирсанова, Т. Г. Кирьянова, Е. С. Козлова, А. Л. Михайлов, Ю. П. Орликов, Е. Г. Орликова, А. П. Погорелов, В. А. Сеницын, А. К. Фисенко, Ю. В. Шейков
Приведены результаты исследования воздействия электронов ускорителя ЛУ-50 в частотно-импульсном режиме на полимеры, входящие в состав энергетических материалов (полиизобутилен и фторопласт Ф-32) в диапазоне поглощенных доз 50–400 Дж/г. Применение различных экспериментальных методик позволило получить информацию об изменении физико-химических характеристик, молекулярной и надмолекулярной структуре, составе газовой фазы, реологических свойствах (вязкости и молекулярной массе) полимеров.

Установлена дозовая зависимость изменения исследуемых свойств полимеров. Образцы полиизобутилена и фторопласта изменили цвет при дозах $D_n = 50$ и 200 Дж/г, соответственно. Надмолекулярная структура фторопласта при $D_n = 400$ Дж/г становится фибриллярной в виде объемной сетки, что свидетельствует о протекании реакций деструкции–структурирования. При $D_n = 300$ Дж/г в полиизобутилене установлено наличие ~0,5 % кислорода, что указывает на протекание окислительной деструкции. Рассмотрены возможные механизмы радиолитического разрушения исследуемых полимеров.

Ключевые слова: ускоритель ЛУ-50, физико-химические характеристики и реологические свойства полимеров, молекулярная и надмолекулярная структура полимеров, окислительная деструкция, радиолитическая стойкость, термическая стойкость.

УДК 662.215.4

Воздействие электронного облучения на кристаллы взрывчатого вещества

А. М. Злобин, С. А. Вахмистров, В. Н. Герман, Н. В. Завьялов, Т. Е. Кирсанова, Т. Г. Кирьянова, Е. С. Козлова, Л. Е. Корнилова, А. Л. Михайлов, Ю. П. Орликов, А. П. Погорелов, В. А. Сеницын, А. К. Фисенко, Ю. В. Шейков
Цель работы – изучение влияния воздействия электронов с энергией 50 МэВ в интервале поглощенных доз 10–300 Дж/г на внешний вид, структуру и некоторые физико-химические свойства кристаллов тэна, гексогена, октогена с размером кристаллов 250–500 мкм. При исследовании использовали различные экспериментальные методики: оптические (световая и электронная микроскопия), спектрометрические (инфракрасная и масс-спектрометрия), термографическую и манометрическую.

Ключевые слова: взрывчатые вещества (ВВ), ускоритель ЛУ-50, радиолитическое разрушение, микродефекты, поглощенная доза, молекулярная структура и физико-химические свойства ВВ.

УДК 539.37

Влияние предварительного нагружения на образование адиабатического локализованного сдвига в меди

В. А. Пушков, А. В. Юрлов, А. М. Подурец, А. Н. Цибилов, К. П. Новиков

Приведены результаты исследований формирования локализованного сдвига в меди М1 двух типов: в состоянии поставки и подвергнутой предварительному нагружению квазиизэнтропической волной сжатия. Опыты проведены на образцах шляповидной формы с применением метода составного стержня Гопкинсона. Для обоих типов меди получены диаграммы динамического сжатия при скоростях деформации $2100\text{--}2500\text{ с}^{-1}$, проведен металлографический анализ структуры меди, дана оценка влияния предварительного ударного деформирования на динамические механические свойства материалов. Показано, что более высокопрочные, но имеющие меньшую степень деформационного упрочнения, предварительно нагруженные металлы проявляют более высокую склонность к образованию полос адиабатического сдвига. Приведено модельное описание процесса деформирования, согласующееся с экспериментальными данными.

Ключевые слова: локализованный адиабатический сдвиг, способность деформационного упрочнения, предварительное ударное деформирование, метод составного стержня Гопкинсона, высокоскоростное квазиизэнтропическое нагружение, численное моделирование.

УДК 533.7

Микроскопическая электронно-оптическая регистрация процесса выброса частиц со свободной поверхности ударно-нагруженных металлов и жидкостей

Н. В. Невмержицкий, Е. А. Сотсков, Е. Д. Сеньковский, С. А. Абакумов, С. В. Фролов, О. Л. Кривонос, А. В. Руднев, О. Н. Апрельков, А. Б. Георгиевская

Представлены результаты экспериментальных исследований микроскопическим электронно-оптическим методом процесса выброса частиц со свободной поверхности ударно-нагруженных металлов (свинец, медь) и жидкости (вода, глицерин). Давление во фронте ударной волны в металлах изменялось в диапазоне от ≈ 10 до ≈ 32 ГПа, шероховатость поверхности металлических образцов – от Rz20 до Rz80. Давление во фронте ударной волны в жидкостях составляло $\approx 0,06$ ГПа. На поверхности жидкости возмущения не задавались. Выброс частиц происходил в воздух, вакуум и элегаз (SF_6).

В экспериментах с металлами зарегистрированы откольные разрушения, фронт ударной волны в воздухе, частицы «пыли» размером от 5 мкм. При ударно-волновом нагружении жидкости со свободной поверхности изначально выбрасываются тонкие (от 6 мкм) струи, которые со временем распадаются на капли. Получены распределения частиц по размерам и скорости отдельных частиц.

Ключевые слова: ударная волна, пыление, возмущения на свободной поверхности, струйный характер пыления, выброс частиц.

УДК 624.074.4:678.067

Взрывозащитные камеры для исследований гидродинамических процессов и взрывных технологий

М. А. Сырунин, В. А. Огородников

Одним из путей защиты окружающей среды от воздействия взрыва является его локализация в замкнутом

объеме взрывозащитной камеры или контейнера. Во взрывозащитной камере проводятся: исследования свойств веществ при высоких давлениях и температурах, испытания взрывчатых веществ и боеприпасов, эвакуация и уничтожение террористических устройств, безопасная перевозка и хранение объектов, содержащих взрывчатые вещества, они также применяются во взрывных технологиях, например, при сварке взрывом, и ряде других областей техники, связанных со взрывными процессами.

В рамках научного направления, созданного в РФЯЦ-ВНИИЭФ, разработаны и реализованы взрывозащитные камеры различных типов, с рабочими объемами от $\sim 10^{-3}$ до ~ 10 м³, способные герметично локализовать продукты взрыва зарядов от единиц грамм до десятков килограмм тротилового эквивалента.

Представлены научно-технические подходы к проектированию конструкций взрывозащитных камер, основанные на экспериментальных методах и численном моделировании, приведены примеры разработанных камер, используемых для исследования ряда гидродинамических процессов.

Ключевые слова: взрывчатые вещества (ВВ), поражающие факторы взрыва, взрывозащитная камера (контейнер), масштабный эффект, гидродинамические процессы, взрывные технологии.

УДК 539.4.222.2

Фазовые переходы в титане в ударных волнах в области давлений до 150 ГПа

В. А. Борисенок, М. В. Жерноклетов, А. Е. Ковалев, А. М. Подурец, В. Г. Симаков, М. И. Ткаченко

Проведены исследования фазовых превращений в титане ВТ1-0. Зарегистрированы профили ударной волны. Двумя методиками измерены скорости звука в ударно-сжатых образцах. При давлениях 20–40 и 60–90 ГПа на зависимости скорости звука от давления обнаружены изломы, первый из которых связан с $\alpha \rightarrow \omega$ превращением, а второй – с плавлением. Рентгеноструктурный анализ выявил наличие ω -фазы в образцах, сохраненных после нагружения в интервале от 9 до 23 ГПа. Зависимость выхода ω -фазы от давления нагружения имеет вид кривой с максимумом при $p \sim 15$ ГПа.

Ключевые слова: фазовые превращения, профиль ударной волны (УВ), ударное нагружение, взрывчатое вещество (ВВ), ПВДФ-датчик, манганиновый датчик, скорость звука, плавление титана.

Раздел 10. ИЗОТОПЫ ВОДОРОДА – ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ

УДК 544.18

Квантово-химический расчет взаимодействия молекул CO с поверхностью гидрида палладия

В. Ю. Королев, А. В. Стеньгач, А. А. Селезнев

Приведены результаты квантово-химических расчетов взаимодействия молекул монооксида углерода с поверхностью гидрида палладия. В ходе работы была определена структура покрытия и рассчитаны энергетические характеристики слоя монооксида углерода. Результаты расчетов позволяют предположить возможность ингибирования абсорбции водорода окисью углерода, осажденной на поверхность гидрида палладия.

Ключевые слова: монооксид углерода, адсорбция водорода на поверхности металлов, метод теории функционала плотности (DFT), энергия связи молекул, квантово-химический расчет.

УДК 62-9:546.11

Научно-экспериментальные комплексы для безопасного обращения с тритием и его соединениями в интересах фундаментальных и прикладных исследований (обзор)

А. А. Юхимчук, Ю. И. Виноградов, А. Н. Голубков, С. К. Гришечкин, А. М. Демин, Д. Л. Демин, В. В. Перевозчиков, А. М. Родин*, Г. М. Тер-Акопьян*, В. М. Харитонов*

**Объединенный институт ядерных исследований. Московская обл., г. Дубна, ул. Ж. Кюри, 6*

Приводятся основные результаты работ по созданию экспериментальной базы, позволяющей безопасно проводить фундаментальные и прикладные исследования с тритийсодержащими средами в условиях неспециализированных лабораторий. Обсуждаются технические характеристики комплексов оборудования и установок, методические подходы, обеспечившие проведение исследований: явления мюонного катализа ядерных реакций синтеза, свойств легких экзотических ядер на границе нейтронной стабильности; явления «сверхпроницаемости» трития через металлы V группы и проницаемости водорода через конструкционные материалы, в т. ч. содержащие радиогенный ³He; взаимодействия конструкционных материалов с изотопами водорода, включая тритий при давлениях до 300 МПа.

Ключевые слова: тритийсодержащие среды, методический подход, мюонный катализ ядерных реакций синтеза, свойства легких экзотических ядер на границе нейтронной стабильности, «сверхпроницаемость» изотопов водорода, проницаемость изотопов водорода, взаимодействие конструкционных материалов с изотопами водорода.

УДК 546.543.42

Изучение самоочистки реакционной системы в процессе СВС

А. А. Потехин, Д. А. Горькаев, А. Ю. Постников, А. И. Тарасова, А. Я. Малышев

Исследовано распределение неметаллических примесей – кислорода и азота – в образце гидрида титана, полученном методом СВС в разных установках. Показано, что наименьшее содержание контролируемых примесных элементов находится в центральной, более прогретой, части образца.

Исследован процесс самоочистки гидрида титана в процессе СВС. Предложен гипотетический механизм этого процесса и высказано предположение о влиянии величины удельной поверхности на степень самоочистки гидрида титана.

Ключевые слова: неметаллические примеси, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), механизм самоочистки, коэффициент самоочистки.

Раздел 11. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 54.063, 54.07

Применение сканирующей электронной микроскопии, сфокусированного ионного пучка и рентгеновского спектрального микроанализа для решения задач прикладного материаловедения (обзор)

В. В. Мокрушин, И. А. Царева, М. В. Царев, Е. В. Забавин, Р. М. Баикин

Рассмотрены некоторые примеры решения задач прикладного материаловедения с использованием методов электронной микроскопии, сфокусированного ионного пучка и рентгеновского спектрального микроанализа. Среди них исследование сплошности покрытий и однородности порошковых смесевых композиций на основе фрактальных представлений о структуре и химическом составе, контроль качества сварных соединений, калибровка размеров микрообъектов и изучение состояния микрокристаллов β -октогена после ударно-волновых и динамических воздействий. Показано, что современная электронная микроскопия, дополненная аналитическими опциями и средствами модификации поверхности, является весьма эффективным, а иногда и единственным надежным инструментом в прикладном материаловедении.

Ключевые слова: сплошность покрытий, порошковый материал, фрактал, кластер, гидридообразующие металлы, электронная микроскопия, сфокусированный ионный пучок, рентгеновский спектральный микроанализ, дефектоскопия сварных соединений, калибровка размеров объектов, ударно-волновое и динамическое нагружение.

Раздел 12. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ

УДК 381.3

Построение схемы динамического поиска структурированного блока данных в условиях неопределенности входной информации

*А. Н. Моксяков, А. П. Мартынов, И. Г. Машин, Д. Б. Николаев, А. В. Седаков**

**27 ЦНИИ МО РФ*

Рассматривается схема динамического поиска структурированного блока данных в условиях неопределенности входной информации, которая при опросе сопрягаемых внешних устройств сравнивает эмпирические показатели функционирования системы с эталонным значением, заложенным в блоке памяти, и с помощью управляющих сигналов адаптирует работу системы управления под эталон.

Ключевые слова: динамический поиск, структурный блок, неопределенность информации, идентификация, робастные системы, адаптивные системы, хэширование.

УДК 381.3

Разработка транслитерационного обратимого кодека для безопасной передачи информации по каналам связи общего пользования

Д. Б. Николаев, В. Г. Грибунин¹, С. Н. Колтаков², А. А. Скоробогатый², А. П. Мартынов

¹МОУ «Институт инженерной физики», г. Серпухов

²Генеральный штаб МО РФ

Рассмотрены вопросы построения транслитерационного обратимого кодека для безопасной передачи информации по каналам связи общего пользования. Предложен алгоритм транслитерации, реализуемый с использованием современных информационных технологий и не позволяющий осуществить раскрытие алгоритма и самой передаваемой информации.

Ключевые слова: транслитерационный кодек, канал связи, безопасная передача, «скрывающее» преобразование, кодирование, псевдотекст.

УДК 004.383

Программно-аппаратный комплекс для выполнения информационно-технического взаимодействия информационных систем

М. В. Одинцов, А. И. Астайкин, А. А. Рыжов, Е. Е. Терентьева, А. В. Точилин

Рассмотрены вопросы практической реализации информационно-технического взаимодействия информационных систем по магистральному последовательному интерфейсу с централизованным управлением. Реализованный программно-аппаратный комплекс выполняет функции контроллера канала интерфейса и осуществляет взаимодействие с различными вариантами подключения оконечных устройств интерфейса.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, информационно-логическое взаимодействие, интерфейс связи, алгоритм обмена, контроллер канала, сопрягаемая система.

УДК 621.39

Устройства преобразования помехоустойчивых блочных кодов

С. Н. Гончаров, А. П. Мартынов, А. А. Коцеев, В. Н. Фомченко

Представлены результаты анализа и схемотехнические решения кодирующих и декодирующих устройств неразделимых помехоустойчивых блочных кодов.

Ключевые слова: блочный код, кодирующее устройство, декодирующее устройство, помехоустойчивое кодирование, информация, формирователь кода, схема.

Раздел 13. РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ И НОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 666.22

Выбор режима и проведение искусственного старения пиротехнического состава на основе системы

KClO₄-Mo-B

М. В. Шумилин, Ю. В. Цапаева, В. Н. Лошкарев, Е. Ф. Медведев, А. Ю. Постников

Проведены выбор режима и искусственное старение пиротехнического состава на основе системы KClO₄-Mo-B. Этот пиротехнический состав был разработан для использования в тепловых батареях. Целью данной работы являлась оценка условий (температура и длительность) искусственного старения пиротехнического состава, которые эквивалентны сроку эксплуатации тепловой батареи в реальных условиях. Получены экспериментальные кривые зависимости изменения калорийности пиротехнического состава от времени нагревания при различных температурах. Методом «трансформации» проведена обработка полученных кривых. Определено значение кажущейся энергии активации процесса искусственного старения. Также рассчитано значение эквивалентной температуры.

Определены режимы (время и температура) и проведено искусственное старение пиротехнических нагревателей с пиротехническим составом с последующим определением изменения их тепловыделения (калорийности).

Ключевые слова: тепловые химические источники тока, тепловая батарея, искусственное старение, пиротехнический состав, пиротехнический нагреватель, калорийность, метод трансформации.

Раздел 14. ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 541.126

Влияние площади сдвига на вероятность взрыва взрывчатых веществ при ударном сдвиге

Н. А. Билык, А. Л. Михайлов, В. П. Ханин, А. С. Михайлов

Показана зависимость давления прижатия, приводящего к взрыву при ударном сдвиге, от площади сдвига (площади контакта взрывчатого вещества (ВВ) с металлической поверхностью). Экспериментально подтверждена зависимость вероятности взрыва ВВ (флегматизированный октоген, тэн), сжатого между двумя стальными плоскостями (торцами двух роликов), от давления прижатия и площади контакта ВВ с верхним роликом в испытаниях на чувствительность к трению при ударном сдвиге. Сдвиг верхнего ролика осуществлялся на 1,5 мм. Показано, что увеличение площади контакта ВВ с роликом при прижатии ВВ приводит к увеличению вероятности взрыва ВВ при сдвиге верхнего ролика при одних и тех же давлениях прижатия ВВ. Установлен масштабный фактор влияния площади контакта ВВ с поверхностью ролика на давление, при котором происходит взрыв ВВ при ударном сдвиге смежной с ВВ поверхности. Статистическими методами показано, что давление, приводящее к взрыву ВВ при ударном сдвиге смежной стальной поверхности относительно ВВ, распределено по двухпараметрическому закону Вейбулла.

Ключевые слова: взрывчатое вещество (ВВ), прочностные характеристики, площадь сдвига, ударный сдвиг, площадь контакта, закон Вейбулла.