

ФГУП

ISSN 0234-0763

«РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР – ВНИИЭФ»

---

# ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

---

СЕРИЯ:

**Теоретическая и прикладная  
физика**

**ВЫПУСК 2**

**2021**

Ф Г У П

«РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР – ВНИИЭФ»

# ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

СЕРИЯ:

**Теоретическая и прикладная  
физика**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ВЫПУСК 2

Издается с 1984 г.

Саров – 2021

## Уважаемые читатели!

Редакционная коллегия сочла полезным опубликование списка рефератов статей, выпущенных в сборнике ВАНТ серии Теоретическая и прикладная физика начиная с 1984 года. Эта серия была организована по инициативе академика РАН Ю. А. Трутнева, главного редактора серии со дня основания и до сих пор.

Перед сборником была поставлена цель повышения научной квалификации сотрудников (в первую очередь ВНИИЭФ и ВНИИТФ) в результате публикации открытых научных работ. Можно считать, что эта цель уже выполнена.

В сборнике опубликовано около 800 статей по широкому кругу вопросов, по атомной науке и технике. Среди наиболее активных авторов необходимо отметить М. В. Горбатенко, А. В. Пушкина, В. Н. Пискунова, В. П. Незнамова, Н. Б. Бабичева, С. А. Холина, В. А. Симоненко, К. Ф. Гребенкина, Ю. С. Вахромеева, А. А. Садового, С. Ф. Гаранина, В. Е. Маршалкина. Опубликованные материалы использовались в кандидатских и докторских диссертациях.

Надеемся на дальнейшую публикационную активность.

Редакционная коллегия

Главный редактор Ю. А. Трутнев

Редакционная коллегия:

В. А. Жмайло, П. А. Лобода, Н. В. Лычагина –  
ответственный секретарь, Б. А. Надыкто – зам. главного редактора, А. В. Певницкий,  
В. А. Симоненко, В. П. Соловьев, С. А. Холин, А. К. Чернышев

## Теоретическая и прикладная физика. 2005. Вып. 1-2

УДК 537.534.7

### Потери энергии ионов в простых веществах. I. Быстрые ионы

*Д. К. Ковшов*

Предложена функция для аппроксимации электронных потерь энергии иона. Найдены средние энергии ионизации простых веществ от  $H_2$  до  $U$ .

УДК 537.534.7

### Потери энергии ионов в простых веществах. II. Ионы промежуточных энергий

*Д. К. Ковшов*

Найден нижний предел применимости формулы Бете. Исследованы положение и величина максимума потерь энергии.

УДК 519.6

### Прямое трехмерное численное моделирование сдвигово-гравитационного турбулентного перемешивания

*О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

С помощью 3D кода ТРЭК исследуется развитие в поле тяжести турбулентности на плоской границе раздела двух несжимаемых жидкостей (газов) с разноплотностью  $n = 3$  с начальным сдвигом скорости на этой границе. Рассматривается случай, когда ускорение имеет знак, соответствующий устойчивой стратификации. Результаты расчетов сравниваются с расчетами по феноменологической модели.

УДК 532.517.4

### Развитие неустойчивости Рихтмайера–Мешкова и турбулентное перемешивание в плоской трехслойной газовой системе

*А. Н. Разин*

Проведено численное моделирование турбулентного перемешивания, возникающего в плоской трехслойной газовой системе при неустойчивости Рихтмайера–Мешкова. Для ана-

лиза развития неустойчивости на контактных границах используются две теоретические модели, расчет турбулентного перемешивания выполняется по модели В. В. Никифорова. Достоверность результатов численного моделирования подтверждается экспериментальными данными.

УДК 624.131

### **Ударные адиабаты пористых алюминия, титана, меди и вольфрама и адиабаты Пуассона пористых меди и вольфрама в области неполного закрытия пор. Термодинамическая модель и эксперимент**

*А. И. Воронинов, Л. А. Илькаева, М. А. Подурец, Г. В. Симаков, Р. Ф. Трунин*

Выполнено сравнение эксперимента с расчетами по термодинамической модели пористого тела. Особое внимание уделено области низких давлений, где поры еще не полностью закрыты. Приведены экспериментальные данные по ударной сжимаемости алюминия, титана, меди и вольфрама и, что особенно важно, по адиабатам Пуассона разгрузок из состояний на ударных адиабатах для меди и вольфрама. Выявлена область применимости модели. Это низкие давления, меньше давления компактирования, при котором поры исчезают. Причем, вблизи самого компактирования наблюдается некоторое расхождение между расчетом и экспериментом.

УДК 532.4

### **Модель уравнения состояния с переменной теплоемкостью ядер и электронов с учетом температуры Дебая. Уравнения состояния бериллия и алюминия**

*Д. Г. Гордеев, Л. Ф. Гударенко, В. Г. Куделькин*

В рамках феноменологической термодинамики получена структура модели для разработки УРС металлов, предназначенных для использования в массовых производственных расчетах. Модель позволяет проводить нормировку на состояние металла при нормальных условиях. При низких температурах теплоемкость меняется в соответствии с теорией Дебая. Учитывается снятие вырождения электронного газа при температурах выше температуры Ферми. Модель содержит относительно небольшое число свободных параметров, большинство из которых имеет физический смысл. Возможности модели, область ее применимости продемонстрированы на примере разработки УРС Be и Al.

УДК 531.51

### **Уравнения конформно-инвариантной геометродинамики**

*М. В. Горбатенко, Ю. А. Романов*

Представлены идеи, на основе которых получаются уравнения, являющиеся простейшей формой конформно-инвариантного обобщения уравнений Эйнштейна. Рассмотрение относится к трем основным этапам формирования идей в этом направлении (1968 г., 1984 г. и 1996 г.); обсуждается также связь полученных уравнений с другими исследованиями.

УДК 531.51

### **Учет молекулярной вязкости при прямом 3D численном моделировании гравитационного турбулентного перемешивания**

*А. Л. Стадник, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

С помощью газодинамической 3D методики ТРЭК исследуется влияние молекулярной вязкости на развитие гравитационного турбулентного перемешивания на плоской границе раздела двух несжимаемых жидкостей (газов). Результаты расчетов сравниваются с данными расчетов без вязкости и соответствующими известными экспериментальными данными.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2005. Вып. 3**

УДК 537.534.7

### **Потери энергии ионов в простых веществах. III. Медленные ионы**

*Д. К. Ковшов*

Получена формула для коэффициента торможения медленного иона. Показано, что изотопические эффекты в электронных потерях энергии пренебрежимы при всех энергиях. Для полуэмпирической формулы потерь энергии установлена область адекватности и определена погрешность, которая составляет 2,4 %.

УДК 539.186

### **Новый метод расчета ширины автоионизационных состояний при рассеянии электронов на многоэлектронных ионах**

*А. А. Садовой, А. С. Ульянов*

С использованием формализма функции Грина дан вывод интегрального уравнения Шредингера, описывающего рассеяние электронов на многоэлектронных ионах. С использованием «диагонализационного» приближения в квадратичном по взаимодействию приближении получено аналитическое выражение для резонансной части амплитуды рассеяния. На основе ее анализа получено аналитическое выражение для ширины автоионизационных состояний. Развита техника расчета многоэлектронных матричных элементов с включенными волновыми функциями непрерывного спектра рассеиваемого электрона, входящих в аналитические формулы для ширины и смещения резонанса. Аналитически исследована роль обменных эффектов при рассеянии электронов на многоэлектронных ионах, для чего волновые функции компаунд-состояния рассчитывались методом многомерных угловых кулоновских функций, обеспечивающим высокое качество волновой функции.

Представлены в качестве примера развитого формализма результаты численных расчетов ширины резонанса в рассеянии электрона на водородоподобном ионе гелия.

УДК 533.9

## **Теория нелинейных ионно-звуковых волн в плазме с учетом инерции электронов**

*И. Д. Дубинова*

Приведено полное аналитическое решение методом псевдопотенциала задачи о структуре нелинейной ионно-звуковой волны в плазме с учетом инерции электронов. Получено, что уединенная волна может иметь скорость от 1 до 1,58 скоростей линейного ионного звука.

УДК 532.4

## **Полуэмпирическая модель уравнения состояния металлов РОСА-М. Уравнение состояния алюминия**

*Д. Г. Гордеев, Л. Ф. Гударенко, М. В. Жерноклетов, В. Г. Куделькин, М. А. Мочалов*

В рамках феноменологической термодинамики получена модель, которая позволяет разрабатывать УРС, описывающие термодинамические свойства металлов в экспериментально исследованной области. Благодаря предельным переходам, следующим из расчетов по теоретическим УРС, она обладает хорошими аппроксимационными свойствами, что позволяет проводить расчет термодинамических свойств и в окрестности экспериментально исследованной области. Модель предусматривает нормировку на состояние металла при нормальных условиях. Возможности модели, область ее применимости продемонстрированы на примере разработки УРС Al. Представлены результаты сравнения расчетов различных изолиний по УРС с экспериментальными данными и расчетами по другим моделям. В работе представлены новые экспериментальные данные о положении изэнтропы алюминия при разгрузке из состояния  $P = 229$  ГПа на ударной адиабате в аэрогель ( $\text{SiO}_2$ ) плотностью  $0,08$  г/см<sup>3</sup>.

УДК 519.6

## **Уточнение констант модели турбулентности на основе результатов прямого численного моделирования простейших турбулентных течений и измерений**

*А. Р. Гужова, А. С. Павлунин, В. П. Стаценко*

Приводятся результаты расчета с помощью модели турбулентности автомодельных режимов простейших турбулентных течений. Оптимизация эмпирических коэффициентов модели производится с помощью предложенных авторами приближенных аналитических решений. Результаты расчетов по модели сравниваются с результатами проведенного ранее прямого 3D численного моделирования и известными экспериментальными данными.

УДК 539.1.01; 514.83

## **Квантовополевая интерпретация конформной геометродинамики**

*М. В. Горбатенко*

Предлагается метод описания решений уравнений конформной геометродинамики в терминах биспиноров, удовлетворяющих уравнениям Дирака. Метод основан на использо-

вании предложенного ранее алгоритма отображения тензорных величин на биспиноры. Биспинорная матрица, на которую отображаются вектор Вейля и лямбда-член, может описывать различные состояния частиц со спином  $1/2$  в зависимости от используемой системы проекторов и возникающей при этом симметрии калибровочных полей. В простейшем случае ситуация сводится к стандартной для квантовой электродинамики – заряженной частице со спином  $1/2$  во внешнем поле. Общие соотношения иллюстрируются на примере двух точных решений анзацевого типа.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2006. Вып. 1**

УДК 533.9

### **Метод псевдопотенциала в теории нелинейных волн в плазме: точный анализ в трех примерах**

*А. Е. Дубинов, И. Д. Дубинова*

В работе продемонстрирована универсальность и эффективность метода псевдопотенциала (метода механической аналогии) для анализа нелинейных волн в плазме и показаны возможности новой специальной функции –  $W$ -функции Ламберта при решении сложных трансцендентных уравнений, ранее считавшихся не решаемыми аналитически. Это позволило впервые получить точные выражения для характеристик нелинейных волн в плазме: диапазон чисел Маха для уединенной ионно-звуковой волны, амплитуды колебаний стоячей ТЕМ-волны в плазме со стрикционной нелинейностью, размаха асимметричных нелинейных электронных колебаний в изотропной плазме.

УДК 681.324

### **Метод расчета коэффициентов диффузии водорода в металлах**

*И. А. Давыдов, В. Н. Пискунов, С. В. Копкин*

Разработан метод расчета коэффициента диффузии газов в металлах, основанный на совместном использовании молекулярно-динамического и квантово-химического подходов. Приведены результаты расчетов коэффициента диффузии водорода в палладию.

УДК 539.1.01

### **О возможности объяснения «The pioneer anomaly» в рамках конформной геометродинамики**

*М. В. Горбатенко*

Методом Эйнштейна–Инфельда–Гоффмана решается задача о движении двух тел, когда уравнения общей теории относительности имеют обобщенный вид – они приведены к виду, инвариантному относительно конформных преобразований. Доказано, что в определенной пространственно-временной области на движение тел могут оказывать влияние не только метрические степени свободы, но и производные от вектора  $A_\alpha$ , появляющегося в обобщенных уравнениях. Этим влиянием может быть объяснено зафиксированное недавно аномальное



ускорение космических аппаратов «Pioneer-10», «Pioneer-11». Воздействие вектора  $A_\alpha$  на движение тел интерпретируется как следствие наличия у геометродинамической сплошной среды вязкости.

УДК 524.822, 827, 854; 521.933, 934; 530.12

### **Космологическое красное смещение как следствие уменьшения продолжительности временного интервала в расширяющейся вселенной**

***В. В. Попов***

Предложена модель Вселенной с уменьшающейся по мере возрастания космического времени  $t$  продолжительностью временного интервала  $\Delta t$ , взятых по атомным часам, с нелинейностью шкалы  $t$  относительно фиксированного  $\Delta t$ . Введена линейная временная шкала, связанная с продолжительностью эфемеридного года, на которой величины  $\Delta t$  и др. нелинейны. Получена их зависимость от  $n$ , от числа оборотов Земли вокруг Солнца. Показано, что проявление эффекта космологического красного смещения связано с нелинейностью временной шкалы  $t$ , но не с доплеровским эффектом. Получена зависимость Хаббла для величины  $z$  – параметра космологического красного смещения, по известной величине  $z$  для реликтового излучения оценен возраст Вселенной в линейной шкале:  $n \sim 5,85 \cdot 10^8$  числа оборотов Земли вокруг Солнца (возраст Солнечной системы:  $n \sim 2,0 \cdot 10^8$  числа оборотов).

УДК 536.71

### **Влияние параметра Цаллиса на высокотемпературное уравнение состояния Томаса–Ферми**

***А. Ю. Мадьянов, С. А. Холин***

В высокотемпературной модели Томаса–Ферми вместо функции распределения Ферми–Дирака используется функция распределения Цаллиса. Рассмотрено изменение давления, внутренней энергии и показателя адиабаты углерода и золота при температурах 50, 100, 200, 300 эВ, характерных для проблем инерционного термоядерного синтеза.

УДК 533.92

### **Статистика Цаллиса и скорости термоядерных реакций**

***А. И. Артемов, А. Ю. Мадьянов, С. А. Холин***

Проанализировано влияние замены функции распределения Максвелла на функцию распределения Цаллиса при вычислении скорости термоядерных реакций (DD и TD) для различных значений параметра Цаллиса.

УДК 539.1.01; 514.83

### **Движение спиновых частиц в Ото, согласованное с решением Керра**

***М. В. Горбатенко, Т. М. Горбатенко***

Приводятся уравнения, определяющие в постньютоновском приближении эволюцию спинов частиц в задаче о движении двух частиц, обладающих массами и спинами. Уравне-

ния получены методом Эйнштейна–Инфельда–Гоффманна из условия симметричности метрического тензора. Рассмотрение проведено с использованием условия гармоничности координат и совпадения метрики вблизи от частиц с разложениями решения Керра, записанного в гармонических координатах. Полученные уравнения дают, например, для гироскопов на спутнике Gravity Probe B отклонение оси вращения, во-первых, в 2 раза меньшее того значения, которое получил J. L. Anderson в работе gr-qc/0511093, а во-вторых, отклонение имеет противоположное направление. Из полученных уравнений следует, что полный угловой момент системы спиновых частиц, вообще говоря, не сохраняется, начиная уже с постньютоновского приближения. Результаты кратко обсуждаются.

## Теоретическая и прикладная физика. 2007. Вып. 1

УДК 539.184

### О гибридизации состояний электронов с одинаковым значением главного квантового числа в свободных атомах

*Б. А. Надыкто, О. Б. Надыкто*

В работе приводится расчет энергии гибридизованных состояний электронов с одинаковым значением главного квантового числа. Такими состояниями являются основные состояния бороподобных и углеродоподобных ионов, а также ряд возбужденных состояний Ве-, В-, С-, N-подобных и других ионов. Получено хорошее описание энергии состояний таких ионов, в том числе для ионов с большим значением заряда ядра  $Z$ . Расчет дает правильное описание тонкого расщепления энергии таких состояний с различным полным моментом  $J$ . Получены значения энергий основного состояния H-, He-, Li-, Be-, B-, C-подобных ионов с зарядом ядра до  $Z = 100$  и возбужденных состояний  $1s^2 2s 2p \ ^S P_J$  Ве-подобных ионов и  $1s^2 2s 2p^2 \ ^{2,4} P_J$  В-подобных ионов с зарядом ядра до  $Z = 50$ .

УДК 539.184

### Расчет энергии возбужденных $1s^2 2s 2p(^3P)nl$ состояний бороподобных ионов

*Б. А. Надыкто, О. Б. Надыкто*

Получены эмпирические параметры, необходимые для описания энергии различных возбужденных  $1s^2 2s 2p(^3P)nl$  состояний бороподобных ионов. Рассчитаны значения энергии  $1s^2 2s 2p(^3P)nl \ ^{4,2} L_J$  ( $l = 0 - 2$ ,  $L = 0 - 3$ ) для бороподобных ионов с  $Z = 5 - 50$  и  $n = 3 - 7$ . Приведенное сравнение рассчитанных значений энергии с экспериментальными данными показывает, что расчеты достаточно хорошо описывают эксперимент.

УДК 539.184

### Расчет энергии возбужденных $1s^2 2s 2p(^4P)nl$ состояний углеродоподобных ионов

*Б. А. Надыкто, О. Б. Надыкто*

Получены эмпирические параметры, необходимые для описания энергии различных возбужденных  $1s^2 2s 2p(^4P)nl$  состояний углеродоподобных ионов. Рассчитаны значения

энергии  $1s^2 2s 2p^2 ({}^4P)nl {}^S L_J$  ( $l = 0 - 2, L = 0 - 3$ ) для углеродоподобных ионов с  $Z = 6 - 50$  и  $n = 3 - 7$ . Приведенное сравнение рассчитанных значений энергии с экспериментальными данными показывает, что расчеты достаточно хорошо описывают эксперимент.

УДК 539.1.01; 514.83

## **О возможности нахождения угла электрослабого смешивания методами теории матричных пространств**

*М. В. Горбатенко*

В стандартной модели электрослабых взаимодействий используется ряд феноменологических параметров, которые не выводятся из первых принципов, а подбираются по экспериментальным данным. Одним из таких параметров является квадрат синуса угла электрослабого смешивания. В данной работе предлагается способ нахождения численного значения этого параметра методами теории матричных пространств, т. е. теории, в которой свойства внутренних степеней свободы определяются матрицами Дирака. Формулировка стандартной модели электрослабых взаимодействий в терминах теории матричных пространств приводит к появлению такого механизма смешивания токов, которого нет в стандартной модели. Механизм связан с необходимостью выполнения в теории матричных пространств процедуры усреднения по пространству собственных значений поляризационной матрицы плотности. В результате оказывается возможным найти численное значение квадрата синуса угла электрослабого смешивания, согласующееся с экспериментальным значением. Этот и другие результаты обсуждаются.

УДК 551.510.535

## **Описание эффекта ухода фотоэлектронов из области ядерного взрыва в ионосфере**

*В. А. Жмайло, И. В. Попов*

Приведено качественное аналитическое описание эффекта ухода фотоэлектронов из области ядерного взрыва в ионосфере. Предпринимается попытка ответить на общие вопросы: каковы условия ухода фотоэлектронов; как зависит доля уходящих фотоэлектронов от параметров задачи (высота, мощность взрыва, проводимость ионосферы). Для численного расчета характеристики источника излучения задавались соответствующими американскому ядерному взрыву «Starfish».

УДК 532.517.4 + 519.63

## **Развитие методик и программ расчета турбулентных течений с использованием модели**

**В. В. Никифорова**

*А. Н. Разин, Г. В. Долголева, С. В. Мжачих, А. А. Рожков, Е. В. Шапоренко, В. Ф. Юдинцев*

В начале 70-х годов прошлого столетия сотрудниками теоретического и математического отделений ВНИИЭФ были начаты работы по разработке методик и программ для моделирования одномерных течений с учетом турбулентного перемешивания. Среди предложенных моделей наибольшее развитие получила полуэмпирическая модель турбулентного переме-

шивания В. В. Никифорова. К настоящему времени в ИТМФ на основе модели В. В. Никифорова разработано несколько пакетов программ для расчета турбулентных течений в одномерном и двумерном приближении. В предлагаемой работе дается краткий обзор методик и программ, разработанных на основе моделей турбулентного перемешивания В. В. Никифорова.

УДК 532.517.4

### **Исследование развития турбулентного перемешивания и возмущений в газах с повышенной сжимаемостью при числах Маха ударной волны от 2 до 9**

*Н. В. Невмержицкий, А. Н. Разин, Е. А. Сотсков, Е. Д. Сеньковский, О. Л. Кривonos  
Л. В. Точилина, В. И. Дудин, А. А. Никулин, В. А. Устищенко*

Представлены результаты экспериментов по исследованию турбулентного перемешивания, развивающегося из неустойчивости Рихтмайера – Мешкова на контактных границах газов с различной плотностью. Эксперименты проводились на ударной трубе с внутренним сечением канала 40 x 40 мм. Ударная волна формировалась в результате детонации газовой взрывчатой смеси ацетилена и кислорода. В качестве рабочих газов, разделенных первоначально тонкой лавсановой пленкой, слева и справа от контактной границы использовались: воздух (Air)–элегаз (SF<sub>6</sub>), гелий–SF<sub>6</sub>, Air–гелий, Air–CO<sub>2</sub>. Эксперименты выполнены для трех конфигураций поверхности контактной границы: плоской, со ступенькой и с треугольным возмущением. Число Маха ударной волны варьировалось в диапазоне  $1,6 < M < 9$ . Получено, что с увеличением числа Маха падающей на контактную границу ударной волны ширина зоны перемешивания увеличивается, а время жизни крупномасштабных возмущений, формирующихся в изломах контактной границы, уменьшается. В SF<sub>6</sub> при  $M \sim 9$  происходит искривление фронта ударной волны, что связано с интенсивным взаимодействием вихрей с фронтом ударной волны.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2007. Вып. 2-3**

УДК 519.6

### **Численное исследование развития турбулентного перемешивания на контактной границе воздух-SF<sub>6</sub> при распространении ударной волны с большими числами Маха**

*О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

Анализируются данные выполненных по методикам ЭГАК и ТРЭК расчетов турбулентного перемешивания, возникающего на контактной границе воздух-SF<sub>6</sub> при взаимодействии с распространяющейся в ударной трубе волной с большими числами Маха ( $Ma_{ув} > 5$ ). Расчеты проводились с помощью  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности, так и прямого (без использования каких-либо моделей турбулентности) 2D и 3D численного моделирования. Выполнена статистическая обработка результатов расчетов для определения корреляционных моментов и спектров пульсаций. Результаты расчетов сопоставляются с известными экспериментальными данными.

**Численное исследование двумерной аксиально-симметричной негидродинамической модели плазменного фокуса**

*Е. С. Гальперн, В. С. Имшенник, В. Н. Ляховицкий*

Описан и применен к конкретной физической задаче численный метод решения очень «неудобной» и сложной системы интегродифференциальных уравнений. Эта система уравнений (так называемая гибридная модель) полностью ионизованной электронно-ионной плазмы в самосогласованном квазистационарном электромагнитном поле выведена для последней стадии динамики Z-пинча – стадии плазменного фокуса. Ионная компонента описывается бесстолкновительным уравнением Власова, электронная компонента – уравнениями магнитной гидродинамики с учетом конечной проводимости, постулировано условие квазинейтральности, в электромагнитном поле пренебрегается током смещения.

**Степень гомогенного смешения по результатам 3D численных расчетов гравитационного турбулентного перемешивания**

*В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин, О. Г. Синькова, А. Л. Стадник*

Анализируются данные проведенных по методике ТРЭК расчетов гравитационного турбулентного перемешивания несжимаемых жидкостей для числа Атвуда  $A_t = 0,5$ . Устанавливается связь метода расчета и статистической обработки его результатов со степенью гомогенности перемешивания. Выявляется роль молекулярной вязкости. Результаты расчетов сопоставляются с данными опытов.

**Теоретические и численные модели кинетики формирования частиц в системах с двухкомпонентной дисперсной средой**

*А. М. Петров*

Разработана численная модель кинетики формирования жидких капель и твердых частиц в многофазных дисперсных системах. Основой модели являются кинетические уравнения, описывающие совместное действие процессов коагуляции и конденсации в двухкомпонентной дисперсной среде, состоящей из смеси жидких и твердых частиц. Наряду с уравнениями кинетики модель включает в себя уравнения массового и теплового баланса, учитывает разницу в давлении насыщенного пара и скоростях конденсации над водой и льдом, использует реальные скорости процессов конденсации и коагуляции, принимает во внимание процессы спонтанного промерзания капель, описывает динамику фазового перехода.

**Исследование механизмов локализации пластической деформации при неоднородных условиях ударно-волнового нагружения***В. А. Огородников, Е. В. Кулаков, С. В. Ерунов, А. А. Садовой, С. С. Соколов, О. А. Горбенко*

Приведены новые результаты по экспериментальному исследованию особенностей механизмов образования локализованной пластической деформации в меди и ряде марок стали в условиях двух- и трехмерного напряженного состояния, реализующихся при нагружении образцов с выступами ударниками или шаров взрывом слоя взрывчатого вещества, в диапазоне давлений от 4 до 40 ГПа и скоростей деформации от  $10^3$  до  $10^5$  с<sup>-1</sup>. Показано, что полученные результаты могут быть использованы для тестирования неоднородных программ счета.

УДК 533.9.01.

**Об аномальном поглощении световых потоков плотной плазмой***С. Л. Гинзбург, В. Ф. Дьяченко, В. С. Имшенник, В. В. Палейчик*

В экспериментах с мощным лазерным излучением наблюдается интенсивное поглощение плазмой энергии электромагнитной волны, падающей на ее поверхность, даже если концентрация электронов плазмы превосходит критическую; для данной частоты волны  $\omega$  значение  $n_{кр} = m\omega^2/4\pi e^2$ . Ранее было показано, что одной из причин поглощения может быть неоднородность плазмы. Настоящая работа посвящена описанию результатов численного решения задачи о проникновении излучения в плазму и является продолжением более ранней работы. Двумерная компьютерная модель взаимодействия плотной плазмы с электромагнитным полем в рамках уравнений Максвелла–Власова применена для расчета коэффициента поглощения плазмой энергии падающего потока при различных конфигурациях границы вакуум–плазма. Рассматриваются некоторые простые случаи, когда неоднородность плазмы порождается гофрированностью ее поверхности.

УДК 539.18

**Новый метод расчета свойств гелиеподобных ионов трансурановых элементов***А. А. Садовой, А. С. Ульянов*

Проведено релятивистское обобщение известного метода многомерных угловых кулоновских функций. Построены двухкомпонентные многомерные угловые функции, по которым раскладывается многоэлектронная волновая функция многочастичного уравнения Дирака. Для амплитуд разложения получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, коэффициенты которой выражаются через матричные элементы различных операторов, входящих в уравнение Дирака. Произведен расчет энергии связи гелиеподобных ионов нескольких трансурановых элементов. Построены волновые функции основного и возбужденных состояний гелиеподобного иона урана. В результате исследования впервые разработан метод, позволяющий учитывать многочастичные эффекты при расчете свойств релятивистских многоэлектронных систем, описываемых многочастичным уравнением Дирака.

**Необходимое и достаточное условия для перехода от представления Дирака к представлению Фолди–Ваутхайзена***В. П. Незнамов*

Сформулированы и доказаны необходимые и достаточные условия для перехода от представления Дирака к представлению Фолди–Ваутхайзена. Необходимым условием искомого перехода является диагонализация дираковского гамильтониана относительно верхних и нижних компонент биспинорной волновой функции  $\psi_D(x)$ . Достаточным условием перехода к представлению Фолди–Ваутхайзена в случае статических внешних бозонных полей является преобразование биспинорных компонент волновой функции с занулением ее нижних компонент для положительно частотных решений уравнения Дирака и верхних компонент для отрицательно частотных решений уравнения Дирака. При этом нормировочные операторы для этих решений при преобразовании Фолди–Ваутхайзена становятся равными единице. Доказательство условия достаточности осуществляется с помощью точного преобразования Ериксона и подтверждается многочисленными примерами, известными авторам по литературе.

**Теоретическая и прикладная физика. 2008. Вып. 1**

УДК 532.517.4+519.63

**Обзор современных методик расчета турбулентного перемешивания***А. Н. Разин, Ю. А. Трутнев*

Дается краткая характеристика современных численных методик и методов расчета турбулентного перемешивания, которые используются как для описания модельных опытов, так и для решения конкретных практических задач. Отмечаются ключевые моменты, которые необходимо учитывать при обосновании результатов численного моделирования турбулентных течений, развивающихся из неустойчивости Рихтмайера–Мешкова, а также при разработке новых физических моделей и численных методик.

УДК 532.517.4+519.63

**Некоторые результаты моделирования турбулентного перемешивания в одномерных течениях, полученные по современным методикам расчета***А. Н. Разин, Ю. А. Трутнев, Е. В. Шапоренко*

Обсуждаются результаты численного моделирования одномерных течений с учетом турбулентного перемешивания. Класс рассмотренных течений ограничен задачами, в которых турбулентность развивается в газовых системах под действием ударных волн. Описывается постановка известных опытов, при проведении которых получены наиболее информативные экспериментальные данные. Приводятся результаты численного моделирования выбранных опытов.

УДК 539.1.01; 514.83

## **Конформно-инвариантный подход к оценке соотношений между физическими величинами**

*М. В. Горбатенко, Г. Г. Кочемасов*

Приводится и анализируется базирующийся на конформной геометродинамике (КГД) подход А. В. Пушкина к вычислению количественных соотношений между физическими величинами. В простейших случаях стационарных решений уравнений КГД подход основан на выделении из решений внутренней и внешней (относительно некоторой границы) частей и использовании инверсных преобразований, преобразующих эти части друг в друга. Для квазистационарных (метастабильных) состояний показана возможность невозмущенческого расчета их времен жизни. Подход иллюстрируется несколькими примерами. В частности, показывается, что «гипотеза больших чисел» Дирака является одним из следствий подхода. Приведена также оценка радиационного времени жизни первого возбужденного уровня  $2p$  атома водорода и времени жизни нейтрона.

УДК 539.1.01; 514.83

## **Конформная геометродинамика: точные нестационарные сферически-симметричные решения**

*М. В. Горбатенко*

Рассмотрена нестационарная сферически-симметричная задача для уравнений конформной геометродинамики и получены общие точные решения в квадратурах. Подключение вейлевских степеней свободы позволяет рассматривать задачу при произвольных начальных данных, поскольку для уравнений конформной геометродинамики задача Коши ставится без связей на начальные данные. В явном виде выписаны два точных нестационарных частных решения. Результаты данной работы не ограничены рамками теории возмущений и открывают новые возможности для исследования процесса эволюции пространственно-временных сингулярностей во времени.

УДК 537.534.7

## **Потери энергии ионов в простых веществах. IV. Сравнительная роль различных эффектов в области максимума потерь**

*Д. К. Ковшов*

На основе полуэмпирической формулы потерь энергии иона рассматриваются четыре поправки к формуле Бете в области  $10^2$ – $10^4$  кэВ/а.е.м. Для легких ионов преобладают оболочечные поправки, за исключением легких веществ. Для тяжелых ионов, вопреки мнению Зигмунда и Шиннера, существенную роль играет эффективный заряд. Поправка Баркаша не превышает погрешности полуэмпирической формулы.

УДК 537.534.7

## **Потери энергии ионов в простых веществах. V. Периодичность**

*Д. К. Ковшов*

На основе полуэмпирической формулы потерь энергии иона исследована периодичность потерь по атомному номеру вещества  $Z_0$  и иона  $Z$ . Предложена качественная теория,



---

связывающая периодичность по  $Z_0$  с электронным строением тормозящего вещества и соотношением орбитальных скоростей электронов разных подболочек. Периодичность по  $Z$  отчасти согласуется с теорией Бриггса – Патака.

УДК 539.17

### **Теория подобия в рамках односкоростной нейтронной кинетики квазистационарных систем**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

Изучены подобные с точки зрения нейтронной кинетики конечные по размерам квазистационарные системы с произвольной геометрией. Целью этой работы является поиск подобных систем на основе анализа кинетического уравнения для нейтронов. Получены формулы подобия для некоторых классов квазистационарных систем.

УДК 539.12.17

### **Использование приближения эффективного коэффициента диффузии для описания проницаемости водорода через среду с ловушками в различных режимах транспорта**

*А. А. Писарев, И. В. Цветков, С. С. Ярко*

Рассмотрена применимость использования эффективного коэффициента диффузии для описания транспорта водорода через перегородки с дефектами. Рассмотрены перегородки, проникновение через которые при отсутствии дефектов лимитировано либо диффузией, либо поверхностью, либо происходит в промежуточном режиме. Проанализированы особенности интерпретации экспериментальных данных.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2008. Вып. 2**

УДК 532.517.4+519.63

### **Взаимодействие ударной волны с наклонной контактной границей**

*А. Н. Разин*

Получено решение задачи о взаимодействии плоской ударной волны с наклонной контактной границей, разделяющей два разноплотных газа. Рассмотрено прохождение ударной волны через контактную границу как со стороны легкого, так и со стороны тяжелого газов. Для двумерных газодинамических методик предлагаются задачи для отработки методических вопросов взаимодействия ударной волны, движущейся по скошенной сетке, с контактной границей.

## **Исследование развития турбулентного перемешивания в трехслойных газовых системах с наклонной контактной границей**

*Н. В. Невмержицкий, А. Н. Разин, Е. Д. Сеньковский, В. И. Дудин, Е. А. Сотсков, А. А. Никулин, Л. В. Точилина, О. Л. Кривонос*

Приведены результаты экспериментальных исследований развития турбулентного перемешивания, возникающего на контактных границах трехслойных газовых систем после прохождения стационарной ударной волны. Эксперименты выполнены на воздушной ударной трубе с сечением канала 120×40 мм, число Маха падающей на контактную границу ударной волны  $M \sim 1,3$ . Характер развития турбулентного перемешивания изучался на границах систем: Air – He – SF<sub>6</sub>, Air – SF<sub>6</sub> – Air и Air – SF<sub>6</sub> – He. В каждой серии опытов одна из контактных границ располагалась параллельно фронту падающей ударной волны, вторая – под определенным углом к фронту. Такая геометрия опытов обеспечивала развитие турбулентного перемешивания в двумерном течении.

Получены новые экспериментальные данные о характере развития турбулентного перемешивания в двумерных течениях, которые полезны для понимания физики процесса, верификации физических моделей и численных методик расчета турбулентного перемешивания, дан краткий теоретический анализ возникающего течения.

УДК 539.17

## **Элементы теории подобия нестационарных однородных систем в односкоростной нейтронной кинетике**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, А. А. Севастьянов*

Доказано свойство универсальности (независимости от ядерно-физических характеристик среды) нестационарных решений односкоростного уравнения переноса нейтронов в однородных системах. На этой основе получены формулы подобия для собственных функций. Совокупность материалов этой работы представляет собой один из разделов теории подобия в нейтронной кинетике.

УДК 539.17

## **Особенности односкоростной кинетики нейтронов в оптически толстых однородных системах и решение квазистационарного варианта задачи Милна**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

В результате перехода в некоторое безразмерное фазовое пространство обнаружено следующее уникальное свойство решений кинетического уравнения: их пространственно-угловая часть внутри однородной системы с бесконечной оптической толщиной не зависит от ядерно-физических характеристик вещества, составляющего систему. На основе этого утверждения и известного решения задачи Милна в случае инертной среды получено новое (квазистационарное) решение задачи Милна в произвольной среде. Это имеет принципиальное значение, так как в случае размножающей нейтроны среды правильным является именно квазистационарное решение.

УДК 539.17

### **Особенности пространственного распределения нейтронов вблизи границ**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены аналитические формулы для расчета градиентов собственных функций односкоростного интегрального уравнения для нейтронов вблизи границ раздела оптически толстых систем из веществ с разными ядерно-физическими свойствами. Из них следует, что на границах градиенты собственных функций характеризуются логарифмическими расходимостями. Аналогичные расходимости имеют место и в случае действия ступенчатых источников нейтронов ( $Q = \text{const}$  в определенной пространственной зоне и  $Q = 0$  вне ее) в оптически тонких системах.

УДК 534.222.2; 531.3

### **Рентгенодифракционное исследование фазового превращения ударно сжатого $\alpha$ -кварца**

*Л. А. Егоров, Д. А. Волков, И. Н. Говорунов, В. В. Моховая, М. Н. Павловский*

Приведены первые результаты рентгеновских дифракционных исследований структуры  $\alpha$ -кварца, сжатого ударной волной амплитудой  $P \sim 22$  ГПа. Из полученных данных следует, что кристалл  $\alpha$ -кварца сжимается до удельного объема  $V = 0,304$  см<sup>3</sup>/г, сохраняя исходную гексагональную структуру, дальнейшее сжатие кристалла сопровождается превращением гексагональной структуры в структуру типа рутила с плавающим отношением  $a/c$  параметров тетрагональной призмы.

УДК 585.512

### **3D модель сосредоточенной оболочки с магнитным полем**

*С. А. Холин, В. И. Нечнай, Л. Ф. Потапкина, С. Г. Смирнов*

С помощью модели сосредоточенной оболочки с магнитным полем сравнивается влияние двумерной и трехмерной асимметрии на сжатие и закигание термоядерной смеси.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2008. Вып. 3**

УДК 539.1.01; 514.83

### **Дираковская частица в гравитационном поле**

*М. В. Горбатенко, Т. М. Горбатенко*

Рассматривается движение дираковской частицы в гравитационном поле, описываемом решением Керра. Доказывается, что эволюция волновой функции определяется эрмитовым гамильтонианом, если используется сопутствующая система отсчета.

**Расчет кинетических коэффициентов плазмы с использованием самосогласованных потенциалов Хартри – Фока – Слэтера программы THERMOS***М. А. Вронский, Е. А. Карповцев, Е. Ю. Попов*

Приводятся формулы для вычисления методом Чепмена – Энскога коэффициентов электропроводности и теплопроводности в неидеальной плазме с использованием самосогласованного потенциала Хартри – Фока – Слэтера, вычисляемого программой THERMOS. Находится приближенное решение уравнения Больцмана для плотности электронной компоненты плазмы, в котором для части, соответствующей электрон-ионным столкновениям, берется транспортное сечение, определяемое самосогласованным потенциалом Хартри – Фока – Слэтера. Приводятся результаты расчетов коэффициентов и их сравнение с результатами расчетов, полученных другими методами.

УДК 532.517.4

**Вихревая подсеточная модель для расчетов турбулентного перемешивания***В. Г. Морозов, Б. М. Жогов, С. А. Савельев, В. Б. Титова*

Предлагается новая модель для двумерных расчетов перемешивания. Рассматривается перемешивание тяжелых струй, проникающих в легкую среду. Первичные струи рассчитываются прямым численным моделированием. Выводятся двумерные уравнения перемешивания струй в предположении, что оно происходит за счет возникающих поперечных вихрей (ось вращения которых перпендикулярна плоскости течения). Модель внедрена в двумерный газодинамический комплекс «Медуза». В статье приведены результаты тестового расчета модельного опыта Е. Е. Мешкова по обтеканию воздухом «тяжелого» угла.

УДК 519.642.2:532.529:541.182.213

**Численное моделирование кинетики формирования частиц в системах с двухфазной дисперсной средой. Расчеты для эксперимента «Монтана»***А. М. Петров*

Ранее были разработаны численные и теоретические модели кинетики формирования капель и ледяных частиц в смешанных облаках. Наряду с кинетическими уравнениями модель использует уравнения массового и теплового баланса, принимает во внимание разницу в скоростях конденсации пара над водой и льдом, использует реальные скорости конденсационного и коагуляционного роста, учитывает процессы спонтанного промерзания капель, описывает динамику фазового перехода. На основе разработанной численной модели проведены расчеты для процессов формирования осадков в условиях эксперимента, проведенного в штате Монтана.

УДК 539.17

## **Нестационарная задача Милна с постоянным объемным источником нейтронов в полубесконечной инертной среде**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, А. А. Севастьянов*

Решен не рассматривавшийся ранее вариант задачи Милна с линейным по времени возрастанием равновесной нейтронной плотности.

УДК 539.17

## **Приближенный метод определения спектра нейтронов и других характеристик в оптически толстых водородосодержащих системах**

*Н. Б. Бабичев, В. Г. Морозов, А. А. Севастьянов*

В случае однородных оптически толстых водородосодержащих систем с примесями делящихся веществ и поглотителей нейтронов найдены приближенные решения кинетического уравнения. Полученные теоретические результаты удовлетворительно согласуются с экспериментом и могут оказаться полезными для тестирования соответствующих математических методик численного решения спектрального уравнения переноса нейтронов в системах, в которых необходимо учитывать тепловое движение ядер водорода.

УДК 539.17

## **Новые формулы для вычисления коэффициентов диффузии нейтронов**

*Н. Б. Бабичев, Б. В. Беженцев, П. С. Бондарев*

Найдены приближенные аналитические решения трансцендентных уравнений, которые в асимптотической диффузионной теории решаются совместно с уравнением диффузии нейтронов. Полученные аналитические выражения оказались столь точными, что необходимость численного решения трансцендентных уравнений исчезла. В результате этого явную зависимость коэффициентов диффузии нейтронов от различных параметров удалось выразить аналитическими формулами, которые в рамках асимптотической теории не нуждаются в дальнейшем уточнении.

УДК 539.171

## **Обратное комптоновское рассеяние рентгеновского излучения в слоистых средах**

*А. Ю. Ставцев, Ю. В. Штоцкий*

Исследованы вклады в поле прошедшего и отраженного излучения гамма-квантов с энергией 100–400 кэВ, претерпевших однократное и многократное рассеяние. Расчеты проводились методом Монте-Карло с использованием генератора псевдослучайных чисел Knuth's. Были рассмотрены случаи неограниченного по площади ( $x, y$ ) и ограниченного ( $30 \times 30$  мм) образцов из алюминия толщиной  $t$ . Для полубесконечной среды из алюминия, железа, олова и свинца получены зависимости альбедо, потока отраженной энергии и характерных размеров активного пятна отраженного излучения. Исследовано также влияние состава гетерогенной композиции на поток отраженной энергии и размеры активного пятна.

УДК 539.17

### **Некоторые решения вырожденного и близкого к вырожденному уравнений переноса нейтронов**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

Исследованы общие свойства решений вырожденного кинетического уравнения на собственные функции и собственные значения. В случае однородного шара из произвольного вещества, находящегося в вырожденном или в близком к вырожденному состояниях, получены приближенные аналитические решения задачи.

УДК 539.17

### **Приближенные аналитические решения задачи Милна в теории переноса нейтронов**

*Н. Б. Бабичев, П. В. Забусов*

Определены приближенные аналитические решения задачи Милна. В отличие от известных точных, приближенные решения из-за своей простоты позволили установить характер зависимостей всевозможных физических величин от аргументов и параметров. Это дало наглядное представление о процессах нейтронной кинетики.

УДК 539.17

### **Поле нейтронов в надкритической активной системе из двух соприкасающихся полубесконечных сред**

*Н. Б. Бабичев, П. С. Бондарев*

Получено аналитическое решение задачи о распределении нейтронов в надкритической активной системе из двух полубесконечных сред, которые соприкасаются на плоской границе раздела.

УДК 539.219.1

### **Термодесорбция ионно-имплантированного дейтерия из вольфрама**

*Ю. М. Гаспарян, С. О. Степанов, А. А. Русинов, Н. Н. Трифонов, А. А. Писарев*

Методом термодесорбционной спектроскопии (ТДС) изучался захват дейтерия в фольгах поликристаллического вольфрама толщиной 20 мкм при облучении пучком ионов  $D_2^+$  с энергией 10 кэВ при комнатной температуре. Газовыделение дейтерия в ходе ТДС происходит в составе молекул  $D_2$ , HD, HDO,  $D_2O$ . Соотношение между потоками различных молекул зависит как от условий эксперимента, так и от количества захваченного дейтерия. Термодесорбционные спектры (ТДС) состоят из нескольких пиков с температурами  $T_m = 400 - 1050$  К. Обсуждаются особенности спектров и их зависимость от условий эксперимента и параметров облучения.

УДК 532.517.4+519.63

## **Результаты моделирования по методике корона газодинамических опытов по турбулентному перемешиванию в двумерных течениях**

*В. И. Козлов, А. Н. Разин, Е. В. Шапоренко, И. Ю. Шебаршина*

Выполнено численное моделирование газодинамических опытов по развитию турбулентного перемешивания, возникающего на контактных границах трехслойных газовых систем после прохождения ударной волны. Расчеты проведены по методике КОРОНА с использованием двумерной версии модифицированной модели турбулентного перемешивания В. В. Никифорова. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными по ширине зон турбулентного перемешивания.

УДК 539.219.1

## **Расчетные исследования термодесорбции ионно-имплантированного водорода в вольфраме**

*С. С. Ярко, И. В. Цветков, А. А. Писарев*

В работе анализируется влияние различных факторов на форму и положение пика термодесорбции. Расчеты выполнены на примере десорбции водорода из вольфрама. Продемонстрированы переходы термодесорбции между различными режимами: лимитированными либо освобождением из дефектов, либо диффузией, либо рекомбинацией на поверхности. Показано влияние формы профиля торможения ионов, толщины образца, начальной концентрации водорода, энергии связи с ловушками и также энергии активации рекомбинации. Продемонстрировано, что модель десорбции 1-го порядка применима в области очень малых концентраций ловушек.

УДК 524.822, 827, 854; 521.933, 934; 530.12; 533.9

## **Расширение вселенной с увеличивающимся ускорением**

*В. В. Попов*

Рассмотрена модель Вселенной с увеличивающимся ускорением по мере ее расширения. Показано, что проявление эффекта космологического красного смещения связано с нелинейностью временной шкалы. Получены следствия, согласующиеся с наблюдениями. Рассмотрены общие принципы преобразования эйлеровых и лагранжевых координат тел, движущихся инерциально относительно системы отсчета, связанной с расширяющейся Вселенной, при условиях:  $\tau$  – истинный скаляр,  $c_\tau = \text{const}$  ( $c$  – скорость света, зависит от скорости движения,  $\tau$  – продолжительность временного интервала). Приведен ряд следствий, предложена редакция эксперимента по выявлению этого движения и гипотеза о нереликтовой природе микроволнового фонового излучения.

УДК 532.517.4

## **Конверсионная модель рэлей-тейлоровской неустойчивости**

*М. Д. Камчибеков*

Предложена модель для описания развития рэлей-тейлоровской неустойчивости как для одиночной моды, так и для фронтов Р–Т пузырей и струй. Результаты расчетов сравниваются как с имеющимися данными, полученными на установке ЛЕМ, так и с современными моделями для описания этих данных.

УДК 539.17

**Верификация блока расчета нейтронной кинетики разностной методики ARCTUR на основе сравнения численных и точных аналитических решений задачи Милна**

*Н. Б. Бабицев, Н. В. Колобянина, И. В. Лутиков, С. В. Мжачих, А. А. Севастьянов*

Численно решен ряд вариантов задачи Милна по программе ARCTUR, для которых имеются также соответствующие точные аналитические решения кинетического уравнения. Сравнение результатов численных расчетов с точными теоретическими решениями позволило выполнить верификацию методики ARCTUR в блоке расчета нейтронной кинетики.

УДК 519.68:[519.1+519.6], 51-72:530.145

**Классическая и квантовая двумерные модельные системы с пятиямным полиномиальным потенциалом**

*А. Н. Лукьяненко, Н. А. Чеканов*

Рассмотрены классическая и квантовая  $S_{4v}$  симметричные двумерные модельные системы с пятиямным полиномиальным потенциалом. В классическом пределе построены сечения Пуанкаре и показано существование перехода регулярность – хаос – регулярность. В классической системе показано наличие смешанных состояний, т. е. сосуществование регулярных и хаотических режимов движения при фиксированной энергии. Для квантовой системы с помощью разработанной символьно-численной MAPLE программы на основе метода самосогласованного базиса вычислены нижние уровни энергии.

УДК 539.172.4

**Расчет рассеяния нейтронов на четно-четных деформированных ядрах**

*Д. А. Заикин, М. В. Мордовской, И. И. Осипчук*

Приводится описание составленной Фортран-программы для расчета в оптической модели со связью каналов упругого и неупругого рассеяния нейтронов с возбуждением низких уровней четно-четных деформированных ядер. Коллективные состояния ядер рассматриваются в модели жесткого аксиального и неаксиального ротатора. Программа позволяет рассчитывать усредненные по энергии сечения, поляризацию, а также дифференциальные сечения как для упругого, так и для неупругого рассеяния. Вклад в эти величины от реакций, идущих через составное ядро, может быть рассчитан по этой программе как с учетом, так и без учета влияния на него прямых реакций. Силовые функции и длина потенциального рассеяния также рассчитываются по этой программе. В качестве примера рассчитаны усредненные по энергии сечения упругого и неупругого рассеяния нейтронов на неаксиальном ядре  $^{192}\text{Os}$  в сравнении с экспериментом.



## **Распространение нейтронов от точечного анизотропного источника в бесконечной однородной среде и воздействие на анизотропный детектор**

*В. И. Юферев*

Получено аналитическое решение кинетического уравнения переноса нейтронов для однородной бесконечной среды в многогрупповом приближении для случая анизотропного источника и анизотропного детектора.

## **Применение ядерных взрывов для воздействия на малые космические тела в случае опасности столкновения с Землей**

*В. Г. Заграфов, А. К. Шаненко, В. А. Рыжанский, А. Г. Иванов*

Рассмотрен процесс воздействия ядерных зарядов на опасные космические объекты с целью предотвращения столкновения с Землей. Основное внимание уделено анализу двух задач: сообщение МКТ, обнаруженным на достаточном удалении от Земли, импульса, способного отклонить их траекторию на безопасное расстояние от планеты; разрушение МКТ ядерным взрывом на части, достаточно мелкие по сравнению с исходным телом, чтобы встреча их с Землей не привела к катастрофе. Оценено энерговыделение ядерных зарядов, необходимое для выполнения поставленной задачи. На примере гипотетического МКТ типа астероида Икар показан процесс его дробления на существенно меньшие по размеру фрагменты.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2009. Вып. 3**

## **О физическом смысле вектора Вейля**

*М. В. Горбатенко*

Описывается уникальный феномен – возможность установления в определенных областях пространства взаимно-однозначного соответствия между уравнениями, относящимися к совершенно различным физическим явлениям: (1) Явлениям, связанным с вейлевскими степенями свободы в плоском пространстве. (2) Явлениям, описываемым в терминах частиц с полуцелым спином и наблюдаемых величин, соответствующих полной совокупности биспиноров.

Установленный феномен открывает далеко идущие возможности в решении «старого» спорного вопроса – вопроса о физическом смысле вектора Вейля. В работе обсуждается, в частности, возможность отождествления вектора Вейля (с точностью до константы) с вектором плотности тока той совокупности биспиноров, которая образует биспинорную матрицу, входящую в уравнение Дирака. Обсуждаются и другие вопросы.

**Приближенное аналитическое решение задачи на главные собственные значения для односкоростного кинетического уравнения переноса нейтронов в случае однородного шара из произвольного вещества при любых его оптических толщинах***Н. Б. Бабичев, П. В. Забусов, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

Рассмотрен однородный шар, в котором изменение функции распределения нейтронов со временем  $t$  подчиняется простому экспоненциальному закону  $e^{\lambda t}$ , где  $\lambda$  – главное собственное значение кинетического уравнения. Получена формула для  $\lambda$ , которая с достаточно высокой точностью справедлива при любых значениях оптической толщины шара из произвольного вещества.

**Вычисление матричных элементов в представлении Фолди–Ваутхайзена***В. П. Незнамов, А. А. Садовой, А. С. Ульянов*

Проведено сравнение методов вычисления матричных элементов оператора радиальной координаты электрона в произвольной степени в представлении Фолди–Ваутхайзена и при использовании решений уравнения Дирака для  $1s$ -состояний водородо- и гелиеподобных ионов трансурановых элементов. Полученные аналитические и численные результаты для  $1s$ -состояний водородо- и гелиеподобных ионов подтверждают выполнение условия редукции волновой функции при переходе к представлению Фолди–Ваутхайзена и демонстрируют возможность расчета матричных элементов с использованием только одной (верхней или нижней) компоненты дираковской биспинорной волновой функции.

**Оптимизация сжатия газа в мишенях инерциального термоядерного синтеза на основе точного решения задачи об автомодельной волне сжатия***Л. В. Ктиторов*

Получено автомодельное решение задачи об изэнтропическом сжатии идеального газа в центрированной волне. Для решения задачи использованы переменные Лагранжа, позволившие единым образом решить задачу в цилиндрической и сферической геометрии. На основе полученного решения построены оптимальные функциональные зависимости энергозатрат от времени и координат в цилиндрических мишенях тяжелоионного термоядерного синтеза. Выполнены одномерные расчеты сжатия мишеней с использованием гидродинамических программ. Показано, что в расчетах с энергозатратой 500 кДж/см удается получить необходимые сверхвысокие сжатия DT-газа до плотности 100 г/см<sup>3</sup>. Показано, что примененный способ построения энергозатрат позволяет снизить полные затраты энергии пучка ионов на стадии сжатия в несколько раз по сравнению с ранее рассмотренными вариантами.

**Эволюция возмущений при адиабатическом сжатии идеального газа тонкой оболочкой***Л. В. Ктиторов*

Выведены уравнения, описывающие развитие малых возмущений оболочки, когда ускорение зависит от времени. Предполагается, что оболочка тонкая и не имеет внутренней структуры и масса оболочки много больше массы окружающего оболочку газа. Рассмотрены случаи плоской, цилиндрической и сферической геометрии системы. Рассмотрена устойчивость движения оболочки, обеспечивающего изэнтропическое сжатие газа, по отношению к развитию малых возмущений вида плоских волн и угловых гармоник.

Показано, что при изэнтропическом сжатии газа рост возмущений оболочки вида плоских волн ограничен как в плоской, так и в цилиндрической геометрии. Рассчитан предельный рост амплитуды таких возмущений. Показано, что рост возмущений вида угловых гармоник неограничен как в цилиндрической, так и в сферической геометрии. Рассчитан инкремент роста таких возмущений.

Выполнены численные расчеты развития возмущений оболочки, изэнтропически сжимающей DT-газ в мишенях тяжелоионного ИТС. Показано, что результаты численного счета находятся в разумном согласии с теоретическими выводами.

**Исследование турбулентного перемешивания в трехслойных газовых системах лазерным методом***Н. В. Невмержицкий, А. Н. Разин, Е. Д. Сеньковский, В. И. Дудин, Е. А. Сотсков, А. А. Никулин, Л. В. Точилина, О. Л. Кривонос*

Приведены результаты исследований развития ТП, возникающего на КГ трехслойных газовых систем при прохождении стационарной УВ с числом Маха  $M \sim 1,3$ . Выполнены три серии экспериментов. В первой серии опытов КГ2 наклонена под углом в  $60^\circ$  (к направлению движения УВ, КГ1 располагалась поперек ударной трубы. Во второй серии экспериментов КГ1 имела два излома (наклонная ступенька), КГ2 располагалась поперек ударной трубы. В третьей серии опытов КГ1 наклонена под углом в  $60^\circ$  (к направлению движения УВ, КГ2 располагалась поперек ударной трубы. Использовались различные комбинации газов: воздух,  $SF_6$ , He.

Структура течения регистрировалась шпирен-методом с лазерной подсветкой. Получены новые экспериментальные данные о характере развития ТП в существенно двумерных течениях, полезные для понимания физики процесса, верификации физических моделей и численных методик расчета ТП.

**Об эффекте схемной вязкости в LES расчетах турбулентного течения в плоском канале***М. С. Попов, В. П. Стаценко*

Представлен анализ эффектов схемной вязкости по результатам расчетов с помощью выполненного в STAR-CD численного LES моделирования турбулентного течения в плоском канале. Постановка расчетов аналогична постановке в известной работе по DNS моделированию такого течения.

УДК 539.17

## **Собственные значения односкоростного уравнения переноса нейтронов в однородных системах**

*Н. Б. Бабичев, Б. В. Беженцев, П. С. Бондарев, П. В. Забусов*

Получены точные формулы, выражающие общую зависимость собственных значений от физических величин. Эти формулы справедливы для класса произвольных по изотопному составу однородных односвязных систем, ограниченных невогнутыми поверхностями.

УДК 539.17

## **Уравнение Дирака в обобщенной стандартной модели с максимальным массовым параметром М**

*В. П. Незнамов*

В работе в рамках модели с максимальным массовым параметром М и с использованием пятимерного пространства Де Ситтера исследуются свойства уравнения Дирака для фермиона с массой  $m$ , находящегося на массовой поверхности. Показано, что свободный гамильтониан и гамильтониан с взаимодействием являются псевдоэрмитовыми. Если ввести соответствующие правила обращения с псевдоэрмитовыми гамильтонианами, то можно построить последовательную квантовую теорию с конечными результатами, совпадающими с результатами при использовании обычного уравнения Дирака.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2010. Вып. 1-2**

УДК 530.145

## **Преобразование Фолди-Ваутхайзена с матрицами Дирака в киральном представлении**

*В. П. Незнамов*

Установлено выражение для общего преобразования Фолди-Ваутхайзена при использовании кирального представления матриц Дирака и при наличии бозонных полей  $B^{\mu}(x, t)$  взаимодействующих с фермионным полем  $\psi(x, t)$ .

УДК 539.17

## **Характерные зависимости главных собственных значений кинетического уравнения для нейтронов от оптической толщины произвольной однородной системы**

*Н. Б. Бабичев, П. В. Забусов, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

Рассмотрен класс произвольных по геометрии однородных тел, в которых эволюция функции распределения нейтронов во времени подчиняется экспоненциальному закону  $e^{\lambda t}$ , где  $\lambda$  – главное собственное значение уравнения переноса частиц. Исследована зависимость  $\lambda$

от оптической толщины системы  $p$ , которая представляет собой количество полных пробегов нейтрона на характерном размере тела  $R$ . В частности, показано, что в случаях инертной и размножающей нейтроны сред функция  $\lambda(p)$  характеризуется одной точкой минимума. В случае слабого поглотителя нейтронов функция  $\lambda(p)$  имеет два экстремума (минимум и максимум), а если среда сильно поглощает нейтроны, то данная функция является убывающей во всем диапазоне изменения оптической толщины системы  $0 < p < \infty$ .

УДК 539.1.01

## **Разложение решения Керра в гармонических декартовых координатах**

*М. В. Горбатенко, Т. М. Горбатенко*

Работа содержит систематическое изложение процедуры нахождения приведенных в нашей публикации 2004 г. разложений для компонент метрики внешней части решения Керра в декартовых гармонических координатах. Процедура включает два координатных преобразования (от координат Бойера-Линдквиста к первичным и вторичным координатам Керра), нахождение гармонических координат путем решения условий де Дондера и переход от решения Керра во вторичных координатах Керра к записи в гармонических координатах. После этого выполняются достаточно трудоемкие вычисления, связанные с разложением компонент метрики по двум параметрам малости. Разложения могут быть использованы в задачах по применению метода Эйнштейна-Инфельда-Гоффманна, задачах по динамике движения частиц с полуцелым спином в гравитационном поле и т. д.

УДК 530.145

## **Собственная энергия электрона в псевдоэрмитовой квантовой электродинамике с максимальным массовым параметром $M$**

*В. П. Незнамов*

На основе модели квантовой теории поля с максимальным массовым параметром  $M$ , развитой В. Г. Кадышевским с сотрудниками, в рамках псевдоэрмитовой квантовой электродинамики во втором порядке теории возмущений рассчитана собственная энергия (собственная масса) электрона. В теории из-за наличия универсальной массы  $M$  возникает естественное обрезание больших передаваемых импульсов в промежуточных состояниях. В результате собственная масса электрона оказывается конечной и зависящей от максимального передаваемого импульса  $k_{max} = AMf(\mathbf{p})$ , ( $M/m \gg 1$ ,  $A \ll M/m$ ,  $f(\mathbf{p}) \ll M/m$ ) При определенных значениях  $M$  и  $A$  возможны две интерпретации полученных результатов. Первая трактовка позволяет количественно подтвердить старую идею об источниках массы элементарных частиц, обусловленных взаимодействиями частиц с собственными калибровочными полями. Вторая трактовка приводит к возможности не производить процедуру перенормировки массы (по крайней мере, во втором порядке теории возмущений) из-за нулевого значения массового оператора  $\Sigma(p)$ .

**О проблеме единственности и эрмитовости гамильтонианов, используемых для описания динамики частиц со спином  $1/2$  в гравитационных полях**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Доказывается возможность использования подхода, основанного на формализме псевдоэрмитовых гамильтонианов, для описания динамики частиц со спином  $1/2$  в стационарных гравитационных полях. Доказательство включает анализ трех выражений для гамильтонианов, получаемых из уравнения Дирака и описывающих динамику частиц со спином  $1/2$  в поле решения Керра. Гамильтонианы соответствуют различным выборам систем реперов и различаются между собой. К каждому из этих гамильтонианов применяются стандартные правила псевдоэрмитовой квантовой механики, в результате чего получается один и тот же эрмитов гамильтониан. Спектр собственных значений полученного таким образом гамильтониана совпадает со спектром тех гамильтонианов, которые следуют из уравнения Дирака при любом выборе системы реперов. Показано, что для описания динамики частиц со спином  $1/2$  в стационарных гравитационных полях может быть использован не только формализм псевдоэрмитовых гамильтонианов, но и альтернативный подход, основанный на использовании скалярного произведения Паркера.

УДК 519.6-533.9

**Турбулентное течение через связку  $5 \times 5$  стержней: сравнение RANS расчетов с LDA измерениями**

*Ю. Б. Базаров, Ю. Д. Богуненко, Г. А. Бондаренко, Е. Д. Вишневецкий, А. В. Кунин, А. И. Логвинов, Е. Е. Мешков, М. С. Попов, И. Н. Никитин, А. А. Рябов, Ю. К. Семенов, В. А. Стародубцев, В. П. Стаценко, С. Р. Tzanos, М. В. Dzodzo*

Представлен анализ результатов расчетов с помощью  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентного течения в тестовой модели топливной сборки реактора PWR ( $5 \times 5$  стержней), а также в части этой модели (задача с двумя подканалами). Результаты сравниваются с данными LDA измерений в тестовой модели  $5 \times 5$  стержней в экспериментах на Саровской гидравлической установке.

УДК 519.6, 531.51

**Численное моделирование задачи о турбулентном перемешивании при однородном сжатии**

*А. Р. Гужова, О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

С помощью методики ТРЭЖ методом прямого 3D численного моделирования исследуется развитие турбулентного перемешивания при однородном сжатии газового объема. Результаты сравниваются с решениями данной задачи исходя из  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности, полученными как аналитически, так и численно, при помощи 2D методики ЭГАК. Аналитические решения получены как для сферической геометрии, так и для цилиндрической и плоской.

УДК 533.7

**Микроскопическая электронно-оптическая регистрация процесса выброса частиц со свободной поверхности ударно-нагруженного свинца**

*Н. В. Невмержицкий, А. Л. Михайлов, В. А. Раевский, В. С. Сасик, Ю. М. Макаров, Е. А. Сотсков, С. А. Абакумов, А. В. Руднев, В. В. Буццев, С. А. Лобастов, А. А. Никулин, Е. Д. Сеньковский, О. Л. Кривонос, А. А. Половников, О. Н. Апрельков*

Представлены результаты микроскопической электронно-оптической регистрации процесса выброса частиц со свободной поверхности ударно-нагруженного свинца, имеющей разную степень шероховатости, после выхода на поверхность ударной волны с давлением  $\sim 15$  ГПа. Регистрация процесса осуществлялась видеосъемкой через систему с относительно большим коэффициентом оптического увеличения. Для подсветки процесса использовался короткий (4 нс) лазерный импульс. Зарегистрированы частицы свинца размером от 3 мкм и построен их спектр.

УДК 621.039; 519.224.2

**Аналитические аппроксимации для расчетов размеров случайных выборок с дефектами при учете и контроле ядерных материалов**

*А. М. Злобин*

При проверке выполнения нормативных требований к системе учета и контроля ЯМ эксплуатирующей организации широко применяются выборочные подтверждающие измерения ЯМ, объем которых должен быть запланирован при подготовке и выполнении контрольных проверок и физических инвентаризаций. В общем случае размеры случайной выборки определяются численными расчетами с использованием компьютерных программ (например, программы SpotCheck). Для расчетов размеров выборок в конкретных зонах баланса ЯМ удобно использовать аналитические аппроксимации. В настоящее время на практике широко применяется известное аналитическое выражение, зависящее от доверительной вероятности  $P_0$  и «недопустимого числа дефектов»  $D_0$ . К сожалению, используемая формула справедлива только для бездефектных выборок. Однако при проведении выборочных проверок среди отобранных элементов могут быть обнаружены и дефекты, причем действующие нормативные критерии в этих условиях могут и не нарушаться.

В предлагаемой работе на основании метода оценки гипотез получены две приближенные формулы, позволяющие с помощью калькулятора вычислять размеры случайных выборок, необходимые для подтверждения выполнения нормативных требований, в широком диапазоне размеров систем при наличии одного или двух дефектов в выборке и с достаточно хорошей точностью.

УДК 532.4

**Полуэмпирическая модель уравнения состояния металлов с эффективным учетом ионизации.  
Часть 1. Описание модели**

*Д. Г. Гордеев, Л. Ф. Гударенко, А. А. Каякин, В. Г. Куделькин*

Описана полуэмпирическая модель уравнения состояния, ориентированная на описание термодинамических свойств металлов в широкой области состояний. В составляющих для учета вклада в давление и энергию термически возбужденных электронов эффективно учитывается влияние на поведение термодинамических функций снятия вырождения электронного газа и ионизации. Вклад атомов при низких температурах описывается моделью Дебая. С увеличением температуры реализован переход к модели идеального одноатомного газа.

УДК 532.4

**Полуэмпирическая модель уравнения состояния металлов с эффективным учетом ионизации.  
Часть 2. Уравнение состояния алюминия**

*Д. Г. Гордеев, Л. Ф. Гударенко, А. А. Каякин, В. Г. Куделькин*

Представлены результаты расчетов по уравнению состояния Al, разработанному с использованием модели, описанной в части 1 (см. наст. вып., с. 19–25). На примере описания разработанным уравнением состояния экспериментальных и расчетных данных, характеризующих термодинамические свойства этого металла, продемонстрирована область применимости модели. Представлены также результаты сравнения расчетов по разработанному уравнению состояния с расчетами по другим моделям: Томаса–Ферми с поправками Киржница–Калиткина; Томаса–Ферми–Дирака; Томаса–Ферми–Дирака–Вайзекера, Саха и др.

УДК 532.542.4

**Перекрытие двух параллельных зон турбулентного перемешивания, вызванных сдвиговой неустойчивостью**

*В. М. Ктиторов, О. Г. Синькова, Г. С. Фирсова, Ю. В. Янилкин*

Рассмотрен процесс перекрытия двух параллельных симметричных ЗТП, образованных размытием тангенциальных разрывов. Определена скорость роста объединенной зоны перемешивания до выхода развития зоны на автомодельный режим. Расчеты проведены как в двумерной, так и в трехмерной постановке методом прямого численного моделирования уравнений гидродинамики без вязкости с использованием программ ЭГАК (2D) и ТРЭК (3D). Показано, что объединенная ЗТП растет медленнее, чем в автомодельном случае, и для выхода ее роста на автомодельный режим требуется время, заметно большее, чем рассмотренное в расчетах.



## **Фазовые превращения в ударно сжатых хлористом калии и $\alpha$ -кварце с точки зрения рентгеновской кристаллографии**

*Л. А. Егоров, В. В. Мохова*

Используются результаты регистрации рентгенодифракционных картин ударно сжатых образцов хлористого калия и  $\alpha$ -кварца для оценки возможного физического состояния вещества в области сосуществования фаз и влияния времени релаксационного процесса на положение экспериментальных точек адиабаты Гюгонио в этой области. Экспериментальные результаты согласуются с интерпретацией, в которой состояние вещества на переходной кривой, соединяющей адиабаты Гюгонио исходной фазы и фазы высокого давления, можно представить как состояние вещества с незавершенным релаксационным процессом. Степень незавершенности определяется отношением времени пребывания вещества на ударном фронте к полному времени протекания релаксационного процесса.

УДК 546.799.4

## **Фазовые превращения плутония и кинетика его взаимодействия с водородом**

*П. Г. Бережко, А. А. Кузнецов*

Может ли фазовое превращение в нелегированном плутонии влиять на скорость его взаимодействия с водородом? Здесь имеется в виду влияние фазового превращения на кинетику реакции, аналогичное влиянию, описываемому эффектом Хедвалла (Hedvall effect). Частичный ответ на этот вопрос мы нашли в работе Д. Ф. Боуэрсокса (D. F. Bowersox. Report LA-5515-MS, 1974). По данным из этой работы, при взаимодействии Pu с D<sub>2</sub> наблюдается близость максимумов значений констант скорости при 125 и 210 °С к значениям точек перехода  $\alpha$ - $\beta$ - и  $\beta$ - $\gamma$ -превращений Pu. При взаимодействии в интервале температур 335–605 °С влияние фазовых превращений Pu на скорость реакции выражено менее отчетливо. Здесь отмечено лишь только одно совпадение максимума константы скорости при 460 °С с температурой  $\delta$ - $\delta'$ -превращения Pu.

УДК 531.51

## **Новый взгляд на принцип эквивалентности в общей теории относительности**

*М. В. Горбатенко, Т. М. Горбатенко*

Анализируются известные из литературы пять трактовок принципа эквивалентности в общей теории относительности на предмет их согласованности с уравнениями общей теории относительности. Оказывается, что согласованность имеет место по отношению ко всем трактовкам, за исключением той из них, в которой траектория спиновой пробной частицы отождествляется с геодезической. Зависимость траектории движения пробной частицы от наличия спина и тем самым от внутренней структуры частицы может изменить существующие представления о характере движения пробных частиц вблизи сингулярностей гравитационного поля.

УДК 530.145

**Использование изотопического представления Фолди–Ваутхайзена в квантовой теории поля. I. Изотопическое представление Фолди–Ваутхайзена и киральная симметрия**

*В. П. Незнамов*

Вводится изотопическое представление Фолди–Ваутхайзена. В этом представлении получены уравнения для массивных взаимодействующих фермионных полей. В случае, когда гамильтониан взаимодействия коммутирует с матрицей  $\gamma^5$ , эти уравнения обладают киральной инвариантностью независимо от наличия или отсутствия массы у фермионов. В изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена сохраняются векторный и аксиальный токи независимо от величины массы фермионов. В дираковском представлении аксиальный ток сохраняется лишь в случае безмассовых фермионов. В изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена основное состояние фермионов (вакуум) оказывается вырожденным, и в связи с этим существует возможность спонтанного нарушения четности ( $P$ -симметрии). В качестве примера рассмотрено построение кирально-симметричной квантовой электродинамики в изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена. В низжайших порядках теории возмущений рассчитан ряд физических процессов. Конечные результаты расчетов совпадают с результатами стандартной теории квантовой электродинамики.

УДК 530.145

**Использование изотопического представления Фолди–Ваутхайзена в квантовой теории поля. II. Стандартная модель в изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена без бозонов Хиггса в фермионном секторе. Спонтанное нарушение четности и проблемы «темной материи»**

*В. П. Незнамов*

Сформулирована Стандартная модель с массивными фермионами в изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена.  $SU(2) \times U(1)$ -инвариантность теории в этом представлении не зависит от наличия или отсутствия массы у фермионов, и, следовательно, отсутствует необходимость введения взаимодействия бозонов Хиггса с фермионами. Исследована возможная связь спонтанного нарушения четности в изотопическом представлении Фолди–Ваутхайзена с составом элементарных частиц «темной материи».

УДК 530.145; 514.764.2; 530.145.7

**Единственность и самосопряженность дираковских гамильтонианов в произвольных гравитационных полях**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Представлены доказательства двух утверждений: доказывається, что формализм псевдоэрмитовой квантовой механики позволяет описать движение дираковских частиц в произвольных стационарных гравитационных полях и что с помощью весового оператора Паркера и последующего перехода в  $\eta$ -представление уравнение Шредингера для нестационарной метрики может быть преобразовано к виду, при котором оператор эволюции становится са-

мосопряженным. Скалярные произведения в  $\eta$ -представлении – плоские, что позволяет использовать стандартный аппарат для эрмитовой квантовой механики. По результатам данной работы авторы делают заключение о решении проблемы единственности и самосопряженности дираковских гамильтонианов в произвольных гравитационных полях, в том числе и зависящих от времени. Общий подход иллюстрируется на примере дираковских гамильтонианов для нескольких стационарных метрик, а также для пространственно-плоской и открытой моделей Фридмана.

УДК 621.039.517

### **Верификация программы MURE для расчета остаточного энерговыделения от облученного топлива ядерных реакторов**

*М. С. Онегин, И. В. Рыжов*

Выполнена верификация программы MURE расчета остаточного энерговыделения в облученном топливе. Расчетное энерговыделение сравнивалось с экспериментальным как для небольших образцов  $^{235,238}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , так и от ТВС водо-водяных реакторов, имеющих большое время выдержки. Расхождение расчета с экспериментом не превышает 15 % для времен выдержки больше 10 с.

УДК 530.145; 514.764; 530.145.7

### **Атомы и силы взаимодействия элементарных частиц в расширяющейся вселенной**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Установленный ранее авторами алгоритм построения самосопряженного гамильтониана в  $\eta$ -представлении для дираковских частиц, взаимодействующих с гравитационным полем общего вида, обобщается на случай электромагнитных полей. Полученный гамильтониан применяется, когда гравитационное поле описывает пространственно-плоскую модель Фридмана, а электромагнитное поле является обобщением кулоновского потенциала на случай этой модели. Анализ атомных систем и электромагнитных сил взаимодействия в условиях пространственно-плоского расширения Вселенной показал, что система атомных уровней не меняется с космологическим временем. Наоборот, силы взаимодействия элементарных частиц изменяются с расширением Вселенной. Спектральные линии атомов в пространственно-плоской расширяющейся Вселенной идентичны в разные моменты космологического времени. Полученные результаты подтверждают представления стандартной космологической модели о механизме красного смещения атомных спектров.

УДК 539.17

### **Инвариантность общего уравнения переноса нейтронов в некоторых профильных системах и вытекающие из этого следствия**

*Н. Б. Бабичев, П. С. Бондарев, И. В. Лутиков, В. П. Незнамов*

Выявлен класс профильных систем, для которых общее линейное кинетическое уравнение обладает свойством инвариантности по отношению к преобразованиям подобия. На этой основе получены точные соотношения между различными физическими величинами, от которых зависят процессы нейтронной кинетики.

УДК 539.17

**Решение односкоростной задачи по нейтронной кинетике на собственные значения и собственные функции, справедливое в классе однородных односвязных объектов с невогнутыми внешними поверхностями**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков*

Решена задача на собственные значения и собственные функции. Выявлен характер зависимостей собственных значений от ядерно-физических свойств вещества. Обсуждается физический смысл некоторых уравнений переноса нейтронов в однородных системах.

УДК 539.17

**Решение общей задачи Милна с двумя средами, хотя бы одна из которых размножает нейтроны**

*П. С. Бондарев*

Получено точное аналитическое решение задачи о пространственном распределении нейтронов в надкритической активной системе из двух полубесконечных сред, которые соприкасаются на плоской границе раздела.

УДК 533.9.01+533.951.2-3

**Нелинейная теория электростатических волн в пылевой плазме**

*А. Е. Дубинов, М. А. Сазонкин*

Исследовано влияние пылевой фракции на распространение электростатических волн в пылевой плазме. Рассмотрены случаи как отрицательного, так и положительного заряда пылинок, при этом заряд считался постоянным в исследуемом процессе. Получены аналитические решения линейных и нелинейных задач распространения ленгмюровских, ионно-звуковых и пылезвуковых волн. Нелинейная задача решена с помощью метода псевдопотенциала Сагдеева. Определены области параметров, в которых существуют периодические и уединенные волны. Найдено новое решение в виде сильнонелинейной ионно-звуковой волны большой амплитуды. Построены графики профилей всех типов волн.

УДК 539. 3: 539.42

**Об эффекте «пыления» в методе кластерной динамики**

*В. Н. Пискунов, Д. В. Цаплин, Р. А. Веселов*

Представлены результаты исследования процесса пыления, возникающего при выходе плоской ударной волны (УВ) на свободную гладкую поверхность однородного образца в расчетах с использованием метода кластерной динамики (КД). Приведены результаты трехмерных расчетов, показывающие, что в рамках этой модели процесс пыления обусловлен не только физическими причинами, но и побочными счетными эффектами. Для изучения методических вопросов по движению кластеров разработана одномерная модель, с помощью которой исследовано поведение кластеров при выходе УВ на границу образца. Про-

анализирован характер колебаний приграничных кластеров и исследовано влияние ангармоничности потенциала взаимодействия. Показано, что важную роль в побочных эффектах пыления играет самая высокочастотная мода колебаний решетки кластеров (с движением соседей в противофазе), которая обусловлена ангармоничностью потенциала. Исходя из этого, выработан критерий, позволяющий определить пороговую скорость нагружения, при которой возникает пыление в трехмерных задачах. Предложен способ уничтожения счетных эффектов пыления с помощью модификации уравнений движения кластеров. Эффективность этого способа проверена в серии трехмерных расчетов. Показано, что предлагаемый подход полностью устраняет побочные эффекты пыления и сохраняет основные физические закономерности процесса нагружения и дальнейшего движения образца.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2011. Вып. 3**

УДК 530.145; 514.764; 530.145.7

#### **Модифицированный метод получения дираковских самосопряженных гамильтонианов в произвольных гравитационных полях и его применение к центрально- и аксиально-симметричным гравитационным полям**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Ранее авторами был предложен способ построения самосопряженных гамильтонианов  $H_\eta$  в  $\eta$ -представлении с плоским скалярным произведением для описания динамики дираковских частиц в произвольных гравитационных полях. В данной работе доказывается, что для блочно-диагональных метрик величины  $H_\eta$  могут быть получены, в частности, с использованием «усеченных» частей дираковских гамильтонианов, т. е. выражений для дираковских гамильтонианов, полученных с использованием реперов в калибровке Швингера с отсутствием или с малым числом слагаемых с биспинорными связностями. С учетом этих результатов предлагается модифицированный способ построения гамильтонианов в  $\eta$ -представлении с существенно меньшими объемами необходимых вычислений. С помощью предлагаемого способа в работе впервые найдены самосопряженные гамильтонианы для ряда метрик, включая метрику Керра в координатах Бойера–Линдквиста, метрики Эддингтона–Финкельштейна, Финкельштейна–Леметра, Крускала, метрику торов Клиффорда.

УДК 538.971

#### **Алгоритм детектирования на атомном уровне вакансионной поры и описания ее формы**

*А. И. Кульментьев*

Предложен метод, позволяющий при последовательном многоуровневом моделировании реакторных материалов на атомном уровне детектировать появление компактных кластеров атомов с нарушенной кристаллическостью, определять внешнюю границу такого дефектного кластера и измерять его коэффициент компактности. Это позволяет производить разделение радиационных структурных дефектов по признаку вакансионного или межзельного типа. Предложен также эффективный алгоритм для измерения формы произвольного атомного образования. Выполнен компьютерный эксперимент, в котором имитируется процесс схлопывания изначально сферической поры. Получены зависимости параметров формы поры от коэффициента сжатия и проведено их сравнение с вычисленными аналитическими выражениями. Показано, что метод позволяет определять фазу схлопывания поры и направление ее наиболее вероятной дальнейшей эволюции.

УДК 539.3

## **Скорость переноса энергии сдвиговой волны, распространяющейся в градиентно-упругом материале**

*С. И. Герасимов, Т. С. Денисова, В. И. Ерофеев*

Получены и проанализированы соотношения, связывающие групповую скорость и скорость переноса энергии сдвиговой волны, распространяющейся в нелинейном градиентно-упругом материале.

УДК 523.44

## **Ликвидация угрозы столкновения астероида Apophis с Землей ядерным взрывом**

*А. К. Шаненко*

Рассмотрена возможность воздействия на астероид Apophis ядерным взрывом в случае опасности его столкновения с Землей. Оценено энерговыделение ядерного заряда, необходимое для отклонения траектории опасного космического объекта на определенное расстояние (3–5 радиусов Земли) от точки падения на нашу планету или его фрагментации на осколки. При этом требуемые для коррекции траектории энергозатраты сравнительно невелики (единицы килотонн). Как показали оценки, на разрушение астероида идет незначительная часть энергии взрыва, в связи с чем отклонение его траектории как целого объекта невозможно. Образующееся осколочное пятно после дробления астероида Apophis через семь лет превращается в пятно радиусом более миллиона километров и практически не угрожает Земле.

УДК 539.3; 539.42

## **Моделирование процессов высокоскоростной деформации методом кластерной динамики. Описание физико-механических свойств среды, решение тестовых и прикладных задач**

*И. А. Давыдов, В. Н. Пискунов, Р. А. Веселов, С. В. Копкин, Д. В. Цаплин*

Рассматриваются результаты расчетов и примеры практического использования метода кластерной динамики. Представлены результаты тестовых и прикладных расчетов задач о распространении плоской ударной волны в веществе, результаты моделирования процессов высокоскоростного пробития преград ударником, результаты моделирования эффектов пыления и кумулятивного выброса частиц при выходе ударной волны на профилированную поверхность материалов. Представлен краткий обзор программных комплексов, в которых в настоящее время реализован метод кластерной динамики.

УДК 532.593+523.4+536.41+539.89

## **Ударное сжатие пористых металлов и силикатов. Возможная аномальность верхней мантии Земли**

*А. Б. Медведев, Р. Ф. Трунин*

Дан обзор результатов экспериментальных исследований ударного сжатия пористых металлов в лабораторных условиях и при подземных ядерных взрывах. Рассмотрены общие

свойства ударных адиабат. Приведено описание совокупности опытов сравнительно простым широкодиапазонным уравнением состояния. Выполнено сопоставление закономерностей поведения пористых металлов и силикатов при ударном сжатии. Они качественно отличаются между собой в широком (~несколько десятков ГПа) диапазоне давлений. Возможное объяснение нестандартного поведения силикатов состоит в реализации при повышенных давлениях и температурах состояний вещества с отрицательными значениями коэффициента Грюнайзена. Высказано гипотетическое предположение, что подобная аномалия является причиной сильного возрастания плотности в верхней мантии Земли.

УДК 533.95: 537.84, 537.811

### **Динамика релятивистских электронов от локального источника в магнитоплазменной ловушке**

*И. М. Анисина, В. П. Башурин, В. А. Жмайло, А. Е. Широков*

Рассмотрена задача об удержании релятивистских электронов от источника, помещенного в осесимметричной магнитной ловушке, которая образуется при расширении облака плазмы во внешнем магнитном поле. На ряде модельных задач выяснена эффективность такой ловушки и показано, что собственное магнитное поле, порождаемое токами релятивистских электронов, повышает эффективность их удержания.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2012. Вып. 1**

УДК 532.529: 544.72: 544.772

### **Метод расчета ресуспензии, основанный на сочетании детерминированного и статистического подходов**

*Д. В. Цаплин, В. Н. Пискунов*

Представлен метод расчета процесса вторичного пылеобразования, объединяющий детерминированный и статистический подходы для описания ветрового подъема (ресуспензии) покоящихся и катящихся по поверхности частиц. Этот метод использует модель rock'n roll, основанную на статистическом подходе, ограничивая ее действие пороговым диаметром частиц, отделяющим неподвижные частицы от катящихся. Считается, что ресуспензия катящихся частиц происходит мгновенно, если действующая на них аэродинамическая подъемная сила превышает их вес. В расчетах учитывается, что крупные и слишком тяжелые частицы катятся по поверхности, не участвуя в процессе ресуспензии. На основе описанных алгоритмов выполнены расчеты, которые обнаруживают хорошее согласие результатов с экспериментом.

УДК 519.642.2: 532.529: 544.772

### **Аналитические решения для кинетики коагуляции и конденсации композитных частиц**

*В. Н. Пискунов*

Получены следующие новые результаты для одновременно действующих процессов коагуляции и конденсации композитных частиц: сформулированы уравнения, дающие со-

кращенную (интегральную по примеси) информацию о кинетике формирования композитных частиц за счет коагуляции и конденсации; получены новые аналитические решения для спектров и содержания примеси в частицах смешанного состава; результаты обобщены на случай любых коэффициентов коагуляции, для которых есть аналитическое решение однокомпонентной задачи. Полученные решения целесообразно использовать для калибровки численных программ, рассчитывающих кинетику формирования композитных частиц в практически важных задачах.

УДК 621.039.1

### **К вопросу о повышении гарантий сохранности ядерных материалов при переработке ядерного топлива**

*А. В. Анисин, А. А. Анищенко, И. А. Давыдов, П. В. Ермаков, С. С. Жихарев,  
К. В. Задорожный, К. В. Иванов, Н. М. Микийчук, Е. Е. Санталова, А. И. Сайфуллин*

Представлены обобщенная физическая и компьютерная модель, описывающая основные черты типового предприятия по переработке ядерных материалов. В качестве примера модели процесса переработки выбран так называемый PUREX-процесс. Представлены методики по измерениям количества ядерных материалов на типовом предприятии. Создана гибкая, расширяемая компьютерная модель, не требующая больших усилий для настройки на особенности конкретных предприятий. Реализованы дополнительные меры по защите и сохранности обрабатываемой информации в компьютерной модели предприятия. Разработан план тестирования созданной модели и проведено тестирование на макетных данных.

УДК 539.125.523

### **Решение нестационарной двухобластной задачи Милна в теории переноса нейтронов**

*Н. Б. Бабичев, П. С. Бондарев*

Найдена функция распределения нейтронов в системе из двух полубесконечных однородных сред с плоской границей раздела.

УДК 530.145; 514.764.2; 530.145.7

### **Стационарные связанные состояния дираковских частиц в полях коллапсаров**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Для гравитационного поля Шварцшильда с использованием самосопряженного гамильтониана с плоским скалярным произведением в широком интервале значений гравитационной константы связи впервые получены стационарные связанные состояния элементарных частиц со спином  $1/2$ , не распадающиеся со временем. Для получения дискретного энергетического спектра введено граничное условие, при котором радиальная плотность тока рассматриваемых дираковских частиц вблизи «горизонта событий» равна нулю. Результаты могут привести к пересмотру некоторых представлений стандартной космологической модели, связанных с эволюцией Вселенной и взаимодействием коллапсаров с окружающей средой.



**Кластерная модель атомного ядра и возбужденные состояния ядер. Часть I. Пример построения двухкластерной модели ядра  ${}^8\text{Be}$** *А. А. Садовой, А. С. Ульянов*

Описывается алгоритм построения кластерной волновой функции на примере основного состояния  ${}^8\text{Be}$ , который при введении генераторных и параметрических координат получен впервые. В работе также иллюстрируется развитый авторами метод вычисления различных матричных элементов и интегралов перекрытия между многонуклонными волновыми функциями с неортогональным базисом, обусловленный неэффективностью использования численных методов при вычислении многократных интегралов. Аналитические расчеты проводятся с использованием обобщенных функций. Применение для описания кластеров неортогонального базиса несколько усложняет проведение аналитических вычислений.

**К методике получения внешнетраекторных данных в аэробаллистическом эксперименте***С. И. Герасимов, В. И. Костин, В. А. Кикеев, М. А. Хайруллин*

Оценивается возможность применения современных цифровых камер для решения задач ВТ ФГИ путем использования полупрофессиональной съемочной аппаратуры средней сложности и стоимости (Canon EOS-IDs и Kodak DCS ProSLR/n). Для создания на основе этих камер ЦФСП требовалось: модернизировать цифровые неметрические камеры для фотосъемки в ОИК с близкого расстояния и обеспечить возможность проведения аттестации технических характеристик; адаптировать камеры в точный инструмент фотограмметрических измерений; разработать методическое и программно-математическое обеспечение фотограмметрической калибровки; произвести метрологическую аттестацию камер путем фотограмметрической калибровки технических характеристик; разработать вспомогательное оборудование, произвести монтаж, настройку и юстировку по уточнению координат положения и угловой ориентации камер ЦФСП в системе координат ОИК; выполнить экспериментальные исследования применения ЦФСП в реальных условиях использования при осуществлении ВТ ФГИ. При создании ЦФСП: были разработаны рабочий макет фотограмметрического калибровочного стенда и метод калибровки камер, при котором фотографирование поля опорных точек каждой отдельной камерой производится независимо с 4 точек пространства; выполнена фотограмметрическая калибровка и паспортизация цифровых неметрических камер; произведена сборка оснастки и технологического оборудования, монтаж, настройка и юстировка ЦФСП; осуществлена экспериментальная проверка ЦФСП в плановых испытаниях в ряде аэробаллистических экспериментов в ОИК; выполнены оценки точности ВТ ФГИ, в том числе и сопоставление полученных результатов с данными штатной системы аналогового стереопоста (АС).

**Воздействие гиперзвуковых потоков на шары из различных материалов в свободном полете***С. И. Герасимов, В. А. Кикеев, В. Е. Лысенков, С. И. Осеева, К. В. Тотышев, А. П. Фомкин*

Представлены результаты визуализации поведения различных конструкционных материалов (сплавов, композитных материалов) при воздействии гиперзвукового потока в условиях наземного аэробаллистического эксперимента. Указанные материалы свиде-

тельствуют о широких возможностях аэробаллистического метода [1] в исследованиях аэрофизических процессов разрушения материалов в условиях свободного полета (полет в невозмущенной атмосфере без влияния поддерживающих устройств и т. п.) с гиперзвуковой скоростью, в частности, исследования метеорных явлений применительно к проблеме метеорной опасности.

## Теоретическая и прикладная физика. 2012. Вып. 2

УДК 621.039;519.224.2

### **О статистических критериях при выборочном подходе для обоснования безопасного хранения контейнеров с ядерными материалами**

*А. М. Злобин*

Представлено сравнение американского статистического критерия, применяемого при выборочных проверках контейнеров с ядерными материалами, с нормативными статистическими требованиями, заданными Российскими Федеральными Правилами учета и контроля ядерных материалов. Показано, что американский критерий по существу определяет размер бездефектной статистической выборки, необходимой для проверки утверждения, что с заданной вероятностью число дефектных контейнеров в отсеке хранилища меньше величины  $[0.05M]$ . Рассчитанные при такой трактовке критерия с помощью компьютерной программы Spotcheck размеры статистических выборок контейнеров для отсеков «Давление» и «Давление и Коррозия» находятся в хорошем согласии с американскими данными. Основные отличия российских критериев от американского критерия состоят как в величине доверительной вероятности  $P_0$ , так и в величине «недопустимого» числа дефектов в хранилище при заданной вероятности. Кроме того, формулировка российских статистических критериев предусматривает возможность обнаружения дефектных элементов в случайной выборке (при этом критерий может быть выполнен при соответствующем увеличении размера выборки).

УДК 534.1

### **К визуализации нелинейных волн деформации**

*С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, В. А. Кикеев, С. А. Холин*

Рассматриваются вопросы, связанные с методикой наблюдения солитонов продольной деформации. Анализируются возможности улучшения известной методики генерации волн. Приводятся результаты с использованием светочувствительных энергетических составов для подтверждения возможности одновременной генерации волн в системе волноводов и характерные картины течения в качестве аргументов в пользу использования теневых методов регистрации.

## **Физическая неэквивалентность метрики Шварцшильда и метрик центрально-симметричного незаряженного гравитационного поля, допускающих пересечение пробными частицами «горизонтов событий»**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Квантово-механический анализ показывает физическую неэквивалентность метрики Шварцшильда, запрещающей классическим частицам пересекать «горизонт событий», и метрик, разрешающих частицам пересекать гравитационный радиус (метрики Эддингтона – Финкельштейна, Пенлеви – Гуллстранда, Финкельштейна – Леметра, Крускала). В первом случае возможно существование стационарных состояний дираковских частиц с вещественным энергетическим спектром, во втором случае для всех указанных метрик существуют лишь комплексные уровни энергии частиц со спином  $1/2$ , распадающиеся со временем. Результаты могут привести к пересмотру некоторых представлений стандартной космологической модели, связанных с эволюцией Вселенной и с взаимодействием коллапсаров с окружающей средой.

УДК 539.1.01

## **Задача Коши для уравнений конформной геометродинамики**

*М. В. Горбатенко*

Изложен алгоритм постановки задачи Коши для уравнений общей теории относительности с конформно-инвариантным тензором энергии-импульса. Алгоритм относится к гармоническим координатам в такой пространственно-временной области, в которой отлична от нуля  $00$ -компонента обратного метрического тензора. Приведены рабочие формулы, позволяющие составить компьютерную программу, находить и исследовать решения исходных уравнений путем численного моделирования.

УДК 539.89

## **Сравнение ударных адиабат и ослабления ударной волны в агтсо-железе и нержавеющей стали**

*Б. А. Надыкто, А. И. Ломайкин, И. Н. Павлуша, М. О. Ширшова*

Приводится анализ уравнения состояния железа и нержавеющей сталей 304 и 12X18H10T. В железе и низколегированной стали происходит  $\alpha \rightarrow \epsilon$  фазовый переход, которого нет в нержавеющей сталях 304 и 12X18H10T и некоторых других высоколегированных сплавах. Приведены результаты расчетов зависимости от времени скорости свободной границы железа и стали для условий, отвечающих известным из открытых источников экспериментам. Определены упругопластические характеристики материалов на основании сравнения расчетных профилей скорости с данными экспериментов методом лазерной интерферометрии. Рассчитано ослабление ударной волны в железе и нержавеющей стали при прохождении ударной волны в образце расстояния, составляющего 10–20 толщин ударника. Наличие  $\alpha \rightarrow \epsilon$  фазового перехода в железе и его отсутствие в нержавеющей стали приводит на больших расстояниях, пройденных ударной волной, к большему ослаблению давления в железе (в 1,5–2 раза) по сравнению с нержавеющей сталью.

## **Исследование горения в сверхновых типа Ia**

*С. И. Глазырин*

Сверхновые типа Ia являются важными космологическими объектами, сыгравшими большую роль в определении состава Вселенной. Несмотря на четыре десятилетия исследований, нет полного понимания механизма взрыва. Одна из основных задач состоит в описании распространения волны горения по предсверхновой – белому карлику. Из наблюдений известно, что изначально медленное пламя по мере движения ускоряется и переходит в детонацию. Механизм ускорения, который реализуется в сверхновых, не известен до сих пор, но считается, что оно происходит за счет различных неустойчивостей. В работе исследована неустойчивость Ландау – Даррье тонкого фронта дефлаграционного термоядерного горения, распространяющегося по предсверхновой. Представлено прямое численное моделирование горения с помощью «метода уровней». Показано, что малые возмущения на фронте через некоторое время сливаются в одну большую угловую точку. При движении пламени ограниченных размеров это приводит только к незначительному росту скорости, что не позволяет ему разогнаться до скорости звука.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2012. Вып. 3**

УДК 533.95:537.84

## **Исследование гравитационного перемешивания в присутствии магнитного поля**

*С. И. Глазырин, М. Ю. Егужова, В. А. Жмайло, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

Численно исследуется задача о гравитационном перемешивании в присутствии магнитного поля для идеальной МГД. Граница раздела двух жидкостей изначально плоская, а магнитное поле задается параллельным плоскости раздела. Развивающаяся неустойчивость приводит к образованию области турбулентного перемешивания и замешивает среднюю плотность вещества и магнитное поле. В результате исследования получены как влияние магнитного поля на область перемешивания, так и влияние области перемешивания на магнитное поле. Последнее описано и с помощью предложенной полуфеноменологической модели.

УДК 533.9

## **Многопоточковая модель и численная методика SRG-6 для расчета образования и движения разреженной плазмы в магнитном поле. применение к расчету эффектов ядерного взрыва «Морская звезда»**

*И. М. Анисина, Г. В. Долголева, В. А. Жмайло, Н. В. Тарасова*

Описывается многопоточковая модель для расчета образования и движения разреженной плазмы в геомагнитном поле («многопоточковое» МГД-приближение). Приводится самое полное описание одномерной лагранжевой методики SRG-6, использующей эту модель в шестипоточковом варианте. Проводится сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными о параметрах области ЯВ в американском опыте «Морская звезда».

УДК 530.145.7; 514.764.2; 530.145.7

## **Стационарные связанные состояния дираковских частиц в гравитационном поле Шварцшильда**

*М. А. Вронский, М. В. Горбатенко, Н. С. Колесников, В. П. Незнамов, Е. Ю. Попов, И. И. Сафронов*

Для гравитационного поля Шварцшильда с использованием самосопряженного гамильтониана с плоским скалярным произведением при любых значениях гравитационной константы связи впервые обоснованы и получены в численных расчетах стационарные связанные состояния элементарных частиц со спином  $1/2$ , не распадающиеся со временем. Для получения дискретного энергетического спектра введено граничное условие, при котором компоненты вектора плотности тока рассматриваемых дираковских частиц равны нулю вблизи «горизонта событий». При малых значениях константы связи энергетический спектр близок к водородоподобному. По результатам работы можно сделать предположение о существовании нового типа коллапсаров, для которых отсутствует механизм излучения по Хокингу. С точки зрения космологии неизлучающие реликтовые коллапсары нового типа при малых значениях гравитационной константы связи  $\alpha \ll 1$  могут проявлять себя лишь через гравитацию и, таким образом, являются хорошими кандидатами для носителей «темной материи».

УДК 533.95: 537.84, 537.811

## **Расчеты магнитного поля и потоков $\beta$ -электронов в области взрыва операции «Морская звезда»**

*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.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2013. Вып. 1**

УДК 530.145.7; 514.764.2

## **Стационарные связанные состояния частиц со спином $1/2$ в гравитационных полях Керра и Керра – Ньюмена**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Для гравитационных полей Керра и Керра – Ньюмена с использованием гамильтониана Чандрасекара обоснована возможность существования стационарных связанных состояний пробных частиц со спином  $1/2$ . При выполнении условия Гильберта связанные состояния дираковских частиц с вещественным дискретным энергетическим спектром возможны как для частиц, находящихся вне поверхности внешней эргосферы полей Керра и Керра – Ньюмена, так и для частиц, находящихся под поверхностью внутренней эргосферы. В этом случае поверхности внешней и внутренней эргосфер играют роль бесконечно больших потенциальных барьеров. Квантово-механические частицы со спином  $1/2$  не могут пересекать поверхности эргосфер полей Керра и Керра – Ньюмена. По результатам работы можно сделать

---

предположение о существовании нового типа вращающихся коллапсаров, для которых отсутствует излучение по Хокингу. Результаты работы могут привести к корректировке некоторых аспектов стандартной космологической модели, связанных с эволюцией Вселенной и с взаимодействием вращающихся коллапсаров с окружающей средой.

УДК 530.145.7; 514.764.2

### **Стационарные связанные состояния частиц со спином $1/2$ в гравитационном поле Райсснера – Нордстрёма**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Для гравитационного поля Райсснера – Нордстрёма с использованием самосопряженного гамильтониана с плоским скалярным произведением волновых функций впервые обоснована возможность существования стационарных связанных состояний пробных частиц со спином  $1/2$ . Связанные состояния дираковских частиц с вещественным дискретным энергетическим спектром возможны как для частиц, находящихся вне внешнего «горизонта событий», так и для частиц, находящихся под внутренним «горизонтом событий» – горизонтом Коши. Для получения дискретного энергетического спектра введено граничное условие, при котором компоненты вектора плотности тока рассматриваемых дираковских частиц равны нулю вблизи «горизонтов событий». По результатам работы можно сделать предположение о существовании нового типа заряженных коллапсаров, для которых отсутствует механизм излучения по Хокингу. Результаты работы могут привести к корректировке некоторых аспектов стандартной космологической модели, связанных с эволюцией Вселенной и с взаимодействием заряженных коллапсаров с окружающей средой.

УДК 530.145.7; 514.764.2

### **Отсутствие проблемы неединственности дираковской теории в искривленном пространстве-времени. Связь спин-вращение не является физически значимым эффектом**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

В противовес утверждениям Arminjon в работе еще раз обосновывается и иллюстрируется на ряде примеров отсутствие проблемы неединственности дираковской теории в искривленном и плоском пространстве-времени. Дираковские гамильтонианы в произвольных гравитационных полях, в том числе зависящих от времени, однозначно определяют физические характеристики квантово-механических систем независимо от выбора системы тетрадных векторов. Прямая связь спин-вращение, появляющаяся при определенном выборе тетрадных векторов, не проявляет себя в конечных физических характеристиках рассматриваемых систем и поэтому не является физически значимым эффектом.

УДК 551.551

### **Численное моделирование влияния начального спектра возмущений на развитие гравитационного турбулентного перемешивания**

*Ю. В. Янилкин, В. П. Стаценко, О. Г. Синькова, О. Н. Чернышова, В. Б. Розанов, Н. В. Змитренко*

Численно исследуется развитие гравитационного турбулентного перемешивания при вариации начального спектра гармонических и случайных 3D возмущений контактной гра-

ницы между тяжелым и легким веществами. Результаты расчетов сравниваются с соответствующими расчетами, выполненными ранее на более грубой сетке со случайными начальными возмущениями на КГ. Расчеты проводились по 3D методике ТРЭК.

УДК 532.529

### **Вымывание атмосферных газовых примесей из произвольного динамического источника, действующего в подоблачном слое**

*В. Н. Пискунов, Д. В. Цаплин*

Рассмотрен процесс вымывания газовых примесей в подоблачном слое с учетом испарения примеси из капель и процессов атмосферной турбулентной диффузии. Для решения задачи использован метод расщепления по физическим процессам, в котором динамика вымывания примеси рассматривается отдельно – на фоне атмосферной диффузии и переноса. Тем самым данные процессы создают в подоблачном слое динамический фоновый источник примеси. Получено общее решение уравнений кинетики вымывания для источника с произвольным фоновым распределением. Анализ этого решения выполнен для двух предельных случаев: медленно и быстро меняющихся со временем источников (по сравнению с процессом вымывания). Представлены результаты иллюстративных расчетов, а также приведены практические рекомендации по вычислению скорости вымывания для численных комплексов.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2013. Вып. 2**

УДК 539.125.523

### **О методе приближенных оценок нейтронных характеристик оптически толстых однородных систем, состоящих из легких ядер с примесями делящихся веществ и поглотителей**

*Н. Б. Бабичев, С. А. Серов*

Представлен приближенный метод определения спектра нейтронов и других физических характеристик в однородных бесконечных и оптически толстых средах, состоящих из легких ядер с массовым числом  $A \neq 1$ , а также примесей делящихся веществ и поглотителей нейтронов. В полученных приближенных формулах учтено тепловое движение легких ядер, которое существенно влияет на формирование спектра медленных нейтронов в процессе их термализации.

УДК 530.145.7; 514.764.2; 530.145.7

### **Простой метод решения проблемы « $Z > 137$ » для уровней энергии водородоподобных атомов**

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов*

«Катастрофа» в решении уравнения Дирака для электрона в поле точечного электрического заряда, возникающая для зарядовых номеров  $Z > 137$ , устраняется в работе за счет эффективного учета конечных размеров ядер. Для этого на границе ядра  $r_N = (1,2 \div 1,4) \cdot 10^{-13} \cdot A^{1/3}$  см в численных решениях уравнений для дираковских радиальных волновых функций вводится

граничное условие, зануляющее  $\varphi$ -компоненту электронной плотности тока. В результате для всех ядер Периодической системы  $1 \leq Z \leq 10^5$  энергетические уровни, полученные в численных расчетах, практически совпадают с уровнями энергии в стандартных решениях уравнения Дирака во внешнем поле кулоновского потенциала точечного заряда. Далее для  $Z > 10^5$  расчетные зависимости уровней энергии  $E(Z)$  носят монотонный и гладкий характер. Нижний энергетический уровень  $1S_{1/2}$  достигает энергии  $E = -mc^2$  («падение» электрона на ядро) при  $Z \sim 185$ . Предложенный метод учета конечных размеров ядер может быть легко использован в численных расчетах уровней энергии многоэлектронных атомов.

УДК 532.517.4

### **Численное моделирование с использованием $k$ - $\epsilon$ модели турбулентности формирования плавучей струи**

*А. Р. Гужова, Г. В. Жарова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

Численно исследуется развитие турбулентности в поле тяжести при стационарном истечении в однородную несжимаемую среду более легкой жидкости из локального источника. Расчеты проводились по 2D методике ЭГАК-Т, с использованием современного варианта  $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности. Результаты расчетов сравниваются с известными экспериментальными данными.

УДК 534.14

### **К проблеме эксцентрикового вибратора**

*Б. Б. Байдюсенов, С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, В. А. Кикеев*

Исследован эксцентриковый вибратор, представляющий собой двухмассовую систему с двумя степенями свободы. Разработанная математическая модель движения эксцентрикового вибратора позволила определить две собственные частоты колебаний механической системы. Для подтверждения выдвинутых теоретических положений проведено моделирование движения эксцентрикового вибратора в программном комплексе ADAMS. Исходными данными при моделировании являлись массы тел и жесткости механических связей. Подтверждено, что расчет динамических характеристик вибратора по определению его собственных частот колебаний хорошо согласуется с проведенным моделированием.

УДК 533.6.05

### **Оценка работоспособности регистрирующей аппаратуры в условиях испытаний на ракетном треке**

*С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, В. А. Кикеев*

Выполнен расчет аэродинамического обтекания участка блока видеорегистрации в условиях аэробаллистического эксперимента. Произведена оценка прочности и собственных частот регистрирующей аппаратуры, используемой в аэробаллистическом эксперименте. Сделан вывод о работоспособности аппаратуры.



## **Применение точечного газоразрядного источника света в комбинированных схемах фото-регистрации**

*С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, А. В. Сперанский, К. И. Тотышев*

Описаны схемы теневого фотографирования, разработанные для регистрации в аэробаллистических экспериментах. Приводится алгоритм определения параметров таких схем, имеющий в итоге требования к характеристикам источника света (длительность, яркостная температура). Описан газоразрядный излучатель с характеристиками, удовлетворяющими для использования в перечисленных схемах. Приведены результаты использования схем в практике аэробаллистических испытаний.

## **Проблема коллапса в общей теории относительности и возможные подходы к ее решению (Часть 1)**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Анализируются трудности концептуального характера, с которыми сталкивается общая теория относительности при описании сильных гравитационных полей, и возможные подходы к преодолению этих трудностей. Одним из наиболее перспективных подходов является учет предложенного Пушкиным перенормированного тензора энергии-импульса, описывающего квантовополевую поляризацию пространства-времени. Структура этого тензора совпадает с тензором энергии-импульса, входящим в обобщенные конформно-инвариантным образом уравнения общей теории относительности. В экстремальных состояниях (например, в процессе коллапса) учет вейлевских степеней свободы приводит к возникновению поверхностей разрыва вместо горизонтов событий. На поверхностях разрыва происходит изменение типа решения – переход с одной ветви решения на другую, в результате чего полное решение является регулярым.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2013. Вып. 3**

## **Исследование сдвигового турбулентного перемешивания в плазме с магнитным полем с помощью прямого 3D численного моделирования**

*С. И. Глазырин, М. Ю. Егужова, В. А. Жмайло, В. П. Стаценко*

Численно исследуется МГД-турбулентность: развитие сдвигового турбулентного перемешивания в идеально проводящей плазме с магнитным полем. Расчеты проводились по 3D методике ТРЭК – МГД. Начальное поле постоянно во всей счетной области. Рассматриваются две задачи: поле параллельно скорости; поле нормально к поверхности раздела сред. Результаты расчетов сравниваются с соответствующими результатами расчетов без магнитного поля и анализа по модифицированной  $k-\epsilon$  модели.

## **Проблема коллапса в общей теории относительности и возможные подходы к ее решению. Часть 2**

***М. В. Горбатенко***

На примере сферически симметричных решений показано, что учет вейлевских степеней свободы при гравитационном коллапсе объекта приводит к возникновению не горизонтов событий, а поверхностей разрыва, на которых происходит изменение типа решения – переход с одной ветви решения на другую, в результате чего полное решение является регулярным. Использование уравнений КГД, возможно, позволит избежать коллапсов и сингулярностей не только в сферически симметричных гравитационных полях, но и в полях любой другой конфигурации.

УДК 528.7, 533.6

## **Метод определения внешнетраекторных параметров**

***С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев, В. И. Костин, В. А. Кикеев, А. В. Сперанский***

Применен метод аналитической фотограмметрии, в котором определение элементов ориентирования (внутренних и внешних) снимков и кинематических параметров объекта осуществляется совместным уравниванием по способу наименьших квадратов. В основе метода лежат обобщенные уравнения обратной двойной и прямой фотограмметрических засечек.

УДК 534.12

## **К проблеме устойчивости движения по направляющей ракетного трека**

***С. В. Бутова, С. И. Герасимов, В. И. Ерофеев***

При постановке высокоскоростных экспериментов на ракетном треке ВНИИЭФ в некоторых случаях движения ракетных поездов сопряжено с развитием колебаний в поперечном направлении, приводящих к износу рабочих поверхностей и в некоторых случаях разрушению опорных башмаков ступени, повреждению рельсовых направляющих ракетного трека.

В данной работе сделана попытка математически смоделировать движение высокоскоростных поездов по направляющим ракетного трека ВНИИЭФ на простейших моделях объекта, таких как двухмассовый осциллятор и двухопорный объект (упрощенный вариант ступени ракетного поезда). Рассмотрена устойчивость поперечного движения высокоскоростных объектов по направляющей ракетного трека РФЯЦ-ВНИИЭФ. Показаны зависимости динамической жесткости рельсовой направляющей в движущемся контакте от скорости движения объекта и частоты возмущения. Определены области неустойчивости поперечного движения двухмассового осциллятора и двухопорного объекта. Проведен анализ расчетных и экспериментальных данных.

**Анализ развития гидродинамической неустойчивости на границе раздела активной и пассивной сред***С. Е. Куратов, А. Ю. Микулин*

Рассмотрено развитие неустойчивости на границе раздела активной и пассивной сред. Найден асимптотический вид интеграла столкновений и определены границы применимости уравнений гидродинамики. С использованием теории потенциальных течений найден инкремент роста малых возмущений границы раздела. Полученные результаты использованы для оценки вклада данной неустойчивости в развитие некоторых известных физических процессов.

**Теоретическая и прикладная физика. 2014. Вып. 1**

УДК 530.145+514.764.2

**Эквивалентность и эрмитовость дираковских гамильтонианов в гравитационном поле Керра***М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

В работе для поля Керра доказана физическая эквивалентность дираковского гамильтониана Чандрасекара и самосопряженного гамильтониана  $N\eta$  с плоским скалярным произведением волновых функций. Определен явный вид операторов преобразования гамильтониана и волновых функций Чандрасекара в  $\eta$ -представление с плоским скалярным произведением. При ограничении области определения волновых функций уравнения Дирака в поле Керра двумерными поверхностями вращения вокруг оси  $z$  гамильтониан Чандрасекара и самосопряженный гамильтониан в  $h$ -представлении являются эрмитовыми с выполнением равенства скалярных произведений.

УДК 532.593

**О скачках плотности в экспериментах по динамическому сжатию изотопов водорода***Р. Ф. Трунин, А. Б. Медведев*

Проведено сравнение известных экспериментальных данных по ударно-волновому и квазиизэнтропическому сжатию протия и дейтерия в широких диапазонах изменения давлений и плотностей. Показано, что найденные скачки плотности на ударной адиабате исходно жидкого дейтерия при давлении  $\approx 30$  ГПа и на изэнтропе сжатия дейтерия при  $\approx 150$  ГПа не подтверждаются другими исследованиями. Существующие данные не отрицают наличия особенности поведения водорода при изэнтропическом сжатии в районе  $\approx 300$  ГПа.

**Неиспаряющиеся черные дыры, элементарные частицы, «темная» материя***В. П. Незнамов*

Предложена «игрушечная» модель элементарных частиц «светлой» и «темной» материи. В основу модели положено предположение о существовании реликтовых неиспаряющихся черных дыр с метриками Шварцшильда, Райсснера–Нордстрема, Керра и Керра–Ньюмена. Определена максимально возможная масса элементарных частиц Стандартной модели. Максимальные массы для фермионов и бозонов близки к планковской массе  $M_{pl} = 2,2 \cdot 10^{-5} r = 10^{19}$  ГэВ. Бозон ЛНС с массой  $\sim 125$  ГэВ в рассматриваемой модели может быть бозоном Хиггса, если он является составной частицей, состоящей из фермионной материи. В рамках предложенной модели обсуждаются возможные причины барионной асимметрии Вселенной и возможные причины мощных гамма-всплесков во Вселенной.

УДК 533.93

**Расчетные исследования возможности повышения температуры рентгеновского излучения в мишенях ИТС***М. А. Баринов, В. В. Ватулин, К. А. Волкова, Д. Н. Голишников, А. С. Гнуттов, Г. М. Елисеев, П. Г. Кузнецов, Л. З. Моренко, Е. А. Новикова, Н. П. Плетенева, А. В. Харитонов*

Представлены результаты численных исследований формирования в полости мишени поля РИ с эффективной температурой, превышающей 300 эВ – характерную температуру поля РИ в мишенях, испытываемых на установке NIF. На установке NIF используется ЛИ с длиной волны 0,32 мкм (третья гармоника ЛИ неодимового лазера). Рассмотрены параметры поля РИ при использовании потока ЛИ меньшей длины волны. Использование лазерного излучения меньшей длины волны позволяет существенно повысить предельную интенсивность потока ЛИ в мишенях и увеличить эффективную температуру РИ до 350 эВ и более. Приводятся результаты расчетов конверсии энергии ЛИ в РИ для различных длин волн ЛИ, предварительные расчетные оценки эффективной температуры, энергии и спектрального состава РИ внутри боксов-конвертеров (hohlraum) различной формы.

УДК 352.517.4

**Эволюция локальных возмущений на поверхностях жидких цилиндрических и полусферических оболочек при неустойчивости Рэлея – Тейлора***Н. В. Невмержицкий, Е. А. Сотсков, О. Л. Кривонос*

Представлены результаты экспериментальных исследований эволюции локальных возмущений при развитии неустойчивости Рэлея – Тейлора на внутренних и наружных поверхностях цилиндрических и полусферических оболочек в условиях имплозии и эксплозии. Оболочки из низкопрочного студня водного раствора желатина ускорялись под действием продуктов взрыва смеси ацетилена с кислородом. В реализованных условиях нагружения студень вел себя как жидкость. Локальные возмущения задавались на неустойчивых поверхностях в виде цилиндрических каверн ( $\lambda 2,5 \dots 3$  мм) или образовывались при интерференции УВ. Регистрация течения проводилась киносъемкой. Для сравнения приводятся ре-

зультаты развития аналогичных возмущений на плоской КГ. Получено, что на наружных поверхностях при имплозии цилиндрических и полусферических оболочек радиальная скорость проникновения возмущений в жидкость выше, а на внутренних поверхностях при эксплозии – ниже по сравнению со скоростью возмущений на плоской КГ.

УДК 530.145;514.764.2

### **Анализ квантово-механической эквивалентности метрик центрально-симметричного незаряженного гравитационного поля**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Проведен анализ квантово-механической эквивалентности метрик центрально-симметричного незаряженного гравитационного поля. Анализу подверглись области определения волновых функций уравнения Дирака, эрмитовость гамильтонианов, возможность существования стационарных связанных состояний частиц со спином  $1/2$ . Доказано, что самосопряженные гамильтонианы существуют для: 1) метрик Шварцшильда в сферических, изотропных и гармонических координатах; 2) метрик Эддингтона–Финкельштейна и Пенлеви–Гуллстранда; 3) метрик Леметра–Финкельштейна и Крускала. В случае 1) гамильтонианы являются эрмитовыми, и для них возможно существование стационарных связанных состояний частиц со спином  $1/2$ . В случае 2) самосопряженные гамильтонианы не являются эрмитовыми, для них возможны лишь состояния с комплексными уровнями энергии, распадающимися со временем. В случае 3) самосопряженные гамильтонианы являются эрмитовыми, но из-за явной зависимости от временной координаты для этих гамильтонианов отсутствует возможность существования стационарных связанных состояний частиц со спином  $1/2$ .

## **Теоретическая и прикладная физика. 2015. Вып. 1**

УДК 539.17

### **К вопросу о применимости диффузионной теории в случае среды с высокой активностью**

*Н. Б. Бабичев*

Показано, что при постоянной оптической толщине системы увеличение активности приводит к повышению точности диффузионного приближения.

УДК 539.17

### **Нейтронные поля внутри и за пределами однородных глубокоподкритичных шаров**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены приближенные аналитические решения интегрального уравнения переноса нейтронов в однородных шарах из произвольных делящихся материалов.

Выявлены интересные с методической точки зрения особенности формирования функции распределения нейтронов внутри шаров, находящихся в состояниях глубокой подкритики.

---

УДК 539.17

**Оценка ширины особой области в пространственном распределении нейтронов внутри однородных активных шаров**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Исследовано поведение нейтронной плотности  $n(r)$  в особой области.

УДК 539.17

**Нейтронные поля внутри простых по геометрии сферически-симметричных систем, создаваемые нейтронами спонтанных делений изотопа  $^{238}\text{Pu}$**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получено пространственное распределение нейтронов в оптически тонких сферически-симметричных системах из плутония-238.

УДК 539.17

**Нейтронная кинетика двумерных и трехмерных систем из плутония-239 и плутония-238**

*Н. Б. Бабичев, И. В. Лутиков, А. А. Севастьянов*

С помощью численных расчетов и аналитических вычислений по формулам подобия исследованы нейтронные характеристики двумерных и трехмерных тел, выполненных из чистых (без примесей) изотопов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$ .

УДК 519.633

**Результаты численного исследования методики решения кинетического уравнения Больцмана, проведенного на задаче об однородной релаксации в простом газе с произвольно заданными начальными данными**

*В. С. Афанасьева, А. В. Харитонов*

Авторы занимаются созданием методики для численного решения кинетического уравнения Больцмана в применении к газовой динамике для трёхмерной геометрии. В статье приведены результаты сравнительных расчётов с точным решением задачи об однородной релаксации в простом газе с произвольно заданными начальными данными.

УДК 539.17

**Некоторые вопросы теоретической нейтронной кинетики**

*Н. Б. Бабичев*

Найдены новые общие аналитические решения кинетического уравнения, и теория подобия нейтронно-кинетических процессов получила дальнейшее развитие.

УДК 536.36-541.12

**Прямое численное моделирование перехода к детонации горения водородовоздушной смеси в трубе с препятствиями**

*О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

С помощью кода FIRECON выполнено прямое 3D численное моделирование развития турбулентного горения в водородовоздушной смеси. Эволюция этого течения приводит к переходу горения в детонацию при перемещении фронта пламени вдоль трубы с перегородками. Результаты численного моделирования сравниваются с известными экспериментальными данными.

УДК 530.145.7; 514.764.2

**Некоторые аспекты квантовой механики движения частиц в статических центрально – симметричных гравитационных полях**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов, Е. Ю. Попов*

Анализируются области определения волновых функций и эффективные потенциалы уравнений Дирака и Клейна–Гордона для квантово-механических частиц в статических центрально-симметричных гравитационных полях. Показано, что для всех рассмотренных метрик, допускающих существование горизонтов событий, реализуются условия «падения» частиц на соответствующие горизонты событий. Анализ экстремального поля Райсснера–Нордстрема с единственным горизонтом событий при выполнении условия, найденного В. И. Докучаевым, Ю. Н. Ерошенко, также указывает на невозможность существования вне горизонта событий стационарных связанных состояний квантово-механических частиц с положительной энергией.

УДК 539.382.4

**Термофлуктуационная кинетическая модель откольного разрушения**

*С. В. Михайлов*

Предложена формулировка термофлуктуационной кинетической модели откольного разрушения с учетом в кинетическом уравнении вязкости, поверхностного натяжения и упруго-пластических свойств материала. Формулировка по возможности упрощена для облегчения введения модели в расчетные методики. В модель входят три эмпирических параметра, по-мимо параметров сплошного материала.

УДК 539.17

**Усовершенствование теории подобия процессов нейтронной кинетики и результаты новых аналитических исследований**

*Н. Б. Бабичев*

Получены новые результаты и подведены итоги теоретических исследований, длившихся с 2007 года по сей день.

---

УДК 539.17

**Соотношения подобия, вытекающие из уравнения переноса тепла в однородных и профильных системах**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены соотношения подобия тепловых процессов.

УДК 539.17

**Элементы теории подобия волновых процессов**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены соотношения подобия, вытекающие из волнового уравнения.

УДК 539.17

**Соотношения подобия, полученные из неоднородного односкоростного кинетического уравнения для нейтронов**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены и опробованы новые формулы подобия нейтронно-кинетических процессов.

**Теоретическая и прикладная физика. 2015. Вып. 3**

УДК 539.17

**О приближенных аналитических решениях спектральной задачи на главные собственные значения**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Отработан алгоритм приближенного решения спектрального кинетического уравнения.

УДК 539.17

**О формулах подобия, полученных на основе свойства инвариантности уравнения Шредингера**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Получены формулы подобия некоторых квантово-механических процессов.



## **Регулярное центрально-симметричное статическое решение уравнений конформной геометродинамики**

*М. В. Горбатенко*

Находится регулярное центрально-симметричное статическое решение уравнений общей теории относительности, обобщенных таким образом, чтобы они удовлетворяли условию конформной инвариантности. Решение состоит из двух частей, разделенных поверхностью ветвления. Во внешней части решение совпадает с решением Шварцшильда в пространстве де Ситтера. Внутренняя ветвь отличается от внешней тем, что в ней не равен нулю инвариант, построенный из вектора Вейля. На поверхности ветвления выполняются все условия, выполнение которых требуется в релятивистской гидродинамике при рассмотрении поверхностей разрыва: непрерывность компонент метрики и равенство нулю радиальной компоненты силы, действующей на объект. Видимый радиус объекта определяется его гравитационным радиусом и кривизной пространства в месте размещения объекта. Построенное решение позволяет избежать концептуальных трудностей, возникающих в ОТО (сингулярности, горизонты событий и др.). В то же время построенное решение приводит к уравнению состояния материи внутри объекта, относящееся к категории смеси обычной материи и темной энергии.

УДК 530.145.7; 514.764.2

## **О регулярных решениях уравнения Дирака в экстремальном поле Райсснера–Нордстрёма**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов, Е. Ю. Попов*

В работе анализируются эффективные потенциалы квадрированных уравнений Дирака в статических полях Шварцшильда и Райсснера–Нордстрёма. Показано, что во всех рассмотренных случаях реализуются условия «падения» частиц на соответствующие горизонты событий. Исключение составляет одно из решений для экстремального поля Райсснера–Нордстрёма с единственным горизонтом событий. Голая сингулярность Райсснера–Нордстрёма, как и сингулярности в центре для рассматриваемых метрик с горизонтами событий, прикрыва для квантово-механических частиц бесконечно большим отталкивающим потенциальным барьером.

УДК 539.17

## **Эволюция во времени нейтронных характеристик однородных шаров из делящихся материалов**

*А. А. Севастьянов*

С помощью аналитических вычислений и численных расчетов исследовано изменение нейтронных характеристик активных шаров с течением времени.

УДК 536.36-541.12

## **Прямое 3D численное моделирование роста горячих точек в детонации**

*Ю. В. Янилкин, В. Г. Морозов, И. И. Карпенко, О. Н. Чернышова*

Представлены результаты 3D численного моделирования процесса роста горячих точек в детонации с учетом турбулентного перемешивания. Проведенные исследования показали,

что в результате воздействия УВ, развития неустойчивости на границе ВВ/ПВ и вихревого течения крупномасштабные частицы ВВ перемешиваются и дробятся до мелких размеров, при которых за счет развитой поверхности контакта ВВ и ПВ успевает происходить прогрев ВВ (передача энергии от ПВ) и эффективно продолжается реакция разложения. Численное моделирование позволило рассчитать скорость роста горячих точек (порядка 100–200 м/с). Это подтверждает гипотезу о том, что турбулентность в зоне реакции при механическом переносе вещества играет важную роль и ее необходимо учитывать в теории детонации.

УДК 551.2

## **Возможное объяснение образования смежных впадин островных дуг на основе концепции тепловых мантийных плюмов**

*А. Б. Медведев*

На основе предложенного ранее варианта концепции тепловых мантийных плюмов рассматривается гипотетическое объяснение возникновения островных дуг, их последующее погружение и образование расширяющихся со временем двух смежных с ними линейных впадин. В этой модели расположенный под корой вертикальный плюм, имеющий высоту порядка размера верхней мантии, в среднем плотнее (тяжелее) среды при умеренном перегреве относительно нее (в теплом состоянии). Его поведение нормализуется с увеличением средней температуры – сильноперегретый (горячий) плюм легче среды. Теми же свойствами плавучести, что и плюм, обладают вертикальные колонки перегретой среды верхней мантии. Немонотонное поведение средней плотности колонок плюма и среды при увеличении их средней температуры аналогично поведению плотности воды, которая в интервале  $\approx 273\text{--}281$  К больше, чем при 273 К, и меньше последней при перегреве  $>281$  К. При интерпретации возникновения островной дуги как следствия всплытия до уровня коры горячего плюма в форме вертикальной пластины, названная аномалия плотности приводит к тому, что при передаче тепла от плюма среде в двух плоских тепловых волнах, реализующихся на двух границах плюма-пластины со средой верхней мантии, он постепенно остывает и уплотняется (начиная с границ со средой), среда, нагреваясь до теплого состояния, также уплотняется. Подобное уплотнение может являться причиной погружения островов и образования и расширения со временем двух пограничных линейных впадин (впадин стыка), имеющих горизонтальный размер  $\Delta x \sim (\chi t)^{0,5}$  ( $\sim 10(t)^{0,5}$ ,  $\Delta x$  – км,  $t$  – время после всплытия плюма в млн лет,  $\chi \approx 0,01$  см<sup>2</sup>/с). На больших промежутках времени образуется общая впадина, отвечающая переходу вещества плюма и нагретой от него среды в теплое плотное состояние. Выполнено упрощенное моделирование этих процессов при решении одномерной задачи о горизонтальном остывании вертикальной пластины воды с начальной температурой  $>281$  К, помещенной в водную среду при 273 К. Решение подтвердило ожидаемый рельеф поверхности в районе всплытия плюма-пластины. Рассмотренные модельные варианты показали возможность реализации различных режимов движения (центробежный, центростремительный, с нулевой скоростью) границы поверхностного поднятия со впадиной стыка и максимума впадины стыка (аналог оси глубоководного желоба) по отношению к центральной плоскости пластины в зависимости от исходных параметров задачи. При моделировании выявлено, что при общем опускании поверхности ее ограниченный участок, примыкающий к максимуму впадины стыка, после погружения до максимальной глубины может испытывать относительный подъем. Сделана попытка приложения полученных модельных результатов к интерпретации Курильской островодужной системы.

УДК 523-11.539-11

### **Решетка Лича и распространенность стабильных нуклидов во вселенной**

*М. В. Горбатенко, Г. Г. Кочемасов*

Анализируются обнаруженные корреляции между распространенностью 284 стабильных нуклидов во Вселенной и статистическими весами 284 мелких дыр решетки Лича. Корреляции, по-видимому, могут быть объяснены в рамках формализма, в котором внутреннее пространство 7-мерно, а спиноры в этом пространстве имеют 24 компоненты. Предлагается модель первичного нуклеосинтеза, в которой стабильные элементы последовательно возникают в инфляционной стадии: вначале уран-238, в конце водород H. Все элементы, включая углерод и обойденные ядра, создаются по единой схеме. На второй стадии распространенность меняется по классической схеме: в недрах сверхновых и при их взрывах.

УДК 519.633

### **Математическое моделирование неоднородной релаксации в смеси нейтральных газов, состоящей из метана и аргона**

*В. С. Афанасьева, А. В. Харитонов*

Приведены результаты математического моделирования неоднородной релаксации в смеси нейтральных газов, состоящей из метана и аргона.

УДК 530.145.7;514.764.2

### **Космическая цензура и стационарные связанные состояния частиц со спином $\frac{1}{2}$ в поле голой сингулярности Райсснера–Нордстрёма**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов, Е. Ю. Попов, И. И. Сафронов*

Рассмотрена квантовая механика движения частиц со спином  $\frac{1}{2}$  в поле голой сингулярности Райсснера–Нордстрёма (RN). Показано, что для любой квантово-механической дираковской частицы независимо от наличия и знака ее электрического заряда голая сингулярность RN отделена бесконечно большим эффективным отталкивающим барьером. При одноименных зарядах частицы и источника поля голой сингулярности RN на некотором расстоянии от голой сингулярности существует второй эффективный полностью непроницаемый потенциальный барьер. Доказано, что в поле голой сингулярности RN могут существовать связанные состояния частиц со спином  $\frac{1}{2}$ , выявлены условия для возникновения таких состояний и проведены расчеты по нахождению собственных значений энергии и волновых функций.

УДК 621.324

### **Общий вид свободной энергии тела в классической статистике**

*А. М. Сарры*

В этой работе найден точный аналитический вид неизвестной функции  $\phi$ , которая фигурирует в общем виде выражения для свободной энергии классического тела, полученного в статистической физике Ландау–Лифшица.

УДК 533.7

**Асимптотические решения кинетического уравнения Больцмана и многокомпонентная неравновесная газовая динамика**

*С. А. Серов, С. С. Серова*

Сформулирован корректный метод асимптотического решения кинетического уравнения Больцмана, обсуждаются метод Гильберта и метод Энского. Получена система уравнений многокомпонентной неравновесной газовой динамики, соответствующая первому порядку в приближенном (асимптотическом) методе решения системы кинетических уравнений Больцмана.

УДК 530.145.7; 514.764.2

**Эффективный метод вычисления собственных значений угловых уравнений Чандрасекара–Пейджа**

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов*

С помощью преобразования Прюфера предлагается эффективный, надежный и незатратный численный метод вычисления собственных значений угловых уравнений Чандрасекара–Пейджа.

УДК 519.6

**Численное и аналитическое решение задачи сдвигового турбулентного перемешивания с использованием  $k$ - $\varepsilon$  модели**

*В. П. Стаценко, Ю. В. Третьяченко, Ю. В. Янилкин*

Построено численное решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений, получающихся из уравнений  $k$ - $\varepsilon$  модели для автомодельного режима задачи о сдвиговом турбулентном перемешивании. Проведено также численное моделирование задачи с использованием  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентного перемешивания по коду ЭГАК на подробных сетках. Дано сравнение этих результатов с результатами 3D прямого численного моделирования и с экспериментальными данными.

**Теоретическая и прикладная физика. 2016. Вып. 1**

УДК 539.17

**Общее точное и некоторые приближенные решения задачи на главные собственные значения  $\lambda$**

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Определены границы справедливости приближенных формул, которым подчиняются главные собственные значения.

## Движение частиц со спином $\frac{1}{2}$ в аксиально-симметричном поле голых сингулярностей статической $q$ -метрики

*В. П. Незнамов, В. Е. Шемарулин*

Исследовано квантово-механическое движение частиц со спином  $\frac{1}{2}$  в аксиально-симметричном поле статических голых сингулярностей, образованных массовым распределением с квадрупольным моментом ( $q$ -метрика). Анализ проведен с помощью метода эффективных потенциалов уравнения Дирака, обобщенного на случай, когда радиальные и угловые переменные не разделяются. Показано, что при  $-1 < q < q_{lim}$ ,  $|q_{lim}| \ll 1$  голые сингулярности не исключают возможности существования стационарных связанных состояний дираковских частиц для вытянутого вдоль аксиальной оси распределения массы в  $q$ -метрике.

Для сжатого массового распределения голые сингулярности  $q$ -метрики отделены от дираковской частицы бесконечно большими отталкивающими барьерами с последующей потенциальной ямой, углубляющейся при движении по углу от экватора (или от  $\theta = \theta_{min}$ ,  $\theta = \pi - \theta_{min}$ ) к полюсам. Исключение составляют полюсы и при  $0 < q < q^*$  – некоторые точки  $\theta_j$  для состояний частицы с  $j \geq \frac{3}{2}$ .

УДК 539.17

## Области применимости линейных по плотности соотношений для скорости размножения нейтронов в однородных шарах из делящихся материалов

*Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Изучен вопрос о ширине линейного участка зависимости главного собственного значения  $\lambda$  от плотности однородного активного шара.

УДК 530.145.7; 514.764.2

## Непроницаемые барьеры при движении электрона и позитрона в одноименно заряженных кулоновских полях

*В. П. Незнамов*

При анализе квантово-механического движения заряженных частиц со спином  $\frac{1}{2}$  во внешнем кулоновском поле методом эффективных потенциалов уравнения Дирака обнаружен ранее не исследованный непроницаемый отталкивающий барьер. Барьер существует лишь в случае одноименных по знаку зарядов частиц и кулоновского поля. Для покоящейся частицы с приведенной массой  $m$  радиус барьера равен половине ее классического радиуса, при возрастании энергии частицы радиус барьера уменьшается. В работе обсуждается влияние непроницаемого барьера на движение позитронов в кулоновском поле сверхтяжелых ядер и на проблему спонтанного излучения позитронов при  $Z > Z_{scr}$ . Результаты работы могут использоваться в качестве тестов для разрабатываемых моделей внутренней структуры лептонов.

**Полуэмпирическое двухфазное уравнение состояния платины (твердая фаза, жидкость) с учетом испарения***В. М. Елькин, В. Н. Михайлов, Т. Ю. Михайлова*

Предложено полуэмпирическое уравнение состояния платины (твердая фаза, жидкость) с учетом испарения (конденсации). Параметры уравнения состояния подобраны из условия описания экспериментальных данных по температурным зависимостям теплоемкости, теплового расширения, модуля объемного сжатия; изотермического и ударного сжатия, а также кривых плавления и равновесия жидкость-пар. В области высоких сжатий и температур для подбора параметров использовались результаты теоретических расчетов. Выбранная функциональная форма тепловых составляющих свободной энергии предусматривает ионизацию вещества и в пределе высоких температур соответствует полностью ионизованному идеальному газу ионов и электронов. Потенциальная (холодная) составляющая давления при сверхвысоком сжатии удовлетворяет модели атома Томаса–Ферми.

**Изменение траектории опасного космического тела для предотвращения столкновения его с землей под воздействием высотного ядерного взрыва***А. К. Шаненко, С. С. Соколов, В. Н. Мотлохов, Т. И. Чайка, А. В. Самодолов*

Смоделировано воздействие ядерного взрыва на реальное космическое тело (астероид типа «Апофис») с помощью математической методики численных гидродинамических расчетов с учетом прочностных свойств материала. Суть настоящей работы – изучение динамических процессов, возникающих в МКТ, угрожающих нашей планете, при различных вариантах воздействия на них ядерными зарядами. Рассматривались два типа подрыва ядерного заряда относительно космического тела: высотный и заглубленный. Расчетно получена картина деформации и отклоняющего импульса для обоих типов воздействия. Рассматривается высотный ядерный взрыв. Цель работы – получение информации о реальных возможностях ядерного взрыва по противодействию МКТ, а также для создания базы данных для будущей полномасштабной системы защиты Земли.

**Теоретическая и прикладная физика. 2016. Вып. 2****Предельное аналитическое решение одной из нейтронно-кинетических задач***Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов*

Основной результат выполненных в статье теоретических исследований заключается в аналитическом решении задачи о скорости размножения нейтронов  $\lambda$  в случае активной профильной системы при стремлении ее оптической толщины к нулю.

УДК 539.17

## **Новые приближенные аналитические соотношения для главных собственных значений (гсз) $\lambda$ , справедливые в случае однородного активного шара, и точная интерполяционная формула**

**Н. Б. Бабичев, А. А. Севастьянов**

Получена чрезвычайно точная интерполяционная формула, которой подчиняются главные собственные значения  $\lambda$ .

УДК 523.44

## **Отклонение и фрагментация астероида типа «АПОФИС» для предотвращения столкновения его с Землей под воздействием заглубленного ядерного взрыва**

**А. К. Шаненко, С. С. Соколов, В. Н. Мотлохов, Т. И. Чайка, А. А. Пушкарев**

Приводятся результаты оценки воздействия на реальное космическое тело заглубленного ЯВ с энерговыделением 3,5 Мт ТЭ с помощью методики численных гидродинамических расчетов с учетом прочностных свойств материала. В отличие от высотного ЯВ, при котором происходит отклонение траектории МКТ, заглубленный взрыв кроме смещения траектории может привести к разрушению астероида. Возможно, такое воздействие может оказаться менее эффективным и менее безопасным способом защиты Земли от космической опасности, но не исключено возникновение ситуации, когда из-за недостатка ресурса времени придется проводить отклоняющее и одновременно разрушающее воздействие на МКТ. Цель работы – получение информации о реальных возможностях заглубленного ЯВ по противодействию опасным космическим телам.

УДК 539.17

## **Аналитическое решение задачи о заполнении рентгеновским излучением мишени непрямого облучения для инерциального термоядерного синтеза**

**Т. С. Климюк, И. В. Попов**

Для лазерной мишени «непрямого» облучения с использованием ряда приближений получены два аналитических решения задачи о заполнении полости этой мишени рентгеновским излучением, возникающим при лазерном облучении ее стенок. Первое решение получено с использованием диффузионного приближения, второе – из соответствующего кинетического уравнения переноса излучения. Проведено сравнение полученных решений.

УДК 530.12:531.51, 537.874

## **Рассеяние длинноволнового электромагнитного излучения на центрально-симметричном гравитационном поле**

**С. Ф. Гаранин, Е. М. Кравец**

Рассматривается рассеяние электромагнитного излучения на центрально-симметричном гравитационном поле в случае длинных волн  $\lambda \gg r_g$ . С учетом поправок к галилеевым зна-

чениям метрики на больших расстояниях вычислены поправки к электромагнитному полю плоской волны, а затем найдено сечение рассеяния. Такой метод вычислений отличается от представленных в литературе методов расчета с помощью функций Грина и с помощью фейнмановских диаграмм. Дифференциальное сечение в длинноволновом пределе сравнивается с сечениями рассеяния на черной дыре ультрарелятивистских классических частиц и электромагнитных волн с промежуточной длиной волны  $\tilde{\lambda} \sim r_g$ .

УДК 539.17

## **Приближение вперед-назад в теории переноса нейтронов**

*В. М. Шмаков*

Приближение вперед-назад является простейшей моделью переноса нейтронов, позволяющее получить ряд точных аналитических решений, качественно описывающих реальные характеристики плоских, цилиндрических и сферических систем с делящимися материалами. Модель переноса в приближении вперед-назад абсолютно точно реализуется в программах Монте-Карло, что позволяет тестировать те алгоритмы этих программ, которые не связаны с геометрией или константами.

УДК 530.12:531.51; 514.764.323

## **Центрально-симметричная задача для уравнений общей теории относительности в конформно-инвариантной форме**

*М. В. Горбатенко*

Приведена полная система уравнений общей теории относительности для центрально-симметричной нестационарной задачи и тензора энергии-импульса, обеспечивающего инвариантность уравнений относительно конформных преобразований. Система предназначена для численного моделирования и выяснения принципиальных вопросов теории гравитации (коллапс, горизонты событий и т. д.). Принятый в работе подход к решению системы уравнений отличается от обычно используемого для этих целей подхода в формализме ADM рядом особенностей: тензор энергии-импульса имеет однозначную конструкцию; конгруэнция времени подобных кривых не задается извне, а генерируется самим решением; система обеспечивает сохраняющийся вектор тока, позволяющий анализировать решения в термодинамических терминах.

УДК 539.4

## **Откольное разрушение и компактирование латуни Л63. Экспериментальные исследования**

*И. Р. Трунин, И. А. Терешкина, А. М. Подурец, В. Г. Симаков, В. А. Брагунец, И. Н. Кондрохина, М. И. Ткаченко, А. В. Цветков*

Выполнен полный цикл работы по исследованию откольного разрушения и компактирования латуни Л63, включающий проведение экспериментов и металлографический анализ сохраненных образцов.



УДК 530.145.7; 514.764.2

### **Непроницаемые барьеры для частиц со спином $\frac{1}{2}$ в поле Райсснера–Нордстрёма**

*В. П. Незнамов, В. Е. Шемарулин*

С помощью метода эффективных потенциалов уравнения Дирака исследованы особенности квантово-механического движения частиц со спином  $\frac{1}{2}$  в поле Райсснера–Нордстрёма (RN). Показано, что при одноименных зарядах дираковской частицы и источника поля RN и при определенных соотношениях между параметрами поля и частицы существуют полностью непроницаемые для частицы барьеры отталкивания. Эти барьеры являются удобной характеристикой минимальных расстояний, достигаемых частицей при рассеянии в поле RN.

УДК 539.4

### **Откольное разрушение и компактирование латуни Л63. Численное моделирование**

*М. А. Гусева, Г. Г. Иванова, И. А. Терешкина, И. Р. Трунин*

На примере латуни рассмотрен экспериментально-расчетный метод исследования откольного разрушения и компактирования, который позволяет дать количественные оценки параметров моделей откольного разрушения и компактирования металлов.

УДК 536.71

### **Полуэмпирическое уравнение состояния и фазовая диаграмма двух конденсированных фаз полистирола**

*В. М. Елькин, В. Н. Михайлов, Т. Ю. Михайлова*

Предложено полуэмпирическое уравнение состояния полистирола с учетом двух конденсированных фаз и построением фазовой диаграммы. Уравнение состояния согласовано с имеющимися экспериментальными данными, полученными как при квазистатическом, так и ударном воздействиях. Расчетные ударные адиабаты полистирола хорошо согласуются с экспериментальными измерениями во всем исследованном диапазоне давлений (до  $\sim 1000$  ГПа) и температур (до  $\sim 105$  К), а за пределами этого диапазона – с расчетами по модели ТФПК. Хорошее согласие получено также и с результатами ударного сжатия пористого полистирола в широком диапазоне начальных плотностей от 1,05 до 0,055 г/см<sup>3</sup>.

УДК 519.633

### **Математическое моделирование сжатия вещества потоком тяжелых молекул**

*А. В. Харитонов*

Приведены результаты расчетов сжатия вещества потоком тяжелых молекул.

**Асимптотические решения кинетического уравнения распространения излучения, уточненные граничные условия и модификации приближения лучистой теплопроводности и (спектрального) диффузионного приближения**

*С. А. Серов, С. С. Серова*

В статье построены асимптотические решения кинетического уравнения распространения излучения в двух предельных случаях: оптически толстой и оптически тонкой сред. Получено формальное решение кинетического уравнения распространения излучения в виде бесконечного ряда и показано, что для оптически толстой среды, когда бесконечный ряд заведомо сходится, это формальное решение аналогично построенному асимптотическому решению кинетического уравнения распространения излучения. Из формального решения кинетического уравнения распространения излучения получены 2 важные для практического применения в расчетах распространения излучения уточненные граничные условия (для внутренних границ и внешних границ с вакуумом). Предложены основанные на формулах для уточненных граничных условий модификации приближения лучистой теплопроводности и (спектрального) диффузионного приближения.

УДК 530.12:531.51

**Решение Шварцшильда и его анализ**

*М. В. Горбатенко*

Воспроизводится процедура нахождения центрально-симметричного статического решения уравнений общей теории относительности – решения Шварцшильда. Решение анализируется на предмет согласия его с базовыми принципами общей теории относительности: отсутствие сингулярностей у компонент метрики, эволюционность решения, наличие механизма остановки коллапса. Некоторые из этих принципов, как оказывается, нарушаются. Делается вывод об актуальности задачи поиска физически приемлемого центрально-симметричного статического решения уравнений общей теории относительности.

УДК 530.12:531.51

**Центрально-симметричные статические решения уравнений общей теории относительности, отличные от решения Шварцшильда**

*М. В. Горбатенко*

Находятся два типа точных решений уравнений общей теории относительности для центрально-симметричной статической задачи, отличающиеся от известного решения Шварцшильда. Решения анализируются на предмет согласия их с базовыми принципами общей теории относительности: отсутствие сингулярностей у компонент метрики, эволюционность решений, наличие механизма остановки коллапса. Некоторые из этих принципов, как оказывается, нарушаются. Делается вывод об актуальности задачи поиска физически приемлемого центрально-симметричного статического решения уравнений общей теории относительности.

УДК 530.145.7;514.764.2

### Падение частиц на центр. Гипотеза Ландау-Лифшица и численные расчеты

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов*

Впервые решением уравнения Шредингера с потенциалом, обратно пропорциональным квадрату расстояния до центра, с помощью преобразования Прюфера определены дискретные энергетические спектры в зависимости от минимального радиуса в численных расчетах. Показано, что энергия частицы в состоянии  $n$  обратно пропорциональна квадрату минимального радиуса. При стремлении минимального радиуса к нулю дискретные спектры не ограничены снизу. При уменьшении минимального радиуса значимые вероятности обнаружения частиц смещаются к центру.

УДК 530.145.7;514.764.2

### Вырожденное стационарное связанное состояние частиц со спином $\frac{1}{2}$ в поле Шварцшильда

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов*

При использовании квадратично-интегрируемых вещественных радиальных волновых функций релятивистского уравнения типа Шредингера с эффективным потенциалом поля Шварцшильда доказано существование вырожденного стационарного состояния частиц со спином  $\frac{1}{2}$  с энергией  $E = 0$ . Энергия связи состояния  $E_{cb} = mc^2$  не зависит от квантовых чисел  $j, l$  и одинакова для любых значений гравитационной константы связи. Частицы с  $E = 0$  с подавляющей вероятностью находятся на расстоянии от горизонта событий в интервалах от нуля до долей или нескольких единиц комптоновской длины волны фермиона в зависимости от величины гравитационной константы связи и величин  $j, l$ . Анонсируются аналогичные решения для вырожденных связанных состояний фермионов в полях Райсснера–Нордстрёма, Керра, Керра–Ньюмена. Системы атомного типа – коллапсары с определенным числом фермионов, находящихся в вырожденных связанных состояниях, – предложены в качестве частиц темной материи.

УДК 539.4

### Способы определения значения откольной поврежденности

*И. А. Терешкина, И. Р. Трунин, В. Г. Симаков, М. И. Ткаченко*

На примере стали 10 рассмотрены способы определения величины откольной поврежденности образцов. Первый способ основывается на измерениях плотности образца до и после эксперимента и вычислении поврежденности. Второй способ предполагает проведение металлографического структурного анализа поперечного среза образца и использование планиметрической методики определения площади среза дефекта.

**Масштабная инвариантность и проблемы общей теории относительности***М. В. Горбатенко*

На примере центрально симметричной статической задачи исследованы возможности такого варианта обобщения уравнений общей теории относительности, в котором уравнения становятся инвариантными относительно локализованных масштабных преобразований. В рамках обобщенных уравнений внутреннее решение выглядит по-разному для наблюдателя, использующего постоянный масштаб длины, и для наблюдателя, масштаб длины которого зависит от гравитационного поля. Доказывается, что если считать истинными решениями те, что получает второй наблюдатель, проблемы общей теории относительности находят свое естественное решение.

УДК 539.4

**Динамическая модель откольного разрушения в жидкостях и твердых телах***М. А. Десятникова, О. Н. Игнатова, В. А. Раевский*

Численное решение задач динамического деформирования и разрушения конструкционных материалов требует привлечения современных теоретических моделей, которые должны быть включены в общую схему расчета различных газодинамических процессов. В работе [1] представлена динамическая модель откольного разрушения и компактирования поврежденного материала, обладающего прочностью – модель ДРК. На основе модели ДРК построена модель ДРК-L, позволяющая учитывать роль вязкости, поверхностного натяжения и инерционных сил на процесс развития поврежденности. Предложенную модель можно использовать для численного моделирования откольного разрушения материалов, находящихся как в твердых, так и в жидких фазовых состояниях. Данная работа содержит описание динамической модели откольного разрушения и компактирования ДРК-L и особенностей численной реализации, а также результаты верификации модели ДРК-L на основании экспериментальных данных по ударно-волновому нагружению меди, свинца, воды и глицерина.

УДК 533.951.7;544.032.65

**Численное моделирование турбулентного перемешивания в плоском опыте на лазерной установке NOVA***В. П. Стаценко, Ю. В. Третьяченко, Г. М. Елисеев, Н. В. Быковникова, Ю. В. Янилкин*

Представлены результаты численного моделирования по коду ЭГАК плоских лазерных опытов на установке NOVA (США), в которых экспериментально реализуется режим турбулентного перемешивания. Эти эксперименты предназначены для проведения тестирования существующих феноменологических моделей турбулентности на задаче с высокой плотностью энергии. Расчеты проводились как с  $k$ - $\epsilon$  моделью турбулентности, так и методом 2DILES (implicit large eddy simulation) моделирования. В работе использованы сплайн-УРС плазмы веществ лазерной мишени, построенные в модели ионизационного равновесия с учетом вырождения электронов Плазма-4. Аппроксимация термодинамических функций выполнена с использованием линейно-кубических сплайнов.

УДК 532.593

**Описание свойств ударно-сжатого плавленого кварца при высоких давлениях на основе модифицированной модели Ван-дер-Ваальса**

*А. Б. Медведев*

Разработанное ранее широкодиапазонное УРС диоксида кремния, основанное на модифицированной модели Ван-дер-Ваальса, использовано для расчета ударной адиабаты, скорости звука вдоль нее и других характеристик плавленого кварца. Результаты сопоставлены с новыми экспериментальными данными по ударному сжатию плавленого кварца до давления 1,6 ТПа и скорости звука до 1,1 ТПа. Также выполнено сравнение расчетных зависимостей (ударных адиабат, изотерм, изэнтроп), определенных на основе этого и двух других модельных уравнений состояния, до 1000 ТПа.

УДК 523.44

**Численное моделирование воздействия высотного взрыва ядерного заряда на астероид типа «Апофис»**

*А. К. Шаненко, С. С. Соколов, В. Н. Мотлохов, Т. И. Чайка, А. И. Панов, А. В. Самодолов*

Смоделировано воздействие ядерного взрыва на реальное космическое тело (астероид типа «Апофис») с помощью математической методики численных расчетов задач механики сплошной среды с учетом влияния лучистой теплопроводности и возможных фазовых переходов, что не рассматривалось ранее. Суть проводимых исследований – изучение динамических процессов, возникающих в малых космических телах, угрожающих нашей планете, при различных вариантах воздействия на них ядерными взрывными устройствами. Рассматривается высотный тип подрыва ядерного заряда относительно космического тела. Произведен анализ основных физических процессов, реализующихся в астероидах после воздействия, рассчитан механический импульс. Цель работы – получение информации о реальных возможностях ядерного взрыва по противодействию опасным космическим телам, а также для создания базы данных для будущей полномасштабной системы защиты Земли.

УДК 530.12:531.51

**Гравитационно-геометрическая модель массы**

*М. В. Горбатенко*

Для уравнений общей теории относительности предлагается конструкция тензора энергии-импульса, состоящая только из дираковских матриц. Показано, что возникающее в случае центрально-симметричной статической задачи решение является регулярным и ничем неотличимым от решения Шварцшильда.

УДК 519.633

## **Результаты численного исследования методики решения кинетического уравнения Больцмана, проведенного на газодинамической задаче о распаде разрыва**

*А. В. Харитонов*

Приведены результаты численного исследования методики решения кинетического уравнения Больцмана, проведенного на газодинамической задаче о распаде разрыва.

УДК 530.145

## **Самосопряженные уравнения второго порядка для фермионов и представление Фолди–Ваутхайзена**

*В. П. Незнамов*

На примере внешнего электромагнитного поля получены самосопряженные уравнения второго порядка со спинорными волновыми функциями. Установлена связь этих уравнений с уравнениями типа Шредингера с эффективными потенциалами для вещественных радиальных волновых функций и с уравнениями Дирака в представлении Фолди–Ваутхайзена. С использованием матриц Дирака в киральном представлении получены кирально-симметричные замкнутые уравнения для левых и правых спиноров. Для произвольного электромагнитного поля получено замкнутое кирально-симметричное уравнение Фолди–Ваутхайзена. В рассмотренных уравнениях, независимо от наличия или отсутствия массы у фермионов, отсутствуют слагаемые, смешивающие левые и правые спиноры.

УДК 536.71

## **Полуэмпирическое уравнение состояния твердых $\alpha$ -, $\omega$ -, $\beta$ -фаз титана и жидкости с учетом испарения**

*В. М. Елькин, В. Н. Михайлов, Т. Ю. Михайлова*

Предложено полуэмпирическое уравнение состояния, включающее в себя три полиморфные модификации ( $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\beta$ ) титана и жидкость с учетом испарения. Трудности построения уравнения состояния связаны с недостаточной изученностью фазовой диаграммы титана в области высоких давлений. Параметры уравнения состояния подобраны с учетом всех имеющихся экспериментальных данных, полученных как в квазистатических, так и динамических условиях до 13,6 ТПа. В области сверхвысоких сжатий и температур для подбора параметров использовались результаты теоретических расчетов. Выбранная функциональная форма тепловых составляющих свободной энергии предусматривает ионизацию вещества и в пределе высоких температур соответствует полностью ионизованному идеальному газу ионов и электронов. Потенциальная (холодная) составляющая энергии при сверхвысоком сжатии удовлетворяет модели атома Томаса–Ферми. Наличие газовой асимптотики в уравнении состояния жидкости позволяет рассчитать кривую испарения титана и положение критической точки.

УДК 514.83; 539.1.01

### Частицы со спином $\frac{1}{2}$ и 11-мерное риманово пространство

*М. В. Горбатенко*

Доказывается, что среди многомерных моделей частиц со спином  $\frac{1}{2}$  модель в 11-мерном римановом пространстве с сигнатурой  $1(-) \& 10(+)$  выделена тем, что удовлетворяет принципу причинности, допускает возможность формулировки теории в терминах октонионов, а также формулировки на решетках  $E_8$  и  $A_{24}$ .

УДК 530.145.7; 514.764.2

### Стационарные связанные состояния фермионов в поле Райсснера–Нордстрёма

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов, В. Е. Шемарулин*

После перехода от уравнения Дирака к релятивистскому уравнению типа Шредингера с эффективным потенциалом поля Райсснера–Нордстрёма (RN) с двумя горизонтами событий для заряженных и незаряженных фермионов доказано существование вырожденных стационарных связанных состояний с вещественными квадратично-интегрируемыми радиальными волновыми функциями. Фермионы в таких состояниях локализованы вблизи горизонтов событий в интервалах от нуля до долей или нескольких единиц комптоновской длины фермиона в зависимости от величин гравитационной и электромагнитной констант связи и от величин углового и орбитального моментов  $j, l$ . В случае экстремальных полей RN с одним горизонтом событий подтверждено отсутствие стационарных связанных состояний для любых значений гравитационной и электромагнитной констант связи. Для голой сингулярности RN в случае заряженных фермионов при определенных значениях физических параметров показано существование дискретного энергетического спектра. Дискретный спектр существует также для незаряженных фермионов. Голая сингулярность RN в квантовой механике частиц со спином  $\frac{1}{2}$  не несет угрозы космической цензуре, так как она прикрыта бесконечно большим потенциальным барьером. Электрически нейтральные системы атомного типа (коллапсары RN с определенным числом фермионов, находящихся в вырожденных связанных состояниях) предложены для рассмотрения в качестве частиц темной материи.

УДК 530.145.7; 514.764.2

### Особенности движения частиц со спином $\frac{1}{2}$ в аксиально-симметричном поле Керра–Ньюмена

*В. П. Незнамов, В. Е. Шемарулин*

Для поля Керра–Ньюмена получен самосопряженный дираковский гамильтониан. Осуществлен переход к релятивистскому уравнению типа Шредингера. Для случая, когда угловые и радиальные переменные не разделяются, обобщен метод получения эффективных потенциалов. Эффективные потенциалы имеют изолированные особенности на горизонтах событий, в окрестности начала координат и при определенных параметрах поля Керра–Ньюмена и фермиона в окрестности некоторых значений радиальной координаты. Для экс-

---

тремального поля Керра–Ньюмена доказана невозможность существования стационарных связанных состояний частиц со спином  $\frac{1}{2}$ . Для поля Керра–Ньюмена с «нулевой» гравитацией  $G \rightarrow 0$  при одноименных зарядах фермиона и источника поля на некотором расстоянии от начала координат существует непроницаемый барьер. Вид и расположение барьера не зависят от степени вращения источника поля Керра–Ньюмена.

УДК 533.9

### **Тестовые задачи магнитной гидродинамики**

*В. А. Жмайло, В. Н. Софронов, Ю. В. Янишкин*

Представлен обзор по тестовым задачам магнитной гидродинамики. Эти тесты естественным образом разделяются на две большие группы. К первой группе относятся задачи для идеальной бесконечно проводящей плазмы. Ко второй группе – задачи, в которых учитываются диссипативные процессы в виде теплопроводности, магнитной диффузии и эффекта Холла.

### **Теоретическая и прикладная физика. 2017. Вып. 3**

УДК 530.145.6; 514.764.2

### **Из чего может состоять темная материя**

*В. П. Незнамов*

При исследовании квантовой механики взаимодействия фермионов с внешними гравитационными полями Шварцшильда, Райсснера–Нордстрёма, Керра, Керра–Ньюмена ранее была показана возможность существования коллапсаров без пересечения частицами горизонтов событий. В работе такие неиспаряющиеся коллапсары со связанными фермионами и без них предложены в качестве частиц темной материи. Область масс коллапсаров, свободных от теоретических и наблюдательных ограничений, находится в интервале  $M_p \leq M < 5 \cdot 10^{14}$  г,  $M_p$  – планковская масса. Нижняя граница смыкается с областью существования реликтовых стабильных черных дыр планковской массы.

УДК 530.12:531.51

### **Возможный способ доказательства существования черных дыр**

*М. В. Горбатенко*

В гравитационном поле, описываемом решением Шварцшильда, красное смещение становится сколь угодно большим по мере приближения источника к горизонту событий. Экспериментальная регистрация этого факта была бы прямым доказательством существования черных дыр, предсказываемых общей теорией относительности.



## **Решение Маннгейма–Казанаса, конформная геометродинамика и темная материя**

*М. В. Горбатенко, С. Ю. Седов*

В рамках стандартных уравнений Эйнштейна общей теории относительности плоские ротационные кривые вращения галактик не могут быть объяснены без привлечения гипотезы о темной материи, частицы которой пока не идентифицированы. Вакуумное центрально-симметричное решение уравнений конформной гравитации является известной метрикой Маннгейма–Казанаса, на основе которой эти кривые получают чисто геометрическое объяснение. В статье показано, что метрика Маннгейма–Казанаса является решением не только уравнений Баха, получаемых из конформно-инвариантного лагранжиана Вейля, но и решением уравнений конформной геометродинамики при ненулевом векторе Вейля. В связи с этим формулируется гипотеза, что космическое пространство на галактических масштабах может описываться не геометрией Римана, а геометрией Вейля.

УДК 621.324

## **Молекулярно-динамическое моделирование процесса самозатачивания ударника из $W$ при проникании в мишень из $Fe$**

*М. В. Ветчинников, М. А. Демина, А. Н. Анисимов, С. А. Грушин, А. Г. Кечин, В. П. Фомин, В. А. Дегтярев*

Приведены результаты МД моделирования проникания различных ударников из вольфрама в мишень из железа. Моделирование проводилось как для монокристаллических, так и поликристаллических образцов. По результатам расчетов видно, что процесс самозатачивания для ударников из вольфрама имеет пороговый характер и начинается со скорости  $\sim 2,1$  км/с. Приведено сравнение с имеющимися экспериментальными данными. Расчеты проведены с помощью комплекса классической молекулярной динамики MoDyS, развитаемого в ИТМФ. В моделировании использовались многочастичные потенциалы погружного типа (EAM).

УДК 519.633

## **Результаты численного исследования методики решения кинетического уравнения Больцмана, проведенного на задаче об истечении газа в вакуум**

*А. В. Харитонов*

Приведены результаты численного исследования методики решения кинетического уравнения Больцмана, проведенного на задаче об истечении газа в вакуум.

УДК 530.145.7;514.764.2

## **Самосопряженные уравнения второго порядка для фермионов в гравитационных и электромагнитных полях Шварцшильда, Райсснера–Нордстрёма, Керра и Керра–Ньюмена**

*В. П. Незнамов*

Для фермионов получены релятивистские самосопряженные уравнения второго порядка в гравитационных и электромагнитных полях Шварцшильда, Райсснера–Нордстрёма, Керра

и Керра–Ньюмена. Уравнения второго порядка с эффективными потенциалами и со спинорными волновыми функциями расширяют возможность получения регулярных решений квантовой механики движения частиц со спином  $\frac{1}{2}$ .

## **Теоретическая и прикладная физика. 2017. Вып. 4**

УДК 530.12:531.51

### **Конформная геометродинамика: поверхность разрыва вместо коллапса**

*М. В. Горбатенко*

Построено регулярное центрально-симметричное статическое решение уравнений конформной геометродинамики. Регулярность достигнута за счет введения поверхности разрыва, по обе стороны от которой решение принадлежит к категории точных общих решений, но с различными константами интегрирования. Необходимость введения поверхности разрыва диктуется требованием минимальности действия. Более того, это требование приводит к условию на нахождение радиуса поверхности разрыва. Это же требование ограничивает минимальный радиус поверхности разрыва.

УДК 534.222.2

### **О чувствительности расплава ВВ ТЭН к ударно-волновому импульсу**

*О. Л. Игнатов, А. А. Кабаев, С. А. Кабаев, Е. О. Ткач, С. Ю. Сулова*

Выполнены экспериментальные исследования чувствительности расплава ВВ ТЭН к ударно-волновому импульсу и получены расчетные оценки параметров порогового (критического) уровня давления (амплитуда и длительность), при воздействии которого на расплав ВВ ТЭН происходит инициирование взрыва ВВ.

УДК 533.9

### **Влияние джоулева разогрева и теплопроводности на диффузию магнитного поля в плазму. Часть 1**

*М. Ю. Егужова, В. А. Жмайло, Е. А. Новикова, В. Н. Софронов*

Рассмотрена модельная задача, на примере которой выясняются некоторые качественные закономерности, характеризующие связь диффузии поля с джоулевым нагревом. Плазма считается неподвижной, диффузия – изотропной, зависимость коэффициента диффузии от температуры – степенной. Показано, что решение этой задачи может быть сведено к решению системы автомодельных уравнений. Получено строгое (численное) решение этой системы, а также приближенное (аналитическое). Эти решения позволяют проследить взаимное влияние диффузии, разогрева и теплопроводности зависимостью от двух безразмерных параметров, характеризующих интенсивность джоулева разогрева и теплопроводности. В частности, оказывается, что увеличение магнитного поля приводит к замедлению его диффузии.

## Уравнение состояния нереагирующего взрывчатого вещества FOX-7 и уравнение состояния его продуктов взрыва

*Б. А. Надыкто, А. И. Ломайкин*

Для нового низкочувствительного ВВ 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена (FOX-7) разработаны уравнение состояния нереагирующего ВВ и уравнение состояния его ПВ. Холодное давление берется в форме  $P(\sigma) = 3B_0(\sigma^{5/3} - \sigma^{4/3})$ , где  $\sigma = \rho/\rho_0$  – степень сжатия,  $\rho_0$  и  $B_0$  – равновесная плотность вещества и модуль объемного сжатия при  $P = 0$ ,  $T = 0$  К. Параметры  $\rho_0$  и  $B_0$  подбираются на основании экспериментальных данных.

Параметры за фронтом детонационной волны рассчитываются из законов сохранения на ударном скачке, исходя из уравнения состояния ПВ с учетом энергии превращения. Скорость детонации определяется в расчетах как минимальное значение скорости ударной волны  $D(\rho)$  в ПВ. Уравнение состояния ВВ FOX-7 тестировано по экспериментальным данным на нормальной изотерме, уравнение состояния ПВ FOX-7 – по экспериментальной зависимости скорости детонации от начальной плотности ВВ.

Отмечается, что уравнения состояния ВВ и ПВ FOX-7 близки к уравнениям состояния октогена и гексогена. Это может быть следствием одинакового поведения этих трех ВВ при сжатии ввиду их одинакового элементного состава  $\text{CH}_2\text{N}_2\text{O}_2$ .

## Исследование возможности внутриядерных переходов в ядре $^{186}\text{Re}$ в лазерной плазме установки «Искра-5»

*А. А. Есьман, М. А. Куликов, Д. Е. Ларин, Г. В. Тачаев*

Представлены результаты экспериментальных исследований неупругих процессов, происходящих внутри возбужденных ядер  $^{186}\text{mRe}$  в лазерной плазме, генерируемой на установке «Искра-5». По зафиксированному нарушению радиоактивного равновесия между основным и возбужденным состояниями ядра  $^{186}\text{Re}$  предложена гипотеза о существовании в ядре неизвестного уровня энергии. Оценены энергия уровня, его время жизни, четность и момент, а также вероятность внутриядерного перехода под действием вторичного рентгеновского излучения.

### Теоретическая и прикладная физика. 2018. Вып. 1

## Метод определения эффективных коэффициентов связи в (1+1)GTWave волокнах

*А. В. Бочков, А. Н. Слобожанин, М. Г. Слобожанина, Д. В. Хмельницкий*

Предлагается расчетно-экспериментальный метод определения эффективных коэффициентов связи для излучения накачки в (1+1)GTWave волокнах. Приводятся выражения, полученные из аналитических решений для распределения мощности излучения накачки, которые позволяют определить значения данных коэффициентов, а также схема и результаты экспериментов по их измерению.

## **Метод определения эффективных коэффициентов связи в (2+1) GTWave волокнах**

*А. В. Бочков, А. Н. Слобожанин, М. Г. Слобожанина, Д. В. Хмельницкий*

Предлагается расчетно-экспериментальный метод определения эффективных коэффициентов связи для излучения накачки в (2+1) GTWave волокнах. Приводятся выражения, полученные из аналитических решений для распределения мощности излучения накачки, которые позволяют определить значения данных коэффициентов, а также схема и результаты экспериментов по их измерению.

УДК 539.128.412

## **Решеточные дираковские матрицы и формализм стандартной модели**

*М. В. Горбатенко*

Показано, что вещественные матрицы Дирака и волновая функция, отождествляемая с обратной реперной матрицей, адекватно воспроизводят многие из тех атрибутов Стандартной Модели, которые в настоящее время вносятся в эту модель руками. Принципиальным моментом при этом является использование так называемых матриц Дирака решетчатого типа и инвариантных проекторов ранга 3.

УДК 530.145.7; 514.764.2

## **Условия квантово-механической эквивалентности статических и стационарных метрик центрально-симметричных гравитационных полей**

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Проведен анализ квантово-механической эквивалентности метрик центрально-симметричного незаряженного гравитационного поля. Рассмотрены статические метрики Шварцшильда в сферических и изотропных координатах, стационарные метрики Эддингтона–Финкельштейна и Пенлеви–Гуллстранда, нестационарные метрики Леметра–Финкельштейна и Крускала–Шекереса. Анализу подвергались области определения волновых функций уравнения Дирака и уравнения второго порядка, эрмитовость гамильтонианов, возможность существования вырожденных стационарных связанных состояний частиц со спином  $\frac{1}{2}$  с нулевой энергией.

При использовании вещественных радиальных функций уравнения Дирака и уравнения второго порядка в поле Шварцшильда область определения волновых функций ограничивается значениями  $r > r_0$ , где  $r_0$  – радиус горизонта событий. Соответствующее ограничение существует также в других координатах для всех рассмотренных метрик.

Гамильтонианы для статических метрик Шварцшильда в сферических и изотропных координатах, а также для стационарных метрик Эддингтона–Финкельштейна и Пенлеви–Гуллстранда являются эрмитовыми. Для этих метрик возможен переход к самосопряженным уравнениям второго порядка со спинорными волновыми функциями. В отличие от уравнения Дирака эти уравнения допускают существование вырожденных стационарных связанных состояний фермионов с нулевой энергией. Нормируемые собственные функции этих состояний обращаются в нуль на горизонтах событий.

Гамильтонианы для нестационарных метрик Леметра–Финкельштейна и Крускала явно зависят от временных координат, и в координатах этих метрик отсутствует возможность определения стационарных связанных состояний частиц со спином  $\frac{1}{2}$ .

**Преобразование Прюфера и решение уравнений типа Шредингера с сингулярными эффективными потенциалами полей Шварцшильда и Райсснера–Нордстрёма*****В. П. Незнамов, И. И. Сафронов, В. Е. Шемарулин***

Рассмотрена проблема решения уравнений типа Шредингера с сингулярными эффективными потенциалами полей Шварцшильда (S) и Райсснера–Нордстрёма (RN). При этом использовано преобразование Прюфера, сводящее проблему к решению двух нелинейных уравнений первого порядка для фазовой функции и амплитуды (уравнений Прюфера). Исследовано поведение интегральных кривых уравнения для фазовой функции в окрестностях нерегулярных особых точек  $\rho = 0, \rho_+, \rho_-$  и в окрестности регулярной особой точки  $\rho = \infty$ . Предложены алгоритмы нахождения решений, удовлетворяющих физически приемлемым асимптотикам для фазовой и волновой функций, как в случае наличия горизонтов событий полей S и RN, так и в случае их отсутствия (голая сингулярность поля RN).

**Теоретическая и прикладная физика. 2018. Вып. 2****О природе образования волн при сварке взрывом*****О. Б. Дреннов***

Дан обзор существующих критериев волнообразования при сварке взрывом. Все они основаны на гидродинамическом приближении косоугольного соударения. На базе анализа экспериментальных данных по исследованию структуры кумулятивной струи, реализующейся в точке контакта, предложена новая модель волнообразования, основывающаяся на главенствующей роли пластических деформаций и сопутствующего термического разупрочнения. При сдвиговом течении разупрочненных слоев развивается неустойчивость Кельвина–Гельмгольца.

**Коллапсары Керра–Ньюмена с фермионами в стационарных связанных состояниях*****К. О. Власов, В. П. Незнамов, И. И. Сафронов, В. Е. Шемарулин***

При использовании для фермионов квантово-механического уравнения второго порядка с эффективным потенциалом поля Керра–Ньюмена (KN) получены результаты, качественно отличающиеся от результатов, получаемых при использовании уравнения Дирака. При наличии двух горизонтов событий доказано существование вырожденных стационарных связанных состояний заряженных и незаряженных фермионов с квадратично-интегрируемыми волновыми функциями, обращающимися в нуль на горизонтах событий. Фермионы в таких состояниях локализованы вблизи горизонтов событий с максимумами плотностей вероятности, отстоящими от горизонтов событий на доли комптоновской длины волны фермионов в зависимости от констант связи, углового и орбитального моментов  $j, l$  и азимутального

квантового числа  $m_\varphi$ . В случае экстремальных полей KN показано отсутствие стационарных связанных состояний фермионов для любых значений констант связи. Для заряженных и незаряженных фермионов в поле голой сингулярности KN при определенных значениях физических параметров показано существование дискретных энергетических спектров. В квантовой механике с уравнением второго порядка из-за регулярного поведения эффективных потенциалов поля KN в окрестности начала координат голая сингулярность KN не несет угрозы космической цензуре.

УДК 514.83; 530.12:531.51

## **Получение уравнений самосогласованного движения заряженных частиц методом Эйнштейна–Инфельда–Гофмана**

*М. В. Горбатенко*

Классическая версия метода ЭИГ 1949 года разработана для ОТО с нулевым тензором энергии-импульса. В данной работе усовершенствованный вариант этого метода применяется для получения уравнения движения двух электрически заряженных частиц, т. е. к случаю, когда тензор энергии-импульса не равен нулю. Воспроизводятся известные из электродинамики уравнения, которые следуют из лагранжиана Дарвина. Обсуждается ряд вопросов концептуального характера, возникающих при попытках воспользоваться уравнениями ОТО с ненулевым тензором энергии-импульса с целью получения уравнений движения частиц (наличие двух и более параметров малости, наличие точного решения для одной частицы в тех координатах, которые используются в аппроксимационных разложениях метода ЭИГ, автоматическое исчезновение расходящихся интегралов при получении уравнения движения частиц и др.).

УДК 551.24

## **Тепловая модель образования краевых прогибов**

*А. Б. Медведев*

Предложена модель краевых (предгорных) прогибов, существующих по обе стороны линейной горной области. Считается, что эта область образована сравнительно быстро всплывшим тепловым плюмом. Последний моделируется горячей пластиной, ширина и длина которой равны размерам горной области, высота соответствует размеру верхней мантии. В качестве причины образования КП и их преобразования со временем рассматривается медленный нагрев среды (ее вертикальных слоев) посредством двух плоских тепловых волн, распространяющихся от двух границ плюма со средой. Полагается, что зависимость средней плотности вещества верхней мантии от температуры является немонотонной – малые перегревы относительно исходной среды приводят к его уплотнению (из-за отрицательного коэффициента теплового расширения), большие перегревы (под горами) сопровождаются разуплотнением. Следствием нагрева среды при такой зависимости плотности является образование двух КП шириной  $l \sim (\chi t)^{0,5}$  ( $\sim 10(t)^{0,5}$ ,  $l$  – км,  $t$  – время после всплытия плюма в млн лет,  $\chi \sim 0,01$  см<sup>2</sup>/с). Упрощенное моделирование этих процессов с использованием результатов решения одномерной задачи о горизонтальном остывании вертикальной пластины показало качественное соответствие модельного рельефа и его динамики наблюдаемым в КП. Приводятся доводы в пользу реализации у вещества среды верхней мантии отрицательных значений теплового расширения.

УДК 532.593

**Уравнение состояния протия с учетом испарения, диссоциации и ионизации**

*А. Б. Медведев*

С применением модифицированной модели Ван-дер-Ваальса для смесевых веществ построено полуэмпирическое уравнение состояния жидкого и газообразного протия с учетом испарения, диссоциации и ионизации. Результаты расчетов, выполненных на его основе, сопоставлены с имеющимися данными опытов по изотермическому, квазиизэнтропическому и ударному сжатию. В области более высокоэнергетических состояний, по сравнению с достигнутыми в экспериментах, проведено сравнение термодинамических величин разработанного уравнения состояния с вычисленными по моделям, основанных на первых принципах.

УДК 530.145

**Самосопряженные уравнения второго порядка для частиц со спином  $\frac{1}{2}$ , движущихся во внешнем кулоновском поле**

*В. П. Незнамов, И. И. Сафронов*

Изучены самосопряженные уравнения второго порядка со спинорными волновыми функциями для фермионов, движущихся во внешнем кулоновском поле. Для стационарных состояний уравнения характеризуются разделенными состояниями с положительной и отрицательной энергиями, и это приводит к возможности вероятностной интерпретации. Для кулоновского поля притяжения энергетический спектр уравнения второго порядка совпадает со спектром уравнения Дирака, в то время как плотности вероятности состояний несколько отличаются. Для кулоновского поля отталкивания существует непроницаемый потенциальный барьер, радиус которого зависит от классического радиуса электрона и от энергии электрона. Существование непроницаемого барьера не противоречит результатам экспериментов по изучению внутренней структуры электрона и не влияет в низшем порядке теории возмущений на сечение кулоновского рассеяния электронов. Наличие непроницаемого барьера может приводить к конфайнменту позитронов в сверхкритических ядрах с  $Z \geq 170$  при реализации спонтанного испускания вакуумных электрон-позитронных пар.

УДК 514.83; 530.12:531.51

**Конформная геометродинамика – возможная альтернатива общей теории относительности**

*М. В. Горбатенко*

Ряд серьезных проблем, выявленных в общей теории относительности за пределами ньютоновского и пост-ньютоновских приближений (сингулярности, коллапсы, аномалии ротационных кривых и др.), могут быть решены в рамках конформной геометродинамики, основанной на минимальном конформно-инвариантном расширении уравнений общей теории относительности. Доказательству этого утверждения и посвящена данная работа.

## **Аналитические решения некоторых задач дифракции сверхширокополосного электромагнитного излучения в высокочастотном приближении для уравнений Максвелла**

*Н. П. Пятаков, А. В. Солдатов*

Представлены некоторые аналитические решения задач дифракции сверхширокополосного электромагнитного излучения на круглых отверстиях в высокочастотном приближении. Постановка задачи выбрана таким образом, что в задачах остается единственный безразмерный параметр – отношение длительности импульса СШП ЭМИ, выраженной в пространственных единицах, к диаметру круглого отверстия. Это позволяет наглядным образом определить основные закономерности процесса дифракции.

## **Расчетное исследование прочностных свойств корпуса устройства локализации расплава при термонагрузении**

*А. И. Абакумов, И. И. Сафронов, А. С. Смирнов, В. О. Астафьева, И. А. Магола, В. Г. Сидоров, Н. Ю. Шурыгина*

Важной задачей при проектировании устройства локализации расплава является требование обеспечения прочности его стального корпуса, который должен выдерживать поступающий расплав массой 250 тонн, температура которого достигает  $\approx 2000\div 2500$  К. В данной работе представлены расчетные исследования, направленные на обоснование прочности корпуса УЛР Ленинградской АЭС-2 (ЛАЭС-2) при аварийном выходе расплава за пределы корпуса реактора. Анализируется сохранение целостности корпуса УЛР в условиях термомеханического нагружения в процессе захлаживания расплава с учетом гидростатического давления расплава. Расчеты проводились с использованием программного комплекса ДАНКО, разработанного в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2018. Вып. 4**

## **Циклотронное движение частицы, обладающей анизотропной массой**

*А. Е. Дубинов, О. В. Сулова*

Рассматривается классическая динамика заряженной точечной частицы, обладающей анизотропией массы, в однородном магнитном поле. Выведены новые общие формулы для циклотронной частоты для случаев недиагональных тензоров массы частицы.



**О выборе высоты подрыва ядерного заряда над поверхностью астероида***М. В. Горбатенко, С. С. Дьяков, А. И. Ломайкин*

Рассматривается вопрос: на каком расстоянии от поверхности астероида следует производить ЯВ, чтобы полный механический импульс, возникающий при указанном воздействии, приводил к максимально возможному изменению скорости астероида. Рассмотрение ведется с использованием двух основных приближений. Во-первых, используется модель испарительного импульса. Во-вторых, реальный спектр рентгеновского излучения ЯВ заменяется монолинией с некоторой эффективной энергией фотонов. Получена формула для оценки максимально возможного полного механического импульса, который астероид может получить при ЯВ. На примере астероида шарообразной формы приводится алгоритм учета геометрической формы астероида. Во всех случаях существует оптимальная высота подрыва, которая зависит от многих конкретных условий. Приводятся количественные оценки для каменных и железных астероидов при ЯВ с энергией взрыва 150 кт и 1,5 Мт.

**Исследование динамики и светимости струи лазерной плазмы при разлете поперек магнитного поля***А. В. Бессараб, Г. А. Бондаренко, Л. В. Волонина, С. Г. Гаранин, Н. В. Жидков, В. А. Жмайло, И. Н. Никитин, И. В. Соболев, В. А. Стародубцев, В. П. Стаценко, Р. Р. Сунгатуллин*

Приводятся результаты исследований разлета струи лазерной плазмы, возникающей при облучении плоской алюминиевой мишени импульсом иодного лазера с длиной волны 1,315 мкм. Энергия лазерного излучения составляла 330–480 Дж при длительности 0,5 нс и диаметре пятна фокусировки 3 мм. Такие параметры соответствовали интенсивности лазерного излучения на поверхности мишени  $\sim 10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup>. Струя разлеталась поперек однородного магнитного поля напряженностью  $\approx 1$  кЭ. Остаточное давление воздуха в вакуумной камере составляло  $\sim 10^{-5}$  торр. С использованием 9-кадрового фотохронографа зарегистрирована пространственно-временная картина свечения струи в двух взаимно перпендикулярных направлениях (вдоль и поперек вектора напряженности магнитного поля), которая свидетельствует об отсутствии осевой симметрии свечения. Проведены зондовые измерения возмущений магнитного поля в плоскости, перпендикулярной оси струи. Измерения сравниваются с результатами расчета, в котором используется модель, включающая двумерные газодинамические уравнения для описания динамики плазмы и квазитрехмерные уравнения для расчета магнитного поля.

**Численное исследование влияния начального спектра возмущений на развитие гравитационного турбулентного перемешивания***О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

Описаны постановка и результаты расчетов по методике ЭГАК развития зоны турбулентного перемешивания в гравитационном перемешивании при вариации начальных возмущений в расчетах. Зона развивается на плоской в начальный момент времени контактной границе. Исследование проводилось с помощью прямого 3D и 2D численного моделирования. Проводится сравнение результатов 2D и 3D расчетов между собой.

**Численные исследования мишеней тяжелоионного инерциального термоядерного синтеза***В. В. Ватулин, Р. М. Шагалиев*

Представлен обзор расчетно-теоретических исследований параметров термоядерных мишеней, которые были рассмотрены для применения в системах инерциального термоядерного синтеза с драйверами на основе тяжелоионных ускорителей. Работы выполнялись в 1990–2000 годах сотрудниками теоретических и математического отделений РФЯЦ-ВНИИЭФ. Рассмотрены степень неоднородности поля рентгеновского излучения в полости мишеней различной конструкции, выполнены оценки энергии тяжелоионного ускорителя для реализации инициирования термоядерного горения.

**Теоретическая и прикладная физика. 2019. Вып. 1**

УДК 530.145

**Доказательство отсутствия классических черных дыр***М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Введена квантово-механическая гипотеза космической цензуры. Рассмотрено взаимодействие скалярных частиц, фотонов и фермионов с гравитационными и электромагнитными полями Шварцшильда, Райсснера–Нордстрёма, Керра и Керра–Ньюмена. Анализу подвергалось поведение эффективных потенциалов в уравнениях второго порядка типа Шредингера. Установлено, что квантовая теория запрещает существование в Природе классических черных дыр с горизонтами событий. Альтернативой могут являться составные системы: коллапсары с фермионами, находящимися в стационарных связанных состояниях.

УДК 523.44

**Оценка эффективности воздействия заглубленного ядерного взрыва на опасные космические тела***А. К. Шаненко, С. С. Соколов, В. Н. Мотлохов, А. В. Самодолов, В. И. Тимарева, А. А. Каякин, Л. Ф. Гударенко, Д. Г. Гордеев*

Исследована эффективность воздействия заглубленного ядерного взрыва на малое космическое тело. Проведен анализ сопутствующих физических процессов. Оценено значение механического импульса, передаваемого космическому телу. Рассматривались взрывы энергосодержанием 3,5 и 6 Мт ТЭ. Проводимые исследования позволяют изучить динамику разрушений, возникающих в космическом теле, угрожающем нашей планете. В отличие от высотного ядерного взрыва, заглубленный взрыв оказывает более сильное воздействие, что может привести не только к изменению природной траектории астероида, но и к его разрушению. При выборе вариантов защиты Земли от космических тел может возникнуть ситуация, когда такое воздействие будет наиболее предпочтительным. Цель работы – оценка эффективности заглубленного ядерного взрыва по противодействию опасным космическим телам и подготовка данных для создания в будущем полномасштабной системы защиты Земли.

**Расчет сильного взрыва в разреженной атмосфере в трехпоточковом приближении*****В. А. Жмайло, О. Е. Кочеткова, И. М. Анисина***

Излагается «многопоточковый» подход к расчету течений, вызванных сильным взрывом в разреженной атмосфере. Приводятся примеры и анализ результатов расчетов как для однородной, так и неоднородной (экспоненциальной) атмосферы для чисел Кнудсена 0.1, 1.0 и 10.0.

УДК 530.12:531.51

**Сравнение конформных теорий гравитации по аналогам решений Райсснера–Нордстрёма*****М. В. Горбатенко, С. Ю. Седов***

Для одного из вариантов конформно-инвариантных теорий гравитации (конформной геометродинамики) получено точное решение для тела, обладающего массой и электрическим зарядом. Решение является аналогом решения Райсснера–Нордстрёма в общей теории относительности. Ранее аналог такого решения был получен Маннгеймом и Казанасом для другого варианта конформно-инвариантной теории гравитации – конформной теории гравитации Вейля. Решения-аналоги не совпадают. Обсуждаются вопросы соответствия решений-аналогов. Делается вывод о том, что с электродинамическими уравнениями согласуется только решение-аналог, получаемое из уравнений конформной геометродинамики.

**Теоретическая и прикладная физика. 2019. Вып. 2**

УДК 533.9

**Исследования на лазерной установке «Искра-5» термоядерных мишеней непрямого действия с цилиндрическим кожухом-конвертером**

***В. И. Анненков, В. С. Афанасьева, А. А. Базин, Ю. М. Боднар, Э. Г. Балдина (Васина), В. В. Ватулин, О. А. Винокуров, Ю. А. Дементьев, Г. В. Долголева, В. Ф. Ермолович, Н. В. Жидков, В. М. Изгородин, В. П. Коваленко, А. Г. Кравченко, А. В. Кунин, Д. Н. Литвин, С. П. Мартыненко, В. А. Осин, В. И. Павлуша, С. И. Петров, Н. А. Рябикина, А. В. Сенник, Г. И. Скидан, С. И. Скрипник, Н. А. Суслов, Б. П. Тихомиров, Э. Н. Тихомирова, А. В. Харитонов, Е. В. Шапоренко***

Представлен анализ результатов экспериментальных и расчетно-теоретических исследований параметров термоядерных мишеней с цилиндрическим кожухом-конвертером, которые были испытаны на лазерной установке «Искра-5» в режиме непрямого воздействия. Работы выполнялись в 1993–1998 годах сотрудниками отделения лазерной физики (ИЛФИ), теоретических и математического отделений РФЯЦ-ВНИИЭФ (ИТМФ). Проведены исследования формирования поля рентгеновского излучения в полости мишени, влияния степени неоднородности поля РИ на поверхности термоядерной капсулы и степени сжатия на генерацию нейтронов. Испытанные мишени являются моделями одного из вариантов мишени для применения в системах инерциального термоядерного синтеза с драйверами на основе тяжелоионных ускорителей.

## II. Доказательство отсутствия классических черных дыр

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Рассмотрено взаимодействие скалярных частиц, фотонов и фермионов с гравитационными и электромагнитными полями Шварцшильда, Райсснера–Нордстрёма, Керра и Керра–Ньюмена. Анализ подвергалось поведение эффективных потенциалов в уравнениях второго порядка типа Шредингера. Установлено, что квантовая теория несовместима с гипотезой о существовании в Природе классических черных дыр, предсказанных на основе вакуумных асимптотически-плоских решений ОТО. Альтернативой могут являться составные системы: коллапсары с фермионами, находящимися в стационарных связанных состояниях.

## III. Доказательство отсутствия классических черных дыр

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Рассмотрено взаимодействие скалярных частиц, фотонов и фермионов с гравитационными и электромагнитными полями Шварцшильда – (A)dS, Райсснера–Нордстрёма – (A)dS, Керра – (A)dS и Керра–Ньюмена – (A)dS. Анализ подвергалось поведение эффективных потенциалов в уравнениях второго порядка типа Шредингера. Установлено, что квантовая теория несовместима с гипотезой о существовании в Природе классических черных дыр, предсказанных на основе решений ОТО с ненулевой космологической постоянной (геометрии Шварцшильда – (A)dS, Райсснера–Нордстрёма – (A)dS, Керра – (A)dS и Керра–Ньюмена – (A)dS). Альтернативой могут являться составные системы: коллапсары с фермионами, находящимися в стационарных связанных состояниях.

## IV. Доказательство отсутствия классических черных дыр

*М. В. Горбатенко, В. П. Незнамов*

Рассмотрено взаимодействие скалярных частиц, фотонов и фермионов с неэкстремальными вращающимися заряженными черными дырами в минимальной пятимерной калибровочной супергравитации. Анализ подвергалось поведение эффективных потенциалов в уравнениях второго порядка типа Шредингера. Установлено, что квантовая теория несовместима с гипотезой о существовании в Природе черных дыр с горизонтами событий нулевой толщины, предсказанных на основе решений минимальной пятимерной калибровочной супергравитации с нулевой и ненулевой космологической постоянной. Альтернативой могут являться составные системы: коллапсары с фермионами, находящимися в стационарных связанных состояниях

УДК 532.5: 539.5; 638.345.44

### **Моделирование движения сферической детонационной волны из точки начального воспламенения газа**

*А. С. Мокеев, В. Г. Рогачев, Е. А. Кудряшов, В. М. Ямщиков, Ю. Н. Дерюгин*

Рассмотрен важный случай распространения расходящейся сферической детонационной волны. Приведено подробное изложение вопросов, связанных со сведением системы уравнений газовой динамики в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка и их последующим численным интегрированием с высокой точностью. Проведено численное интегрирование указанных уравнений и получено решение с относительной точностью  $\sim 10^{-6}$ . Получено более точное, по сравнению с другими источниками, значение безразмерной координаты в точке слабого разрыва  $\xi_{с.р} = 1,820148$ . Проведено сравнение результатов численного моделирования распространения плоской и сферической детонационной волны в пакете программ DIADA с соответствующими точными решениями. Показано хорошее согласие результатов численного решения с точным.

УДК 534.222.2

### **Определяющий фактор при развитии сдвиговой неустойчивости в опытах по косому соударению металлических пластин**

*О. Б. Дреннов*

Развитие неустойчивости Кельвина – Гельмгольца в жидкостях и газах определяется наличием разрыва тангенциальной составляющей поля скоростей. Для сред с прочностью развитие неустойчивости может определяться существованием начального возмущения. В серии экспериментов, где поверхности контакта имели шероховатость  $\approx 20$  мкм и полировались до зеркальности, не зафиксировано различие в параметрах и геометрическом виде реализующихся возмущений. Следовательно, определяющим фактором для развития неустойчивости является относительное скольжение двух разупрочненных («квазиджидких») слоев металлов.

УДК 530.145

### **I. Квантовая электродинамика с уравнениями со спинорными волновыми функциями для фермионных полей**

*В. П. Незнамов*

Рассмотрена квантовая электродинамика (КЭД) с самосопряженными уравнениями со спинорными волновыми функциями для фермионных полей. В низшем порядке теории возмущений вычислены матричные элементы ряда физических процессов КЭД. Конечные результаты совпадают с сечениями, вычисленными в стандартной КЭД. Вычислены собственная энергия электрона и амплитуды процессов, связанные с определением аномального магнитного момента электрона. Эти результаты совпадают с результатами в стандартной КЭД. Новым в расчетах собственной энергии и аномального момента электрона является присут-

ствие в промежуточных виртуальных состояниях только состояний с положительной энергией. В стандартной КЭД отсутствие вклада виртуальных состояний с отрицательной энергией приводит к линейной расходимости собственной энергии в ультрафиолетовом пределе.

УДК 530.145

## **II. Квантовая электродинамика с уравнениями со спинорными волновыми функциями для фермионных полей**

*В. П. Незнамов, В. Е. Шемарулин*

В работе продолжено рассмотрение, начатое в [1], квантовой электродинамики (КЭД) с самосопряженными уравнениями для фермионов со спинорными волновыми функциями. Получено, что вклад в лэмбовский сдвиг диаграмм без учета поляризации вакуума совпадает с аналогичным вкладом соответствующих диаграмм в стандартной КЭД. В теории для фермионов отсутствуют операторы, связывающие решения с положительной и отрицательной энергиями. Уравнения для электронов и позитронов не связаны друг с другом. В теории отсутствуют диаграммы с замкнутыми электрон-позитронными петлями. В связи с этим в рассматриваемой КЭД отсутствуют эффекты поляризации вакуума. Недостающий вклад в лэмбовский сдвиг атома водорода  $\Delta\nu = -27$  МГц можно обеспечить при квантово-механическом учете конечного размера атомного ядра.

УДК 533.95: 537.84, 537.811

## **Расчеты гамма-зари космического ядерного взрыва операции «Морская звезда»**

*В. А. Жмайло, И. В. Соболев, А. Е. Широков*

Описывается трехмерный расчет параметров области мощного космического ядерного взрыва операции «Морская звезда», проведенного США в 1962 г. Рассчитанные данные сравниваются с показаниями искусственного спутника Земли «Космос-5», характеризующими  $\gamma$ -зарю этого взрыва.

## **Теоретическая и прикладная физика. 2019. Вып. 4**

УДК 536.36–541.12

## **Численное исследование перехода к детонации горения водородовоздушной смеси в опытах на установке НТСФ**

*О. Г. Синькова, В. П. Стаценко, Ю. В. Янилкин*

С помощью кода FIRECON выполнено прямое 3D численное моделирование развития турбулентного горения в водородовоздушной смеси. Эволюция этого течения приводит к переходу горения в детонацию при перемещении фронта пламени вдоль трубы с перегородками. Результаты численного моделирования сравниваются с экспериментальными данными на установке НТСФ.

**Вейлевская гравитация и вейлоны***С. Ю. Седов*

Рассмотрена конформная модель гравитации Розена–Израэлиты. В рамках этой модели, использующей многообразия Вейля, приведен лагранжиан, включающий неминимальное взаимодействие гравитации со скалярным полем Дирака, а также взаимодействие с векторным полем Вейля. При фиксировании калибровки скалярного поля Дирака фиксируется и вектор Вейля. Калибровка вектора Вейля приводит к исчезновению градиентной компоненты, остается только роторная компонента. Она приводит к понятию векторной частицы со спином единица – вейлону. Приведены аргументы, говорящие в пользу массивных вейлонов. Процессы, идущие с присутствием вейлонов, по предположению, могут быть существенны на планковских расстояниях. Предполагается, что такие процессы могут менять массу частицы, не меняя другие ее характеристики.

УДК 530.145

**Возможен ли в квантовой теории процесс извлечения энергии из эргосферы метрики Керра (Penrose process)?***В. П. Незнамов*

Существование эргосферы метрики Керра не проявляет себя в квантовых уравнениях для частиц различных спинов. Для легитимизации процесса Пенроуза с извлечением энергии из эргосферы необходимо обоснование и доказательство его существования в рамках последовательной квантовой теории.

УДК 530.145

**II. Квантовая электродинамика с уравнениями со спинорными волновыми функциями для фермионных полей***В. П. Незнамов, В. Е. Шемарулин*

В работе продолжено начатое в [1] рассмотрение квантовой электродинамики (КЭД) с самосопряженными уравнениями для фермионов со спинорными волновыми функциями. Получено, что вклад в лэмбовский сдвиг диаграмм без учета поляризации вакуума совпадает с аналогичным вкладом соответствующих диаграмм в стандартной КЭД. В теории для фермионов отсутствуют операторы, связывающие решения с положительной и отрицательной энергиями. В связи с этим в рассматриваемой КЭД отсутствуют эффекты поляризации вакуума.

Редактор *Н. П. Мишкина*  
Компьютерная подготовка оригинала-макета *Н. В. Мишкина*

---

Подписано в печать 04.06.2021    Формат 60 × 84 1/8  
Усл. печ. л. ~10,1    Уч.-изд. л. ~8,7  
Тираж 1000 экз.    Зак. тип. 1097-2021    Индекс 72246

---

Отпечатано в ИПЦ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»  
607188, г. Саров Нижегородской области,  
ул. Силкина, 23