

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. КАНТА

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель ОНК
«Институт высоких технологий»
А. В. Юров
«29» ноября 2024 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность **1.3.3. Теоретическая физика**

Калининград
2024

Лист согласования

Составитель: Юров Артем Валерианович, д.ф.-м.н., профессор, руководитель ОНК
«Институт высоких технологий»

Программа одобрена Экспертным советом ОНК «Институт высоких технологий»
Протокол № 5 от «29» ноября 2024 г.

Председатель Экспертного совета ОНК ИВТ _____ А.В. Юров

Главный специалист Института подготовки НПК _____ Е.И. Козенкова

Настоящая программа разработана для поступающих в аспирантуру на научную специальность 1.3.3 Теоретическая физика.

Абитуриенты, желающие освоить основную образовательную программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика, должны ознакомиться с Правилами приема в Балтийский федеральный университет им. И. Канта на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

К освоению программ аспирантуры по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика, имеющие высшее образование, подтверждаемое присвоением им квалификации «специалист», «дипломированный специалист», «магистр», а также лица, имеющие базовое высшее образование (освоение программы сроком не менее 6 лет) или специализированное высшее образование, при выполнении одного из двух условий:

— образование релевантно группе научных специальностей 1.3. Физические науки (в соответствии со Списком релевантности направлений подготовки по программам магистратуры и специалитета группам научных специальностей (научным специальностям) по программам аспирантуры в 2025 году, утверждённым Ученым советом БФУ им. И. Канта);

— имеется стаж работы в отрасли/должности, соответствующей группе научных специальностей 1.3. Физические науки, сроком не менее 3 лет.

Целью вступительного испытания является оценка базовых знаний, поступающих в аспирантуру с точки зрения их достаточности для проведения научно-исследовательской деятельности по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Вступительное испытание по специальной дисциплине научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика проводится на русском или английском языке по билетам в устной форме. Экзаменационный билет включает 2 вопроса из предлагаемого перечня, а также собеседование с членами экзаменационной комиссии, в ходе которого абитуриент обосновывает выбор научной специальности, выбор предполагаемого научного руководителя из числа преподавателей и научных работников университета, имеющих право осуществлять научное руководство аспирантами по соответствующей научной специальности, излагает профессиональные планы и цели подготовки и защиты кандидатской диссертации по выбранной научной специальности.

Содержание программы

РАЗДЕЛ I

Физические основы механики

1. **Основы кинематики.** Кинематика материальной точки и абсолютно твердого тела. Преобразование скорости и ускорения при переходе к другой системе отсчета.
2. **Основное уравнение динамики материальной точки.** Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея и основные законы ньютоновской механики. Силы. Основное уравнение динамики. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
3. **Закон сохранения импульса.** Импульс материальной точки; импульс системы. Закон сохранения импульса. Центр масс. Система центра масс. Движение тела переменной массы.
4. **Закон сохранения энергии.** Работа и мощность силы. Консервативные силы и потенциальная энергия. Механическая энергия частицы в консервативном поле. Потенциальная энергия системы. Закон сохранения механической энергии системы. Законы сохранения при столкновениях частиц.
5. **Закон сохранения момента импульса.** Момент импульса частицы. Момент силы. Закон сохранения момента импульса. Собственный момент импульса. Динамика твердого тела.
6. **Механические колебания.** Гармонические колебания. Сложение колебаний. Затухающие колебания. Вынужденные колебания.
7. **Кинематика специальной теории относительности.** Основные трудности нерелятивистской физики. Постулаты Эйнштейна. Эффекты замедления времени и сокращения длины. Преобразования Лоренца и следствия из них.
8. **Релятивистская динамика.** Релятивистский импульс. Основное уравнение релятивистской динамики. Закон взаимосвязи массы и энергии. Связь между импульсом и энергией частицы. Система релятивистских частиц.
9. **Упругие волны.** Уравнение волны. Волновые уравнения. Скорость и энергия упругой волны. Стоячие волны. Эффект Доплера в акустике.

Молекулярная физика и термодинамика

10. **Молекулярно-кинетическая теория.** Представления молекулярно-кинетической теории о строении вещества. Масса и размеры молекул. Основное уравнение

- молекулярно-кинетической теории газов. Идеальный газ во внешнем поле. Распределение молекул по проекции скорости на координатную ось; распределение молекул по модулю скорости. Закон распределения Максвелла – Больцмана.
11. **Первое начало термодинамики.** Работа, внутренняя энергия и теплота. Первое начало термодинамики. Теплоемкость термодинамической системы. Теплоемкость идеального газа. Политропические процессы. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул.
 12. **Второе начало термодинамики.** Второе начало термодинамики. Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины. Холодильный коэффициент. КПД цикла Карно. Теоремы Карно и их следствия. Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии.
 13. **Основное уравнение термодинамики.** Метод термодинамических функций. Термодинамические потенциалы и их свойства. Третье начало термодинамики.
 14. **Неидеальные газы.** Модель газа Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и реального газа. Критическое состояние вещества. Метастабильные состояния. Процесс Джоуля – Томсона.
 15. **Фазовые переходы.** Фазовые переходы. Условия равновесия фаз. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Диаграмма состояний. Жидкое состояние: поверхностное натяжение; давление под изогнутой поверхностью; явления на границе между средами; капиллярные явления. Кристаллическое состояние: строение, симметрия и физические типы кристаллов. Плазма: дебаевский радиус; условие квазинейтральности; плазменные колебания; температура и проводимость плазмы; плазма в магнитном поле.
 16. **Кинетические явления.** Уравнения диффузии, теплопроводности и внутреннего трения. Эффективный диаметр молекулы. Средняя длина и среднее время свободного пробега молекул. Коэффициенты переноса идеальных газов.
 17. **Распределение Ферми – Дирака.** Квантовые статистики. Распределение Ферми – Дирака для электронов в металле. Зонная теория. Электропроводность металлов и полупроводников.
 18. **Распределение Бозе – Эйнштейна.** Распределение Бозе – Эйнштейна для фотонного газа. Закон Стефана – Больцмана. Закон смещения Вина. Теплоемкость твердого тела. Теплоемкость твердых тел: модели Эйнштейна и Дебая. Фононы. Колебательная энергия решетки. Теплоемкость кристаллов.

Электромагнетизм

19. **Электростатическое поле в вакууме.** Электрическое поле. Закон Кулона. Теорема Гаусса и ее применения. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля. Потенциал. Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля. Электрический диполь. Напряженность и потенциал электрического поля диполя. Диполь во внешнем электрическом поле.
20. **Проводник в электростатическом поле.** Электрическое поле внутри и снаружи проводника. Силы, действующие на поверхность проводника. Свойства замкнутой проводящей оболочки. Общая задача электростатики. Метод изображений. Емкость. Конденсаторы.
21. **Электрическое поле в диэлектрике.** Поляризация диэлектрика. Вектор поляризованности и его свойства. Вектор электрического смещения. Условия для векторов напряженности и электрического смещения на границе раздела диэлектрических сред. Поле в однородном диэлектрике.
22. **Энергия электрического поля.** Электрическая энергия системы зарядов. Энергия заряженных проводника и конденсатора. Энергия электрического поля. Энергия системы двух заряженных тел. Силы при наличии диэлектрика.
23. **Постоянный электрический ток.** Плотность тока. Уравнение непрерывности. Закон Ома для однородного проводника. Обобщенный закон Ома. Правила Кирхгофа расчета разветвленных цепей постоянного тока. Закон Джоуля – Ленца. Переходные процессы в цепи с конденсатором.
24. **Магнитное поле в вакууме.** Сила Лоренца. Магнитное поле. Закон Био – Савара – Ласпласа. Основные законы магнитного поля: теорема Гаусса и теорема о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Применение теоремы о циркуляции вектора индукции магнитного поля. Сила Ампера. Момент сил, действующих на контур с током во внешнем магнитном поле. Работа по перемещению контура с током во внешнем магнитном поле.
25. **Магнитное поле в веществе.** Намагничивание вещества. Вектор намагниченности. Циркуляция вектора намагниченности. Вектор напряженности магнитного поля. Граничные условия для векторов индукции и напряженности магнитного поля. Поле в однородном магнетике. Ферромагнетизм.
26. **Относительность электрического и магнитного полей.** Электромагнитное поле. Инвариантность заряда. Законы преобразования векторов напряженности электрического поля и индукции магнитного поля и следствия из них. Инварианты электромагнитного поля.

27. **Электромагнитная индукция.** Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Природа электромагнитной индукции. Явление самоиндукции. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля. Магнитная энергия двух контуров с токами. Энергия и силы в магнитном поле.
28. **Уравнения Максвелла. Энергия электромагнитного поля.** Ток смещения. Система Уравнений Максвелла. Энергия и поток энергии электромагнитного поля. Вектор Умова – Пойнтинга. Импульс электромагнитного поля.
29. **Электрические колебания.** Уравнение колебательного контура. Свободные электрические колебания. Затухающие электрические колебания. Вынужденные электрические колебания. Переменный ток.
30. **Электромагнитные волны.** Волновое уравнение электромагнитной волны. Плоская электромагнитная волна. Стоячие электромагнитные волны. Энергия и импульс электромагнитной волны. Эффект Доплера для электромагнитных волн. Излучение диполя.

Волновая оптика

31. **Введение в оптику.** Свойства световой волны. Формулы Френеля. Закон Брюстера. Основные понятие и величины фотометрии. Законы геометрической оптики. Принцип Ферма. Увеличение оптических приборов.
32. **Интерференция света.** Интерференция световых волн от двух когерентных источников. Интерференционные схемы. Интерференция двух плоских волн. Временная когерентность. Фурье-спектр световой волны. Пространственная когерентность. Интерференция в тонких пленках. Кольца Ньютона. Интерферометр Майкельсона. Многолучевая интерференция.
33. **Дифракция света.** Принцип Гюйгенса – Френеля. Зоны Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии, диске, полуплоскости и щели. Дифракция Фраунгофера на круглом отверстии и щели. Дифракционная решетка. Дифракционная решетка как спектральный прибор Дифракция на пространственной решетке.
34. **Поляризация света.** Естественный и поляризованный свет. Закон Малюса. Поляризация при отражении и преломлении. Поляризация при двойном лучепреломлении. Суперпозиция и интерференция поляризованных волн. Искусственное двойное лучепреломление. Вращение направления плоскости поляризации.

35. **Взаимодействие света с веществом.** Дисперсия света. Классическая теория дисперсии. Групповая скорость. Поглощение света. Рассеяние света.

Квантовая физика, атомная физика

36. **Квантовые свойства электромагнитного излучения.** Фотоэффект. Тормозное рентгеновское излучение. Опыт Боле. Фотоны. Эффект Комптона.
37. **Атом Резерфорда – Бора.** Ядерная модель атома. Опыты Резерфорда. Спектральные закономерности. Постулаты Бора. Опыты Франка – Герца. Боровская модель атома водорода. Спектральные серии водородоподобных атомов. Магнитный момент атома водорода. Недостатки теории Бора.
38. **Волновые свойства частиц.** Гипотеза де Бройля и ее экспериментальные подтверждения. Преломление волн де Бройля. Опыты Томсона и Тартаковского. Опыты с нейтронами, одиночными электронами и молекулами. Эксперименты Йенсена. Принцип неопределенности Гейзенберга. Соотношения неопределенностей Гейзенберга и основные выводы из них.
39. **Уравнение Шредингера.** Состояние частицы в квантовой теории. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Квантование энергии. Частица в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Квантовый гармонический осциллятор.
40. **Основы квантовой теории.** Средние значения физических величин. Операторы. Основные постулаты квантовой теории. Собственные состояния. Квантование момента импульса и его проекции на выделенную ось. Ротатор.
41. **Квантование атомных состояний.** Квантование атома водорода. Кратность вырождения. Распределение плотности вероятности. Уровни и спектры щелочных металлов. Правила отбора. Спектральные серии. Спин электрона. Полный момент импульса электрона. Тонкая структура спектральных линий. Механический момент многоэлектронного атома. Типы связи. Принцип Паули. Правила Хунда. Характеристические рентгеновские спектры
42. **Магнитные свойства атомов.** Орбитальный магнитный момент. Опыты Штерна – Герлаха. Спиновый магнитный момент. Полный магнитный момент атома. Простой и сложный эффекты Зеемана. Эффект Пашена – Бака. Электронный магнитный резонанс.

Физика атомного ядра и элементарных частиц

43. **Атомное ядро.** Состав ядра. Характеристики атомного ядра. Размеры ядер. Спин ядра. Масса и энергия связи ядра. Удельная энергия связи. Ядерные силы и их особенности. Механизм взаимодействия нуклонов. Модели ядер.
44. **Радиоактивность. Ядерные реакции.** Основной закон радиоактивного распада. Основные типы радиоактивности: альфа и бета-распады. Энергетика бета-распада. Распределение электронов по энергиям при бета-распаде. Гамма-распад. Эффект Мессбауэра. Ядерные реакции. Выход ядерной реакции. Типы ядерных реакций. Энергия и порог ядерной реакции. Уровни возбуждения ядра.
45. **Элементарные частицы.** Фундаментальные взаимодействия. Систематика элементарных частиц. Античастицы. Законы сохранения в физике элементарных частиц. Четность. Изотопический спин. Кварковая модель адронов.

РАЗДЕЛ II

1. Механика

Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле.

Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.

Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.

Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.

Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.

Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц.

2. Теория поля

Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.

Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.

Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара—Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях. Мультипольное излучение.

Движение частицы в гравитационном поле. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.

Уравнения гравитационного поля. Тензор кривизны. Действие для гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.

Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центральносимметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.

Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет). Гравитационные линзы.

Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуумдоминированной (инфляционной) стадиях.

3. Электродинамика сплошных сред

Электростатика диэлектриков и проводников. Диэлектрическая проницаемость и проводимость. Термодинамика диэлектриков. Магнитные свойства. Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамические соотношения. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.

Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.

Уравнения электромагнитных волн. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса—Кронига. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление. Принцип взаимности.

Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.

Магнитная гидродинамика. МГД-волны. Проблема динамо.

Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники.

Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

4. Квантовая механика

Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.

Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша—Гордана.

Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.

Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.

Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.

Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.

Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса—Ферми. Тонкая структура тонких уровней. Периодическая система Менделеева.

Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.

Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние.

Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

5. Статистическая физика

Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.

Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе—Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.

Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства идеального классического газа.

Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиса. Критическая точка.

Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие.

Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.

Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект

Джозефсона.

Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.

Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

6. Теория конденсированного состояния

Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов, бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Двухжидкостное описание. Критерий Ландау. Теория Фейнмана. Квантовые вихри. Корреляции в положении частиц бозе-газа.

Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.

Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.

Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа-ван Альфвена.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Акустические и оптические ветви. Модель Дебая. Удельная теплоемкость решетки. Квантование фононов. Ангармонизм и тепловое расширение. Фактор Дебая—Уоллера.

Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.

Магнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные свойства изолированного атома. Правило Хунда. Гамильтониан Гейзенберга. Модель Хаббарда. Природа магнетизма металлов. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ). Эффект Кондо.

Магнитный порядок. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков. Спиновые волны (магноны). Квантовые флуктуации и спиновые волны в антиферромагнетике. Вклад магнонов в термодинамику магнетиков. Динамика магнитного момента в ферромагнетике. Уравнение Ландау—Лифшица.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Нелокальная электродинамика сверхпроводника: лондоновский и пиппардовский случай. Эффекты четности числа электронов в

сверхпроводниках малых размеров.

Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Верхнее и нижнее критические поля. Вихревая решетка. Эффект Джозефсона. Эффект близости. Флуктуационные эффекты вблизи сверхпроводящего перехода. Туннельные эффекты в сверхпроводниках.

Функции Грина. Корреляционные функции. Термодинамический предел и квазисредние. Основные принципы диаграммной техники. Уравнение Дайсона. Вершинная функция. Многочастичные функции Грина. Диаграммная техника при конечных температурах. Кинетические уравнения.

Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.

Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Эффекты локализации электронов в одно- и двумерных системах, перколяционные явления.

7. Квантовая теория полей

Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой.

Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тожества Уорда—Такахаши.

Квантово-электродинамические расчеты: комптон-эффект, e^+ , e^- аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.

Калибровочные теории поля. Квантование по Фаддееву—Попову и духи. Тожества Славнова—Тейлора. Квантовая хромодинамика и асимптотическая свобода.

Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

Кварковая модель. Спектроскопия адронов и составляющие кварки. Чармоний, боттомоний.

КХД и киральная симметрия сильных взаимодействий. Частичное сохранение аксиального тока. Пионы как голдстоуновские частицы. Киральная аномалия Адлера—Белла—Джакива.

Стандартная модель. W- и Z-бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Кабиббо—Кобаяши—Маскава.

b -распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.

Нарушение CP-инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов.

8. Физика космоса, астрономия

Небесная (ICRS) и земная (ITRS) системы координат. Небесная опорная система координат (ICRF) и земная опорная система координат (ITRF).

Звездные каталоги, их построение и предназначение.

Измерение времени: шкала атомного времени IAT. Классические шкалы времени UT0, UT1, UT2, ET. Релятивистские шкалы времени TDT и TDB, TT, TCG, TCB.

Системы астрономических постоянных и их определение.

Закон притяжения Ньютона, силовая функция взаимного притяжения системы материальных точек, свойства силовой функции.

Задача n тел: постановка задачи, дифференциальные уравнения движения в абсолютных координатах, первые интегралы.

Уравнения относительного движения задачи n тел: уравнения в барицентрической системе координат, планетная форма уравнений, уравнения в координатах Якоби; первые интегралы.

Дифференциальные уравнения движения в цилиндрических и сферических координатах в задаче n тел, первые интегралы.

Уравнения Лагранжа второго рода. Каноническая форма дифференциальных уравнений движения, понятие Гамильтониана, первые интегралы.

Канонические преобразования. Теорема Якоби. Метод Гамильтона-Якоби нахождения общего решения канонической системы дифференциальных уравнений.

Задача двух тел. Дифференциальные уравнения движения невозмущенного кеплеровского движения в абсолютной и относительной системах координат. Интегралы площадей и энергии, интегралы Лапласа.

Невозмущенное кеплеровское движение. Уравнение траектории движения в орбитальных прямоугольных и полярных координатах. Кеплеровские элементы орбиты, связь между постоянными интегралов площадей, интегралов Лапласа и интеграла энергии с кеплеровскими элементами.

Исследование невозмущенного движения: общие свойства, законы Кеплера, основные типы кеплеровского движения. Уравнение Кеплера. Определение типа движения по величине вектора Лапласа, по постоянной энергии.

Выражение прямоугольных координат и компонент скорости через кеплеровские элементы орбиты. Зависимость кеплеровских элементов невозмущенного движения от начальных условий: значений прямоугольных координат и компонент скорости в

начальную эпоху.

Ряды невозмущенного эллиптического движения: разложение координат эллиптического движения в ряды Фурье, в ряды по степеням эксцентриситета, в ряды по степеням времени.

Теория возмущенного движения: метод Лагранжа вариации произвольных постоянных. Понятие оскулирующей орбиты и оскулирующих элементов. Основная операция.

Ограниченная задача трех тел. Уравнения движения в инерциальной и вращающейся системах координат. Интеграл Якоби.

Поверхности нулевой скорости (поверхности Хилла). Области возможного движения тела «нулевой массы». Топология поверхностей Хилла. Устойчивость движения по Хиллу.

Частные решения ограниченной задачи трёх тел (лагранжевы решения). Лагранжевы точки равновесия: коллинеарные и треугольные.

Теория возмущенного движения: уравнения Ньютона (Эйлера) воскулирующих кеплеровских элементах.

Теория возмущенного движения: уравнения Лагранжа в оскулирующих кеплеровских элементах.

Методы приближенного интегрирования дифференциальных уравнений возмущенного движения: метод Пуанкаре малого параметра.

Метод Пикара интегрирования уравнений в оскулирующих кеплеровских элементах. Аналитическая структура возмущений.

Теория возмущенного движения: принципы разложения возмущающей функции.

Теорема Лапласа об устойчивости Солнечной системы. Современное состояние проблемы устойчивости Солнечной системы.

Критерии оценивания уровня знаний

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по 100-бальной шкале. Максимальный балл за ответ на экзаменационный билет – 100. Минимальный балл, соответствующий положительной оценке – 50.

86-100 баллов выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы

членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание основного и дополнительного материала, усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет творческие способности в понимании и изложении материала. В ходе собеседования устанавливается высокая степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, наличие научного задела по теме планируемого исследования, участия в исследовательских проектах, научных грантах, студенческих конкурсах.

66-85 баллов выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает достаточный уровень знаний в пределах основного материала; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах экзаменатора. Допускает несущественные погрешности в ответах. В ходе собеседования устанавливается высокая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований по выбранной научной специальности и мотивированности к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры и ее защите.

50-65 баллов выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменатора. В ходе собеседования устанавливается низкая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований (в том числе на основании анализа представленных индивидуальных достижений) по выбранной научной специальности; мотивация к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры низкая или совсем отсутствует

0-49 баллов выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы

экзаменационного билета теоретических и практических знаний. Экзаменуемый показывает пробелы в знаниях основного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки самостоятельно.

Основная и дополнительная литература

Основная литература

По разделу I

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Том I. Механика. М.: Физматлит». 2010. 560 с.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Том II. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Физматлит. 2011. 543 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Том III. Электричество. М.: Физматлит. 2004. 654 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Том IV. Оптика. М.: Физматлит. 2004. 792 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Том V. Атомная и ядерная физика. М.: Физматлит. 2008. 782 с.
6. Матвеев А.Н. Курс общей физики. В 5 т. Том 1. Механика. СПб.: Лань. 2022. 340 с.
7. Матвеев А.Н. Курс общей физики. В 5 т. Том 2. Электричество и магнетизм. СПб.: Лань. 2022. 343 с.
8. Матвеев А.Н. Курс общей физики. В 5 т. Том 3. Молекулярная физика и термодинамика. СПб.: Лань. 2022. 224 с.
9. Матвеев А.Н. Курс общей физики. В 5 т. Том 4. Волны. Оптика. СПб.: Лань. 2022. 253 с.
10. Матвеев А.Н. Курс общей физики. В 5 т. Том 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. СПб.: Лань. 2022. 369 с.
11. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М.: Лаборатория знаний. 2021. 312 с.
12. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. М.: Лаборатория знаний. 2019. 207 с.
13. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. М.: Лаборатория знаний. 2025. 319 с.
14. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. М.: Лаборатория знаний. 2015. 263 с.

15. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы. М.: Лаборатория знаний. 2021. 256 с.
16. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т. I. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. М.: Кнорус. 2012. 521 с.
17. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т. II. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. М.: Кнорус. 2012. 570 с.
18. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 т. Т. III. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: Кнорус. 2012. 359 с.

По разделу II

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. — Издание 5-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2004. — 224 с. — («Теоретическая физика», том I). — ISBN 5-9221-0055-6.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. — Издание 8-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2012. — 536 с. — («Теоретическая физика», том II). — ISBN 5-9221-0056-4.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). — Издание 6-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2004. — 800 с. — («Теоретическая физика», том III). — ISBN 5-9221-0530-2.
4. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Теоретическая физика. — Издание 4-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2002. — Т. IV. Квантовая электродинамика. — 720 с. — ISBN 5-9221-0058-0.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Часть 1. — Издание 5-е. — М.: Физматлит, 2005. — 616 с. — («Теоретическая физика», том V). — ISBN 5-9221-0054-8.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI). — ISBN 978-5-9221-1625-1.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. — Издание 5-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2007. — 259 с. — (Теоретическая физика, т. VII). — ISBN 5-9221-0122-6.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — Издание 4-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2005. — 656 с. — («Теоретическая физика», том VIII). — ISBN 5-9221-0123-4.
9. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Статистическая физика. Часть 2. Теория конденсированного состояния. — М.: Физматлит, 2004. — 496 с. — («Теоретическая физика», том IX).
10. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Физическая кинетика. — изд. 2. — М.:

Физматлит, 2007. — 536 с. — («Теоретическая физика», том X). — 3000 экз. — ISBN 978-5-9221-0125-7.

Дополнительная литература

1. В.Г. Левич «Курс теоретической физики», т. 1,2, М.: Наука, 2009.
2. А.С. Давыдов "Квантовая механика". М.: Наука, 2003. 10.