

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

С.И. Чуприс
« 7 » 04 2019 г.



Регистрационный № УД- 6622 /уч.

**ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**
по специальности, направлению специальности, специализации

для специальности
1-31 04 08 Компьютерная физика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 08-2013 утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88 и учебных планов №G31-144/уч. №G31и-178/уч. от 30.05.2013, типовых программ по дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика»

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.И. Горбачук — зам. декана физического факультета, доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

И.А. Солодухин — зам. декана физического факультета, доцент кафедры общей физики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Хмельницкий — зам. декана физического факультета, доцент кафедры кафедрой биофизики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Г.Г. Крылов — доцент кафедры компьютерного моделирования БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.В. Новицкий — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

И.Н. Медведь — доцент кафедры общей физики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.А. Минько — зав. кафедрой физической оптики и прикладной информатики, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

О.Г. Романов — зав. кафедрой компьютерного моделирования, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Слободянюк — зав. кафедрой общей физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Н.К. Филиппова — доцент кафедры высшей математики и математической физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.Н. Фурс — зав. кафедрой теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Методической комиссией физического факультета
(протокол № 5 от 06.02.2019);

Научно-методическим Советом БГУ (протокол № 3 от 11.02.2019.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Государственный экзамен является одной из обязательных составляющих итоговой аттестации студентов. Программа комплексного государственного экзамена по специальности, направлению специальности и специализации разработана в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта I степени высшего образования и Правилами проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования.

Программа комплексного государственного экзамена определяет и регламентирует структуру и содержание комплексного государственного экзамена по специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика.

В программу комплексного государственного экзамена включаются следующие учебные дисциплины:

- цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин — «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика»;
- цикла специальных дисциплин — «Программирование и математическое моделирование», «Операционные системы», «Вычислительный эксперимент», «Объектно-ориентированное проектирование», «Программирование на суперкомпьютерах», «Моделирование сложных систем», «Системы управления базами данных»;
- и цикла дисциплин специализаций — 1-31 04 08 02 Физическая информатика; 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов; 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений.

Комплексный государственный экзамен проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии.

Цель проведения комплексного государственного экзамена по специальности – выявление компетенций специалиста, т. е. теоретических знаний и практических умений, необходимых для решения теоретических и практических задач специалиста с высшим образованием.

Программа комплексного государственного экзамена носит системный, междисциплинарный характер и ориентирована на выявление у выпускника общепрофессиональных и специальных знаний и умений.

В рамках подготовки по общенаучным и общепрофессиональным дисциплинам выпускник должен:

знать:

- основные понятия и законы механики; законы сохранения; основы механики сплошной среды; уравнения движения в разных формулировках; основные уравнения для идеальной и вязкой жидкостей;
- общие методы измерений физических величин; статистический и термодинамический подходы к описанию термодинамических систем; основные законы и методы термодинамики; основные принципы статистической механики; микроканоническое и каноническое распределения; свойства реальных газов и жидкостей;
- основные законы электромагнитных взаимодействий; законы постоянного и переменного тока; уравнения Максвелла для полей в вакууме и сплошных средах; свойства диэлектриков и магнетиков; тензор энергии-импульса, потенциалы электромагнитного поля;
- основы электромагнитной теории света; явления интерференции и дифракции; принципы генерации света; физический механизм излучения электромагнитных волн;

- основы истории развития физики микроявлений (эксперимента и теории); основные положения и принципы квантовой механики; операторы физических величин; уравнение Шредингера; методы квантово-механического описания атомов, молекул и кристаллов;
- физическое обоснование периодической системы элементов; свойства и модели атомных ядер; свойства ядерных сил; физические принципы ядерной энергетики; основные представления об элементарных частицах и взаимодействиях;

уметь:

- решать задачи по кинематике, динамике, механике сплошной среды; использовать законы сохранения при решении задач; рассчитывать характеристики движения частиц в силовых полях; рассчитывать параметры колебаний механических систем в гармоническом приближении;
- выполнять расчеты термодинамических процессов; использовать статистические распределения при решении задач; обосновывать законы термодинамики методами статистической механики; решать практически важные задачи термодинамики и физической кинетики;
- рассчитывать электрические и магнитные поля в вакууме и веществе; выполнять расчет цепей квазистационарных переменных токов; использовать законы электромагнетизма при решении задач; применять уравнения Максвелла для расчета электромагнитных полей;
- решать задачи геометрической и физической оптики; анализировать практически важные схемы интерференции и дифракции;
- применять теорию Бора для оценки основных параметров атомов; применять квантово-механический подход для объяснения атомно-молекулярных явлений и расчета характеристик атомов, молекул и кристаллов; связывать характеристики атомов и молекул с их оптическими и рентгеновскими спектрами; находить собственные значения и собственные функции разных операторов физических величин для практически важных случаев;
- вычислять энергию связи ядер и энергетический выход ядерных реакций; использовать законы квантовой физики для объяснения ядерных процессов;

владеть:

- методами экспериментальных исследований механических явлений и процессов; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач по механике; основными методами получения уравнений движения механических систем; общими методами решения уравнений движения;
- методами экспериментальных исследований термодинамических систем; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач термодинамики и статистической физики;
- методами экспериментальных исследований электрических и магнитных свойств веществ; методами экспериментального исследования электрических цепей; математическими методами решения задач по электричеству и магнетизму; математическими методами электродинамики; методами расчёта электромагнитных полей
- методами экспериментальных исследований оптических явлений; – математическими методами решения задач по оптике.
- терминологией физики микроявлений; навыками проведения экспериментальных исследований атомно-молекулярных явлений; математическими методами решения задач атомной физики; приближенными методами описания квантовомеханических систем
- методами расчета характеристик радиоактивного распада и ядерных реакций; методами анализа кинематических характеристик ядерных процессов.

В рамках подготовки по специальным дисциплинам выпускник должен:

знать:

- общие принципы построения математических явлений и проведения компьютерного эксперимента, основы численных методов решения математических задач
- методы моделирования случайных величин и процессов, методы статистического анализа результатов стохастического эксперимента;
- основы теории алгоритмов, основы техники программирования на языке C++;
- общую концепцию ОС, обязательные элементы ОС, структуру и важнейшие сервисы ОС Linux и Windows; структуру файловых систем для ОС Linux и Windows, структуру и форматы основных конфигурационных файлов ОС;
- методику проектирования систем с использованием ООП, механизмы повторного использования и паттерны проектирования; подходы к организации параллелизма в многопроцессорных системах;
- методы создания распределенных и многопоточковых (многозадачных) приложений, основные типы данных и функции, используемые для параллельных программ с поддержкой протокола MPI;
- основные понятия системного анализа, понятия связности системы, описание с использованием графов и матриц инцидентности, элементы теории гомологий и когомологий;
- концепцию сложности, концепцию и основные элементы теории самоорганизации в сложных системах.

уметь:

- разрабатывать программные компоненты для решения нелинейных, дифференциальных и интегральных уравнений и систем уравнений, моделировать на компьютере физические процессы различной природы;
- разрабатывать математические детерминированные и стохастические модели физических явлений, реализовывать математические модели в различных средах программирования;
- загружать ОС, оценивать системные установки и работоспособность системы в целом, монтировать элементы с файловой системе, проверять и настраивать каталоги и права пользователей;
- строить диаграммы классов, состояний, компонентов, размещения, деятельности и взаимодействия, использовать типичные паттерны проектирования;
- алгоритмизировать элементарные вычислительные задачи обработки данных с использованием многопоточковых приложений на языке C, аналитически и моделированием оценивать эффективность параллельного алгоритма;
- строить иерархию усложняющихся математических моделей системы реального мира с использованием заданной системы связей и ограничений;
- использовать аппарат и методы теории самоорганизации для моделирования динамики, устойчивости и бифуркаций в базовых моделях сложных систем.

владеть:

- основными приемами алгоритмизации задач в области вычислительной физики, методами численного решения нелинейных, дифференциальных и интегральных уравнений и систем уравнений.
- методами построения детерминированных и стохастических моделей, методами проведения компьютерного стохастического эксперимента и анализа его результатов.
- навыками администрирования развернутой ОС, проверкой функционирования системы, настройкой файловой системы и системных сервисов;
- методами и приемами разработки приложений на языке C++, навыками использования компонент стандартной библиотеки языка C++;
- навыками разработки параллельных алгоритмов на языке C, навыками разработки ПО с использованием концепций многопоточности и многозадачности на языке C.

- базовыми навыками объектной декомпозиции системы, технологией создания объектной модели с использованием UML.
- методами качественного и количественного анализа нелинейных динамических систем для целей оценки их структурной устойчивости и бифуркаций.

Освоение образовательной программы специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций

академические компетенции:

Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

Владеть системным и сравнительным анализом.

Владеть исследовательскими навыками.

Уметь работать самостоятельно.

Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

Обладать качествами гражданственности.

Быть способным к социальному взаимодействию.

Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

Владеть навыками здорового образа жизни.

Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

профессиональные компетенции:

Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики и математики, методов измерения физических величин, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы, средств автоматизации, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, государственного регулирования экономики и экономической политики.

Владеть современными методами программирования, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного проектирования.

Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемого программного обеспечения.

Пользоваться глобальными информационными ресурсами, новой научной, технической и патентной литературой по физике, математике, информатике, экономике и инновационным технологиям, основами психолого-педагогических знаний, навыками самообразования и самосовершенствования.

Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационно-образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов.

Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Экзамен (ответы студентов и беседа с экзаменуемыми) проводится на русском или белорусском языке.

В ходе подготовки экзаменуемые имеют право использовать учебные программы соответствующих дисциплин, научную и справочную литературу.

На подготовку к ответу на теоретические вопросы обучающемуся отводится не менее 30 минут (но не более 1 астрономического часа). В случае необходимости подготовка к практической части проходит дополнительно в компьютерном классе в течение 30-60 минут. Время, которое отводится на ответ одного экзаменуемого, – до 30 минут.

Структура экзаменационного билета

Вопросы экзаменационного билета по учебным дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика», «Программирование и математическое моделирование», «Операционные системы», «Вычислительный эксперимент», «Объектно-ориентированное проектирование», «Программирование на суперкомпьютерах», «Моделирование сложных систем», «Системы управления базами данных», а также дисциплинам специализаций 1-31 04 08 02 Физическая информатика; 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов; 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений отражают содержание образовательной программы по специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий.

Экзаменационный билет состоит из двух частей: теоретической (2 вопроса) и практической (1 задание). В практическую часть включены задания исследовательского типа, ситуационные задания, мини кейсы и т.п. по циклам дисциплин специализаций, позволяющие оценить полученные в процессе обучения знания и практические навыки.

Характеристика теоретической части: первый вопрос билета относится к дисциплинам общей и теоретической физики (раздел 1 теоретической части), второй вопрос билета — к дисциплинам специальности (раздел 2 теоретической части).

Содержание практической части экзаменационного билета соответствует программам циклов дисциплин специализации (раздел 1 практической части). Примеры заданий представлены в разделе 2 практической части.

СОДЕРЖАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Раздел 1. ОБЩАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

МЕХАНИКА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

1. **Кинематика материальной точки.** Способы описания движения материальной точки. Система отсчета. Траектория и длина пути. Вектор перемещения. Скорость. Ускорение.

2. **Основная задача динамики. Законы Ньютона.** Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона.

3. **Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.** Формулировка принципа наименьшего действия. Необходимое условие экстремальности действия. Уравнения Лагранжа. Свойства функции Лагранжа (аддитивность, эквивалентность, невырожденность). Нахождение закона движения механической системы методом Лагранжа.

4. **Гамильтонова форма уравнений механики.** Переменные состояния в гамильтоновой механике. Фазовое пространство. Связь между функциями Лагранжа и Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Канонические уравнения. Нахождение закона движения механической системы методом Гамильтона.

5. **Фундаментальные законы сохранения в классической механике.** Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени. Определения однородности и изотропности пространства и времени. Закон сохранения энергии и его связь с однородностью времени. Закон сохранения импульса и его связь с однородностью пространства. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

6. **Движение в центральном силовом поле.** Закон Кулона и закон всемирного тяготения. Определение центрально-симметричного поля. Свойства силы, действующей на частицу в центральном поле. Сохранение момента импульса и закон площадей. Нахождение закона движения из первых интегралов движения. Общие свойства траекторий в кулоновском поле.

7. **Линейные колебания механических систем.** Свободные колебания системы с одной степенью свободы в гармоническом приближении. Частота, амплитуда и фаза колебания. Изохронность колебаний. Вынужденные колебания при отсутствии трения. Резонанс. Характеристическое уравнение. Собственные частоты колебаний. Нормальные колебания и нормальные координаты.

8. **Кинематика твердого тела.** Степени свободы твердого тела. Разложение движения твердого тела на слагаемые движения. Виды движения. Векторы угловой скорости и углового ускорения. Мгновенная ось вращения.

9. **Динамика вращательного движения. Уравнения Эйлера.** Тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции твердого тела. Кинетическая энергия и момент импульса твердого тела. Свободное вращение шарового и симметрического волчков. Прецессия. Динамические уравнения Эйлера для вращательного движения.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

10. **Первое начало термодинамики.** Работа. Теплота. Внутренняя энергия. Физическое содержание первого начала термодинамики. Функции состояния и полные дифференциалы.

11. **Второе начало термодинамики.** Циклические процессы. Работа цикла. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Формулировки Клаузиуса и Кельвина второго начала термодинамики.

12. **Энтропия.** Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа, ее физический смысл и расчет в процессах идеального газа. Формулировка второго начала термодинамики с помощью энтропии. Статистический характер второго начала термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах.

13. **Фазовые состояния и фазовые превращения.** Переход из газообразного состояния в жидкое. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кристаллизация и плавление. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Фазовые переходы первого и второго рода.

14. **Статистические распределения.** Распределение Больцмана, Максвелла, Гиббса. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

15. **Термодинамические потенциалы.** Преобразование производных термодинамических величин. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Термодинамические неравенства.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

16. **Электростатическое поле в вакууме.** Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля. Основная задача электростатики. Энергия электрического поля.

17. **Электростатическое поле при наличии проводников и диэлектриков.** Поле заряженного проводника. Механизмы поляризации полярных и неполярных диэлектриков. Вектор поляризованности.

18. **Стационарное магнитное поле.** Закон Ампера. Теорема Био-Савара-Лапласа. Вихревой характер магнитного поля. Контур с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля.

19. **Магнитные свойства вещества.** Вектор и токи намагничивания. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма.

20. **Электрический ток и его поле.** Характеристики тока. Уравнение непрерывности. Законы стационарного тока. Критерий квазистационарности тока.

21. **Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла.** Явление электромагнитной индукции (закон Фарадея). Сила Лоренца. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла и их физический смысл.

22. **Электромагнитные волны.** Волновые уравнения и их решения. Плоская электромагнитная волна, ее свойства и характеристики. Вектор Умова-Пойнтинга. Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных средах и в неограниченной проводящей среде.

ОПТИКА

23. **Интерференция света.** Когерентность колебаний. Интерференция волн. Способы получения интерференционной картины. Интерференция в тонких плёнках. Интерферометры.

24. **Дифракция света.** Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля на простейших преградах. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракционная решётка. Дифракция света на многомерных структурах.

25. **Поляризация света.** Естественный и поляризованный свет. Поляризация излучения при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Анизотропия оптических свойств кристаллов. Двухлучепреломление. Поляризационные приборы.

26. **Геометрическая оптика.** Основные законы геометрической оптики, пределы их применимости. Принцип Ферма. Линзы, зеркала, центрированные оптические системы. Кардинальные элементы идеальной оптической системы.

27. **Дисперсия света.** Нормальная и аномальная дисперсия. Фазовая и групповая скорости света. Спектральные приборы.

28. **Поглощение и рассеяние света.** Поглощение света. Рассеяние Рэлея и Ми. Комбинационное рассеяние.

29. **Лазер.** Спонтанное и вынужденное излучения. Люминесценция. Принцип работы лазера. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров: твёрдотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые.

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

30. **Корпускулярно-волновой дуализм.** Фотоэффект и эффект Комптона. Фотоны. Опыты по дифракции микрочастиц. Существование корпускулярных и волновых свойств у микрообъектов.

31. **Теория Бора и атом водорода.** Постулаты Бора и модель атома водорода согласно теории Бора. Опыты Франка и Герца. Стационарные состояния и уровни энергии атома водорода. Квантовые числа. Распределение электронной плотности.

32. **Волновая функция.** Вероятностная интерпретация волновой функции. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний.

33. **Момент импульса микрочастиц.** Орбитальный и спиновый моменты микрочастиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.

34. **Строение многоэлектронных атомов.** Заполнение электронных слоев и оболочек атомов. Основные закономерности периодической системы элементов.

35. **Строение и свойства молекул.** Природа химической связи. Виды движения в молекуле. Электронные кривые, колебательные и вращательные состояния двухатомных молекул. Молекулярные спектры.

36. **Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.** Влияние измерения на состояние физической системы как для чистых, так и для смешанных состояний. Статистическое распределение результатов измерения.

37. **Одновременная измеримость физических величин.** Совместные наблюдаемые. Понятие о полном наборе совместных наблюдаемых. Соотношение неопределенностей для физических величин.

38. **Принцип причинности в квантовой механике.** Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем. Время в квантовой механике. Квантовомеханические уравнения движения. Понятия о картинах изменения состояния (картины Шрёдингера, Гейзенберга и Дирака). Уравнение Шрёдингера для амплитуд вероятностей. Стационарные состояния и их свойства. Теорема Эренфеста.

39. **Интегралы движения в квантовой механике.** Квантовые переходы. Понятие об интеграле движения. Связь интегралов движения с симметрией системы: импульс и момент импульса как интегралы движения для замкнутой системы. Соотношение неопределённости для энергии. Вероятности переходов.

ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

40. **Статические свойства атомных ядер и ядерные модели.** Статические свойства атомных ядер. Удельная энергия связи ядра. Основные свойства ядерных сил и ядерные модели.

41. **Явление радиоактивности и альфа-распад.** Основной закон радиоактивного распада. Энергетические условия и механизм альфа-распада.

42. **Бета-распад.** Энергетические условия, спектр, нейтрино. Нарушение Р-четности при бета-распаде.

43. **Основные виды и механизмы протекания ядерных реакций.** Боровская модель ядерных реакций. Резонансные и нерезонансные реакции. Прямые ядерные реакции.

44. **Деление ядер.** Элементарная теория деления. Цепная ядерная реакция.

45. **Реакция синтеза.** Энергетические условия. Управляемый термоядерный синтез. Нуклеосинтез.

46. **Классификация элементарных частиц.** Фундаментальные частицы. Мезоны и барионы. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Стабильные частицы, нестабильные частицы и резонансы.

47. **Фундаментальные взаимодействия.** Основные свойства фундаментальных взаимодействий. Элементы теорий объединения взаимодействий.

Раздел 2.

ДИСЦИПЛИНЫ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ:

1-31 04 08 КОМПЬЮТЕРНАЯ ФИЗИКА

ПРОГРАММИРОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. **Основные конструкции языков С, С++.** Идентификаторы, константы, переменные. Выражения, операнды и операции. Условные операторы, циклические конструкции, функции.

2. **Алгоритмы и структуры данных.** Скалярные типы данных, массивы, строки, указатели, ссылки, структуры и объединения. Динамически создаваемые объекты. Списки, очереди, стеки, деревья. Работа с массивами, сортировка и поиск. Вычислительная сложность алгоритмов.

3. **Основы объектно-ориентированного программирования.** Классы и экземпляры, поля и методы, наследование. Полиморфизм и полиморфные функции. Конструкторы и деструкторы. Конструкторы по умолчанию и копирования. Виртуальные функции. Перегрузка операций.

4. **Стандартная библиотека С++ и STL С++.** Ввод-вывод, работа с файлами. Понятие исключения. Шаблоны. Контейнеры string, vector, list, map. Итераторы.

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

5. **Общее описание структур операционных систем.** Принципиальная схема современной компьютерной системы. Понятие ядра операционной системы, типы ядра, ресурсы, Управление памятью, многозадачность. Понятие процесса и потока.

6. **Файловые системы.** Общие принципы организации файлового пространства. Описание стандартной структуры каталогов.

7. **Основы безопасности в ОС и управление пользователями.** Создание пользователей. Пользователи и их права в системе. Отображение прав пользователей на файловую систему

8. **Пользовательский интерфейс.** Общее описание интерфейса пользователя систем в (ОС) Linux и Windows.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

9. **Общие принципы компьютерного моделирования физических процессов** Основные этапы проведения компьютерного эксперимента: схема Самарского: «модель-алгоритм-программа». Постановка задачи. Построение модели: параметры, уравнения, дополнительные условия. Качественный анализ модели. Алгоритм и программа: критерии выбора алгоритмов решения. Проведение компьютерного эксперимента.

10. **Модели физических процессов на основе обыкновенных дифференциальных уравнений.** Физические законы, выражающиеся обыкновенными дифференциальными уравнениями. Понятие о колебательных системах. Основные положения метода молекулярной динамики.

11. **Модели физических процессов в распределенных системах на основе уравнений в частных производных.** Стационарные поля и их описание. Процессы распространения тепла, диффузия. Распространение малых колебаний и возмущений. Методы построения и анализа разностных схем.

12. **Моделирование физических явлений методами Монте-Карло.** Случайные процессы и их описание. Общая схема методов Монте-Карло.

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

13. **Основные концепции.** Объектно-ориентированный анализ, объектно-ориентированное проектирование, объектно-ориентированное программирование.

14. **Процесс проектирования на основе ООП.** Объектная модель предметной области. Общие сведения об унифицированном языке моделирования (UML).

15. **Основные элементы ООП.** Диаграммы взаимодействия, диаграммы классов, диаграммы состояний, диаграммы деятельности, диаграммы компонентов и размещения. Механизмы повторного использования и паттерны.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ

16. **Классификация многопроцессорных систем.** Поддержка многозадачности и многопроцессорности. Процессы, управление, взаимодействие и синхронизация.

17. **Вычислительные системы с общей памятью, технология OpenMP.** Многопоточные приложения. управление, взаимодействие и синхронизация. Разработка параллельных приложений в системы с общей памятью, стандарт Open MP.

18. **Вычислительные системы с распределенной памятью, технология MPI.** Архитектура кластера. Процесс и его атрибуты. Общие функции MPI. Передача и прием данных между отдельными процессами. Режимы передачи сообщений. Коллективные операции обмена данными. Барьерная синхронизация.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

19. **Основные понятия и методы системного анализа.** Энтропия и потенциальная функция. Элементы теории информации. Мощность и отношения. Матрица инцидентности.

20. **Основные подходы к математическому описанию сложных систем.** Глобальные свойства системы, связность, графы, симплициальные комплексы.

21. **Сложность.** Структурная сложность, сложность управления, динамическая сложность, вычислительная сложность.

22. **Устойчивость.** Устойчивость по Ляпунову. Структурная устойчивость. Катастрофы. Связная устойчивость и адаптируемость.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ

23. **Системы управления базами данных (СУБД).** Требования, методы и средства проектирования информационного обеспечения систем. Уровни представления баз данных.

24. **Базовые понятия реляционной модели данных.** Элементы теории множеств. Множества, операции над множествами. Декартово произведение множеств. Отношение, бинарные отношения (отношения степени 2), отношение эквивалентности, отношения порядка. Транзитивное замыкание отношений. Реляционная алгебра: операции реляционной алгебры.

25. **Стандарты SQL и синтаксис языка.** Манипулирование данными. Связь SQL и реляционной алгебры. Создание баз данных. Создание и удаление таблиц. Определение данных. Понятие хранимой процедуры и триггера.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

1-31 04 08 02 Физическая информатика

(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. **Физические основы микро и нанoeлектроники.** Физические основы современных нанотехнологий (молекулярно-лучевая эпитаксия, золь-гель метод и т.д.). Принципы работы суб- и наноразмерных полупроводниковых структур.
2. **Оптоэлектроника в информационных процессах.** Оптоэлектронные устройства. Оптрон. Оптические логические элементы. Оптические волноводы.
3. **Внутримолекулярные фотофизические процессы.** Флуоресценция. Фосфоресценция, замедленная флуоресценция. Внутренняя и интеркомбинационная конверсии. Внутримолекулярная колебательная релаксация.
4. **Физические принципы и методы фотометрии.** Энергетическая и световая фотометрия: величины и единицы измерения. Основные фотометрические законы.
5. **Преобразование сигналов в оптоэлектронных приборах.** Пространственно-спектральная фильтрация сигнала. Аппаратная функция, дисперсия, разрешающая способность, светосила спектрального прибора.
6. **Радиационные процессы в атмосфере.** Солнце и солнечная постоянная. Ослабление солнечной радиации в атмосфере. Альbedo. Излучение земной поверхности. Парниковый эффект. Радиационный баланс.
7. **Робастные методы обработки данных.** Робастные методы получения оценок. Робастные методы построения зависимостей.
8. **Корреляционный и регрессивный анализ.** Понятие корреляции и регрессии. Задачи корреляционного и регрессивного анализа. Метод наименьших квадратов. Линейная и нелинейная регрессии.
9. **Порог чувствительности и обнаружительная способность фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучений.** Фотоэлектрические полупроводниковые приёмники. Фоторезисторы. Фотодиоды и p-i-n- фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Фототранзисторы.
10. **Физические основы работы тепловых фотоприемников.** Тепловые приемники излучений. Основные принципы работы. Термоэлектрические приемники. Болометры. Приёмники Голея. Пироэлектрические фотоприемники и матрицы.
11. **Фотодиоды на основе барьеров Шоттки и гетеропереходов.** Контакт металл - полупроводник. Эффект Шоттки. Устройство и выбор пары, характеризующей гетеропереход. Энергетическая диаграмма гетероперехода. Сверхинжекция неравновесных носителей заряда в гетеропереходе.
12. **Детекторы излучений и частиц.** Общая характеристика детекторов излучений. Амплитудный спектр, Энергетическое разрешение, Эффективность регистрации. Ионизационный метод детектирования излучений и частиц. Газонаполненная ионизационная камера. Пропорциональный счётчик. Счётчик Гейгера. Полупроводниковые детекторы излучений.

1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов

(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. **Параметризованные типы в C++.** Шаблоны, контейнеры STL, функторы.

2. **Обработка исключений в C++.** Понятие исключения, возникновение исключений, генерация исключений, обработка исключительных ситуаций. Обработка исключений, связанных с вводом-выводом и работой с файловой системой.

3. **Структура, функционирование и настройка ОС Linux.** Общее описание структуры ОС Linux. Создание и управление пользователями. Описание и задание прав доступа пользователей. Основные группы пользователей.

4. **Файловые системы и общие принципы организации файлового пространства в ОС Linux.** Описание стандартной структуры каталогов UNIX-систем. Назначение основных каталогов. Монтирование файловых систем. Утилиты для работы с файловыми системами. Утилита mount и ее использование. Утилиты управления дисковым пространством.

5. **Интерпретатор командной строки в Linux.** Основные команды интерпретатора командной строки BASH.

6. **Понятие о сетевых протоколах.** Протокол TCP/IP. Организация синхронного и асинхронного обменов. Основные функции API-сетевое взаимодействие в стандарте POSIX.

7. **Язык программирования Python.** Основные особенности и место языка Python среди скриптовых языков. Использование интерпретатора. Основные черты, встроенные типы данных и конструкции управления языком. Ввод-вывод, обработка исключений, классы. Основные разделы библиотеки.

8. **Платформа .NET. Основные черты и программирование на C#.** Платформа .NET. Среда выполнения CLR, стандартная система типов CTS, общая языковая спецификация CLS, концепция сборки. Сравнительный анализ языков C# и C++.

9. **Язык программирования Java.** Сравнительный анализ языков C++ и Java. Пакеты, обработка исключений, основные типы данные и управляющие конструкции, ввод- вывод. Объекты, классы, интерфейсы, концепция отражения. Поток, многопоточные приложения. Сетевые операции.

10. **Основные функции распределения, используемые в теории ошибок и математической статистике.** Нормальное распределение, распределение χ^2 , распределение Стьюдента, распределение Фишера и их параметры.

11. **Модель измерения параметров Пуассоновского процесса.** Распределение Пуассона. Физические процессы, описываемые с помощью распределения Пуассона.

12. **Классификация численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений.** Одношаговые и многошаговые методы; явные и неявные методы – достоинства и недостатки.

13. **Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных.** Аппроксимации уравнений конечными разностями. Явные и неявные схемы. Устойчивость сеточных схем. Конечно-разностные методы решения уравнений параболического, эллиптического и гиперболического типов.

14. **Численные методы расчета одномерного движения сжимаемой жидкости.** Уравнения движения в форме Эйлера и Лагранжа. Консервативная форма уравнений движения. Разностные уравнения Эйлера. Разностные уравнения Лагранжа.

15. **Численные методы расчета движения несжимаемой жидкости.** Уравнения движения для физических переменных. Уравнение переноса вихря и уравнение для функции тока и численные методы их решения.

16. **Методы численного расчета ударных волн.** Схемы с явной (неявной) искусственной вязкостью.

17. **Численные методы расчета многомерного движения жидкости.** Уравнения многомерной гидродинамики. Конечно-разностные схемы (схема Лакса, схема Лакса-Вендроффа и др.).

18. **Численные методы решения многомерных задач диффузии и теплопроводности.** Методы чередующихся направлений. Методы расщепления и дробных шагов. Многослойные разностные схемы.

19. **Нелинейные задачи распространения волн.** Численные методы решения уравнения Бюргера. Численное решение уравнения Кордевега-де Фриза.

20. **Моделирование броуновского движения.** Численные методы решения уравнения Ланжевена. Численные методы решения уравнения Смолуховского.

21. **Методы численного моделирования задач распространения электромагнитного излучения в линейных и нелинейных средах.** *FDTD*-метод численного решения уравнений Максвелла. Методы численного решения волнового уравнения и укороченного волнового уравнения.

22. **Моделирование динамических режимов работы лазерных систем.** Точечные и распределенные модели лазерных систем. Балансные (кинетические) уравнения для описания взаимодействия излучения с многоуровневыми системами.

23. **Численные методы решения вариационных задач.** Методы Рунге, Галеркина и наименьших квадратов.

24. **Численное решение стохастических дифференциальных уравнений.** Стохастическое дифференциальное уравнение. Понятие об интеграле Ито, формула Ито и стохастическое правило Лейбница. Схема Эйлера для стохастических дифференциальных уравнений.

1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений (специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. **Квантовая теория света.** Формула Планка. Теория фотонов Эйнштейна. Волновые свойства частиц. Энергия и импульс световых квантов. Волны Де-Бройля.

2. **Атом водорода.** Волновые функции атомов водорода. Принцип Паули. Теория квантовых переходов. Излучение, поглощение и рассеяние энергии атомными системами.

3. **Основные характеристики уровней энергии.** Заселенности уровней. Вероятности поглощения и вынужденного испускания. Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни возбужденных состояний. Ширина уровней энергии и спектральных линий.

4. **Разделение энергии многоатомной молекулы на электронную, колебательную и вращательную.** Уровни энергии. Электронно-колебательные спектры. Принцип Франка-Кондона.

5. **Люминесценция и ее определение.** Флуоресценция и фосфоресценция. Основные характеристики люминесценции и ее законы для сложных молекул.

6. **Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде.** Факты, подтверждающие теорию дисперсии Лоренца. Методы изучения дисперсии и поглощения света.

7. **Плоская монохроматическая световая волна в линейной изотропной среде.** Понятие волнового пакета. Виды световых пучков. Гауссовы световые пучки и их характеристики.

8. **Анизотропия. Тензор диэлектрической проницаемости.** Материальные уравнения анизотропной среды. Одноосные и двуосные кристаллы. Явление двулучепреломления.

9. **Принцип работы лазера.** Спонтанное и вынужденное излучение, поглощение. Инверсия населенностей. Принципиальная схема лазера с оптической накачкой.

10. **Некоторые типы лазеров.** Неодимовый лазер. Гелий-неоновый лазер. Ионный аргоновый лазер. Газодинамический и газоразрядный лазер на CO_2 . Полупроводниковый лазер.

11. **Оптическая активность как эффект пространственной дисперсии первого порядка. Круговое двулучепреломление.**

12. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах.
13. Нематические, холестерические и смектические жидкие кристаллы и их основные свойства.
14. Вращательные и колебательные спектры двухатомных молекул, колебательные спектры многоатомных молекул.

РАЗДЕЛ 2

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

1-31 04 08 02 Физическая информатика
(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

Задание 1. Для медицинских целей необходимо знать уровни ультрафиолетовой радиации. Предложите методику измерений естественной УФ освещенности земной поверхности при наличии облачности.

Возможное решение

Естественная освещенность – это солнечная освещенность. Земной поверхности достигает УФ излучение в диапазоне 300 – 400 нм, причем мощность этого излучения круто возрастает с увеличением длины волны. При решении задачи следует учитывать два фактора. Первый: излучение поступает со всех сторон, при этом спектры УФ излучения от прямого Солнца, открытого неба и облаков отличаются. Второй: действие УФ излучения на различные объекты разное, т.е. существуют отличающиеся спектры действия на кожу, глаза, бактерии и др.

С учетом этих факторов решение может быть следующим. Необходимо измерить спектральную плотность энергетической освещенности (СПЭО) в Вт/(см² нм) при освещении из полусферы. Для этого следует использовать спектрометр УФ излучения, откалиброванный по спектральной чувствительности в области 290 – 310 нм (калибровка может быть осуществлена путем регистрации излучения галогенной или иной лампы со сплошным спектром, стандартизованным в единицах СПЭО). Перед калибровкой и измерениями объектив (или входная щель) спектрометра должен быть снабжен диффузно-светорассеивающей насадкой из материала, не поглощающего УФ излучение (матовое кварцевое стекло, фторопласт или т.п.), на эту насадку будет падать излучение из всей небесной полусферы, а в спектрометр поступит излучение от насадки.

Измерив такую дифференцированную характеристику, как СПЭО, в области 300 – 400 нм, путем интегрирования ее по длинам волн можно рассчитать как общую энергетическую освещенность, так и освещенности (т.е. плотности мощности излучения) для различных спектров действия (бактерицидного, эритемного и др.).

Задание 2. В рамках выполнения НИР необходимо определить эффективное время жизни носителей заряда в импульсных диодных структурах. Предложите методику измерения.

Возможное решение

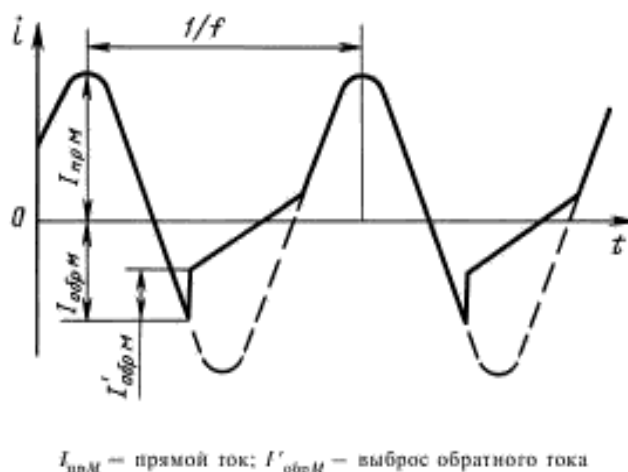
Для измерения эффективного времени жизни подключить генератор синусоидального напряжения к диоду через нагрузочное сопротивление. Сигнал с сопротивления вывести

на осциллограф. На осциллографе будет наблюдаться следующее изображение. Время жизни рассчитать по формуле:

$$\alpha \approx I'_{\text{обр}M} / I_{\text{пр}M}$$

$$t_{\text{эф}} \approx \alpha / 2\pi f$$

ОСЦИЛЛОГРАММА И ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПРОЦЕСС ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ



1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов (специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

Задание 1. В консольном режиме Linux под учетной записью администратора (root) определите всех пользователей, использующих данный хост в текущее время, для каждого пользователя выдайте список его процессов и запишите, объединив их во временном директории в общий файл /tmp/all-user-processes.txt

Решение

- а) командой who определяем текущих пользователей данного хоста
- б) формируем пустой выходной файл для результатов командой `>tmp/all-user-processes.txt`
- в) для каждого из найденных пользователей
 - выполняем команду выдачи всех процессов в системе - `ps ax`
 - и отправляя ее результат на вход команды `grep` для каждого пользователя "user-name" отбираем процессы, связанные с данным пользователем и перенаправляем вывод (добавляем) в созданный файл, полная команда
 - `ps ax |grep "user-name" >>>tmp/all-user-processes.txt`

Задание 2. Пусть в начальный момент времени $t = 0$, когда частица пребывает в равновесном состоянии с функцией распределения $\rho(x, 0) \equiv \rho_-(x; a)$, ее потенциальная энергия претерпевает *мгновенный скачок* от значения $V_a(x)$ к $V_b(x)$. Если следующий за скачком промежуток времени $t \gg \tau_D$, то система успевает отрелаксировать к новому потенциальному рельефу, соответствующему равновесной функции распределения $\rho(x, t) \equiv \rho_-(x; b)$. Вычислить возникающий при этом поток частиц (net fraction) $\Delta\Phi^{ab}(0)$, пересекающих поперечное сечение $x = 0$.

Справочная информация: Броуновские моторы (рэтчеты) – это системы, природные или искусственно созданные, которые могут демонстрировать направленное движение как результат выпрямления неравновесных флуктуаций характеристик наночастиц или воздействующих внешних полей различной природы. Основным уравнением описывающим безынерционное движение броуновской частицы в таких системах, является уравнение Смолуховского, в котором флуктуации вводятся зависимостью потенциальной энергии частицы от времени (периодической или стохастической) $U(x, t)$:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(x, t) + \frac{\partial}{\partial x} J(x, t) = 0 \quad (1)$$

$$J(x, t) = -De^{-\beta U(x, t)} \frac{\partial}{\partial x} e^{\beta U(x, t)} \rho(x, t) = -D \frac{\partial}{\partial x} \rho(x, t) - \beta D \frac{\partial U(x, t)}{\partial x} \rho(x, t). \quad (2)$$

Средняя сила, действующая на частицу, должна быть $\langle -\partial U(x, t) / \partial x \rangle = 0$; усреднение подразумевается как по пространственной так и временной переменной. Скорость броуновского мотора вычисляется по формуле:

$$\mathfrak{A} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau dt \int_0^L dx J(x, t) \quad (3)$$

Так называемые адиабатически быстрые броуновские моторы функционируют за счет циклических дихотомных переключений профиля потенциальной энергии наночастицы между двумя потенциальными профилями $V_a(x)$ и $V_b(x)$ с большими временами жизни. τ_a и τ_b ($\tau_{a,b} \gg \tau_D$, $\tau_a + \tau_b = \tau$, $\tau_D = L^2 / D$ - характерное время диффузии на периоде L потенциала, D - коэффициент диффузии).

Решение

Определим долю частиц (средний поток), пересекающих точку x за время t , как:

$$\Phi(x) \equiv \int_0^t dt J(x, t). \quad (4)$$

Проинтегрируем уравнение непрерывности (1) по времени от 0 до t

$$\rho(x, t) - \rho(x, 0) = -\frac{\partial}{\partial x} \int_0^t dt' J(x, t') = -\frac{d}{dx} \Phi(x), \quad (5)$$

а затем, проинтегрируем получившееся выражение по x , получим для $\Phi(x)$:

$$\Phi(x) = \Phi(0) - \int_0^x dy [\rho(y, t) - \rho(y, 0)] \quad (6)$$

или, с учетом обозначений в постановке задачи,

$$\Delta \Phi^{ab}(x) = \Delta \Phi^{ab}(0) - \int_0^x dy [\rho_-(y; b) - \rho_-(y; a)]. \quad (7)$$

Подставим в левую часть (7) выражение для $\Delta \Phi^{ab}(x)$ по определению (4) с учетом явного вида оператора потока (2). При этом учтем, что после скачка потенциальная энергия остается равной $V_b(x)$, то есть не зависит от времени:

$$-De^{-\beta V_b(x)} \frac{\partial}{\partial x} e^{\beta V_b(x)} \int_0^t dt' \rho(x, t') = \Delta \Phi^{ab}(0) - \int_0^x dy [\rho_-(y; b) - \rho_-(y; a)]. \quad (8)$$

Умножим левую и правую части уравнения (8) на $e^{\beta V_b(x)}$ и проинтегрируем полученное уравнение по x на пространственном периоде от 0 до L :

$$0 = \Delta \Phi^{ab}(0) \int_0^L dx e^{\beta V_b(x)} - \int_0^L dx \left[e^{\beta V_b(x)} \int_0^x dy [\rho_-(y; b) - \rho_-(y; a)] \right]. \quad (9)$$

Левая часть (9) равна нулю из-за интегрирования по пространственному периоду слагаемого с $\partial/\partial x$ от периодической функции $e^{\beta V_b(x)} \int_0^t dt' \rho(x, t')$. Итак, доля частиц $\Delta\Phi^{ab}(0)$, пересекающих сечение $x=0$, равна

$$\Delta\Phi^{ab}(0) = \int_0^L dx \rho_+(x; b) \int_0^x dy [\rho_-(y; b) - \rho_-(y; a)], \quad (10)$$

то есть мы и получили искомую величину. $\rho_{\pm}(x; a)$ и $\rho_{\pm}(x; b)$ определяются соотношениями $V_b(x)$:

$$\rho_{\pm}[x; a(b)] \equiv \frac{e^{\pm\beta V_{a(b)}(x)}}{\int_0^L dx e^{\pm\beta V_{a(b)}(x)}}. \quad (11)$$

Обозначим $\phi \equiv \Phi(0)$ долю частиц, пересекающих точку $x=0$ за период τ изменения потенциальной энергии. Для установившихся периодических процессов [$\rho(x, \tau) = \rho(x, 0)$] функция $\Phi(x)$ не зависит от x , и именно величина ϕ определяет среднюю скорость и соответствующий ей средний поток. Действительно, по определению средней скорости мотора $\mathfrak{A} = \tau^{-1} \int_0^{\tau} dt \int_0^L dx J(x, t) = \tau^{-1} \int_0^L dx \Phi(x) = \tau^{-1} \int_0^L dx \Phi(0) = L \langle J \rangle_{\tau}$, где $\langle J \rangle_{\tau} \equiv \tau^{-1} \phi$ - средний поток.

1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений (специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

Задание 1. Оптический резонатор для He-Ne лазера ($\lambda = 632.8$ нм) образован двумя сферическими зеркалами с радиусами кривизны $R_1 = 2.0$ м и $R_2 = 2.5$ м. База резонатора $d = 1.0$ м. Определите: 1) будет ли такой резонатор устойчив; 2) положение «перетяжки» гауссова пучка относительно вершин зеркал; 3) радиус пучка в «перетяжке» и на зеркалах; 4) радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка в «перетяжке» и на зеркалах; 5) минимальный радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка.

Решение.

1) Критерий устойчивости сферического резонатора:

$$0 < \left(1 - \frac{d}{R_1}\right) \left(1 - \frac{d}{R_2}\right) < 1.$$

Подстановка параметров резонатора приводит к условию:

$$0 < 0.3 < 1,$$

т.е. резонатор устойчив.

2) Радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка:

$$R(z) = z \left(1 + \frac{z_0^2}{z^2}\right), \quad (1)$$

где z_0 – рэлеевская длина:

$$z_0 = \frac{\pi \rho_0^2}{\lambda}, \quad (2)$$

ρ_0 – радиус пучка в «перетяжке»:

$$\rho_0 = \sqrt[4]{\left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \frac{(R_1-d)(R_2-d)(R_1+R_2-d)d}{(R_1+R_2-2d)^2}}. \quad (3)$$

На зеркале радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка совпадает с радиусом кривизны зеркала. Тогда из (1) получаем координаты зеркал относительно «перетяжки» ($z = 0$):

$$z = \frac{\pm R \pm \sqrt{R^2 - 4z_0^2}}{2}. \quad (4)$$

Из (4) получаем z -координату (положение) вершины 1-го (левого) зеркала:

$$z_1 = \frac{-R_1 + \sqrt{R_1^2 - 4z_0^2}}{2} \quad (5)$$

и координату 2-го зеркала (правого):

$$z_2 = \frac{R_2 - \sqrt{R_2^2 - 4z_0^2}}{2}. \quad (6)$$

При этом сумма $|z_1| + z_2$ должна быть равна базе резонатора d . Подстановка параметров резонатора и длины волны в (2), (3), (5) и (6) приводит к значениям $z_1 = -0.6$ м и $z_2 = 0.4$ м.

3) Радиус пучка в «перетяжке» рассчитывается по (3): $\rho_0 = 0.43$ мм. Радиус пучка на расстоянии z от «перетяжки»:

$$\rho(z) = \rho_0 \sqrt{1 + \frac{z_0^2}{z^2}}. \quad (7)$$

Подстановка (5) и (6) в (7) даёт радиусы пучка на зеркалах: $\rho_1 = 0.51$ мм и $\rho_2 = 0.47$ мм.

4) В «перетяжке» волновой фронт гауссова пучка плоский, т.е. радиус кривизны волнового фронта стремится к бесконечности, на зеркалах радиусы кривизны волнового фронта гауссова пучка совпадают с радиусами кривизны зеркал.

5) Минимальный радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка находится из (1):

$$\frac{dR}{dz} = 0 \Rightarrow z_{min} = z_0 \Rightarrow R_{min} = R(z_{min}) = 2z_0.$$

Тогда с учётом (2) и (3) получаем $R_{min} = 1.833$ м.

Задание 2. Считая, что значения вращательных постоянных молекул H_2^1 и $C^{12}O^{16}$ составляют 59,3 и 1,95 $см^{-1}$ соответственно, определить разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательных ИК и КР спектров (пренебрегая центробежным растяжением).

Решение

Молекула $C^{12}O^{16}$ состоит из разных атомов и обладает постоянным дипольным моментом. Следовательно, она обладает как КР, так и ИК чисто вращательными спектрами. Энергия стационарных вращательных уровней двухатомных молекул, выраженная в волновых числах в отсутствие центробежного растяжения может быть записана следующим образом: $E_J = BJ(J+1)$. Учитывая, что правила отбора в ИК и КР спектрах имеют вид: $\Delta J = \pm 1$; и $\Delta J = \pm 2$; соответственно, не сложно получить, что компонентам чисто вращательного ИК спектра, обусловленным переходами следующих видов: $J = 0 \Rightarrow J = 1$; $J = 1 \Rightarrow J = 2$; $J = 2 \Rightarrow J = 3$; соответствуют волновые числа 2В, 4В, 6В; в то время как компонентам чисто вращательного КР спектра, обусловленным переходами следующих видов: $J = 0 \Rightarrow J = 2$; $J = 1 \Rightarrow J = 3$; $J = 2 \Rightarrow J = 4$; соответствуют волновые числа 6В, 10В, 14В;

Следовательно, разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного ИК спектра $C^{12}O^{16}$ составит $2В = 3,9$ $см^{-1}$. А разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра $C^{12}O^{16}$ составит $4В = 7,8$ $см^{-1}$.

Молекула H_2^1 состоит из одинаковых атомов, имеющих кроме того идентичные ядра – протоны. Следовательно, ее постоянный дипольный момент равен нулю. Уже в связи с этим, чисто вращательный ИК спектр для молекулы H_2^1 не реализуется. Кроме того, в таких случаях необходимо учитывать симметрию волновых функций по отношению к перестановке ядер местами. Поскольку протоны являются фермионами, то полная волновая функция должна быть антисимметрична по отношению к перестановке протонов местами. Как известно, вращательные волновые функции симметричны по

отношению перестановке ядер местами для четных J и антисимметричны для нечетных J . В первом случае спиновая волновая функция должна быть антисимметричной (пара-водород: $s = 0$), а во-втором – симметричной (орто-водород: $s = 1$). Учитывая правила отбора, следует отметить, что чисто вращательный ИК спектр молекулы H_2^1 будет также запрещен как результат переходов между состояниями с различными значениями спиновых квантовых чисел s . В то же время чисто вращательный спектр КР будет разрешен, так как правило отбора $\Delta j = \pm 2$ обеспечивает переходы между состояниями с одинаковыми значениями квантовых чисел s . Кроме того, тот факт, что постоянный дипольный момент H_2^1 равен нулю не препятствует формированию чисто вращательного спектра КР. Таким образом, разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра H_2^1 составит $4B=237,2$ см⁻¹.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

Общая физика

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 1. Механика. / Сивухин Д.В.— М.: Физматлит; Изд-во МФТИ. 2005.— 560 с.
2. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. / Матвеев А.Н.—СПб.: Лань. 2009.— 366 с.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 368 с.
4. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 464 с.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. / Ландсберг Г.С.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 848 с.
6. Калашников С.Г. Электричество. / Калашников С.Г.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 624 с.,
7. Бутиков Е.И. Оптика : учебное пособие для вузов / Бутиков Е.И.— СПб.: Лань. 2012.— 608 с
8. Шпольский А.В. Атомная физика Том 1 и 2. / Шпольский А.В.— М.: Наука, 1974.— 581 с.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. / Мухин К.Н.— СПб.: Лань. 2016.— 383 с.
10. Широков Ю.М. Юдин Н.П. Ядерная физика . / Широков Ю.М. Юдин Н.П.— М.: Наука, 1980.— 728 с.
11. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. / Окунь Л.Б. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.— 272 с.
12. Вихман Э. Квантовая физика. / Вихман Э. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 392 с.
13. Саржевский А.М. Оптика / Саржевский А.М.— М.: УРСС, 2018.— 608 с.

Теоретическая механика

1. Ландау, Л.Д. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 7-е, 2015.— 224 с.
2. Ольховский, И.И. Курс теоретической механики для физиков / И.И. Ольховский.— СПб.: Лань, изд. 4-е, 2009.
3. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2015.— 728 с.

Электродинамика

1. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 9-е, 2016.— 508 с
2. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 4-е, 2016.— 656 с.
3. Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм.— М.: Физматлит, изд. 11-е, 2003.— 616 с.
4. Джексон Дж. Классическая электродинамика / Дж. Джексон.— М.: Мир, 1965.— 703 с.

Квантовая механика

1. Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов.— СПб.: БХВ-Петербург, изд. 3-е, 2011.— 704 с.
2. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2016.— 800 с
3. Мессиа, А. Квантовая механика. В 2 т. / А. Мессиа.— М.: Наука, 1978.

Термодинамика и статистическая физика

1. Базаров, И.П. Термодинамика / И.П. Базаров.— СПб.: Лань, изд. 5-е, 2010.— 384 с.
2. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Ч.1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2013.— 616 с
3. Леонтович, М.А. Введение в термодинамику / М.А. Леонтович.— СПб.: Лань, изд. 2-е, 2008.— 432 с.

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ:

1-31 04 08 КОМПЬЮТЕРНАЯ ФИЗИКА

Программирование и математическое моделирование

1. Культин Н. Б. С/C++ в задачах и примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с
2. Андрей Богатырев. Хрестоматия по программированию на Си в Unix, 2001.
3. Харви Дейтел, Пол Дейтел КАК ПРОГРАММИРОВАТЬ НА C++ 1999.
4. А.А. Богуславский, С.М. Соколов Основы программирования на языке Си++
Часть 1. Введение в программирование на языке Си++ – Коломна: КГПИ, 2002. – 490 с.

Операционные системы

5. Таненбаум, Э. Современные операционные системы. 2 изд. / СПб.: Питер, 2002. – 1040 с.
6. Олифер, В.Г. Сетевые операционные системы / Олифер В.Г., Олифер Н.Н. – СПб.: Питер, 2002 – 544 с.
7. Робачевский, А.М. Операционная система UNIX / СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 528 с.

Вычислительный эксперимент

8. Зализняк В.Е. Основы вычислительной физики: учебное пособие для студ. вузов. М.: Техносфера, Ч.1, Ч.2, 2008
9. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. М.: Наука, 1997.
10. Попов Ю. П., Самарский А.А. Вычислительный эксперимент. М. Знание, 1983.

Объектно-ориентированное проектирование

11. Г. Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. «Невский диалект», 1998.
12. А. Пол. Объектно-ориентированное программирование на C++. «Невский диалект», 2001
13. Г.Буч, А.Якобсон, Дж.Рамбо. UML. «Питер». 2006.

Программирование на суперкомпьютерах

14. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002г. 608 с.
15. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 342 с.
16. Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP. М.: Изд-во МГУ, 2012. 344 с.
17. Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI. Минск: БГУ, 2002 г. 323 с.

Моделирование сложных систем

18. Касти, Дж. Большие системы / Дж. Касти – М.: Мир, 1982
19. Лихтенберг, А. и др. Регулярная и хаотическая динамика / А. Лихтенберг, М. Либерман. – , М.: Мир, 1984.
20. Хакен, Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен . – , М.: Мир, 1991

Системы управления базами данных

21. Касти, Дж. Большие системы / Дж. Касти – М.: Мир, 1982
22. Лихтенберг, А. и др. Регулярная и хаотическая динамика / А. Лихтенберг, М. Либерман. – М.: Мир, 1984.

Специализация 1-31 04 08 02 Физическая информатика

(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. - М.: Изд. Моск. ун-та, 1998 - 655 с.
2. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика. / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. — М.: ЮНИТИ, 2001. — 656 с.
3. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика: Оптические материалы. Источники, приемники, фильтрация оптического излучения. Спектральные приборы. Лазеры, лазерная спектроскопия. - М.: Изд. МГУ, 1994 - 363 с.
4. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. М., 2002.
5. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. М.: МГУ, 1994.
6. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников — М.: Наука, 1990.— 688 с.
7. Аут И., Генцов Д., Герман К. Фотоэлектрические явления. М: Мир, 1980.-208 с.
8. Кунце Х.И. Методы физических измерений. М., 1989.

Специализация 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование

физических процессов

(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. Зализняк В.Е. Основы вычислительной физики: учебное пособие для студ. вузов. М.: Техносфера, Ч.1, Ч.2, 2008.
2. А.А. Самарский, А.П. Михайлов. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. - М., Наука. 2002 г.
3. Попов Ю. П., Самарский А.А. Вычислительный эксперимент. М. Знание, 1983.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972.
5. Годунов С. К., Рябенький В.С. Разностные схемы. М.: Наука, 1977.
6. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.
7. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977.
8. Г. Гулд, Д.Тоболчник. Компьютерное моделирование в физике. М.: Мир. 1990г.
9. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. М.: Наука, 1989.
10. И.И.Гихман, А.В.Скороход. Введение в теорию случайных процессов. М.: Наука, 1977.
11. И.М. Соболев. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973.
12. С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. Статистическое моделирование. М.: Наука, 1982.
13. А.В. Никитин, А.И. Слободянюк, М.Л. Шишаков. Компьютерное моделирование физических процессов. М.: Бинум, 2011.
14. Информатика. Базовый курс. Учебник для вузов. Под ред. С.В.Симоновича. СПб.: Питер, 2001.
15. Нортон, Питер. Работа на персональном компьютере / Питер Нортон, Джон Гудман. К.: Диа-Софт, 1999.
16. Брукшир, Дж. Гленн. Введение в компьютерные науки / Брукшир Дж. Гленн. М.: Вильямс, 2001.
17. Г. Буч. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. «Невский диалект», 1998.
18. Б. Страуструп Язык программирования C++. Диасофт, 1993.

19. А. Пол. Объектно-ориентированное программирование на C++. «Невский диалект», 2001

Специализация 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений
(специальность: 1-31 04 08 Компьютерная физика)

1. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. Москва. - 2004.
2. А.М. Бельский. Оптика когерентных пучков: Мн.: БГУ, 2000.
3. С.Н. Курилкина, А.А. Минько. Нелинейная оптика. Минск: БГУ, 2010.
4. Комяк А.И. Молекулярная спектроскопия. Вращательные, колебательные и электронные спектры многоатомных молекул. Мн.: БГУ, 2004.
5. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн.: БГУ, 2009.
6. В.В. Могильный. Полимерные фоторегистрирующие материалы и их применение. Мн.: БГУ, 2003.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
КОМПЛЕКСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
