

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

/Д.С. Гуц/

«28» марта 2022 года

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания для поступающих в аспирантуру**

**1.3 Физические науки**

*шифр и наименование группы научных специальностей*

**1.3.8 Физика конденсированного состояния**

*шифр и наименование научной специальности*

## Содержание программы

### 1. Физические основы механики

#### 1.1. Элементы кинематики

Пространственно- временные отношения. Система отчета. Скалярные и векторные физические величины. Основные кинематические характеристики движения частиц. О смысле производной и интеграла в приложении к физическим задачам. Скорость и ускорение частицы при криволинейном движении. Движение частицы по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Поступательное и вращательное движения абсолютно твердого тела.

#### 1.2. Элементы динамики частиц

Понятие состояния частицы в классической механике. Основная задача динамики. Первый закон Ньютона. Понятие инерциальной системы отсчета. Масса. Уравнение движения. Третий закон Ньютона. Современная трактовка законов Ньютона. Границы применимости классического способа описания движения частиц.

#### 1.3. Законы сохранения в механике

Закон сохранения импульса. Центр масс. Закон движения центра масс. Реактивное движение. Момент импульса. Момент силы. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса. Движение в центральном поле. Законы Кеплера.

Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия и энергия взаимодействия. Внутренняя энергия. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии. Законы сохранения и симметрия пространства и времени.

#### 1.4. Принцип относительности в механике

Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Инварианты преобразования. Описание движения в неинерциальных системах отчета. Силы инерции. Гравитационная масса. Эквивалентность инертной и гравитационной масс.

### ***1.5. Элементы релятивистской динамики***

Принцип относительности в релятивистской механике. Преобразование Лоренца для координат и времени и их следствия. Релятивистский импульс. Инвариантность уравнений движения относительно преобразований Лоренца. Полная энергия частицы. Четырехмерный вектор энергии - импульса частицы. Закон сохранения четырехмерного вектора энергии - импульса. Столкновения релятивистских частиц.

### ***1.6. Элементы механики твердого тела***

Уравнения движения и равновесия твердого тела. Понятие статически неопределенных систем. Кинетическая энергия твердого тела, совершающего поступательное и вращательное движения. Уравнение движения твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Момент инерции твердого тела относительно оси. Гироскоп. Прецессия гироскопа.

### ***1.7. Элементы механики сплошных сред***

Общие свойства газов и жидкостей. Кинематическое описание движения жидкости. Векторные поля. Поток и циркуляция векторного поля. Уравнения движения и равновесия жидкости. Идеальная жидкость. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.

Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Законы гидродинамического подобия. Гидродинамическая неустойчивость. Понятие о турбулентности.

## **2. Физика колебаний и волн**

### ***2.1. Кинематика гармонических колебаний***

Амплитуда, круговая частота и фаза гармонических колебаний. Сложение скалярных и векторных колебаний. Биения. Фигуры Лиссажу. Векторные диаграммы. Комплексная форма представления гармонических колебаний.

### ***2.2. Гармонический осциллятор***

Движение системы вблизи устойчивого положения равновесия. Модель гармонического осциллятора. Примеры гармонических осцилляторов: маятник, груз на пружине, колебательный контур. Свободные затухающие колебания.

Коэффициент затухания. Логарифмический декремент. Энергия гармонического осциллятора. Добротность. Понятие о связанных гармонических осцилляторах. Нормальные колебания (моды).

### ***2.3. Ангармонические колебания***

Нелинейный осциллятор. Физические системы, содержащие нелинейность. Преобразование и детектирование электрических колебаний. Автоколебания. Обратная связь. Регенерация. Условие самовозбуждения колебаний. Роль нелинейности. Фазовая плоскость генератора. Предельные циклы. Понятие о релаксационных и параметрических колебаниях.

### ***2.4. Волновые процессы***

Волновое движение. Плоская стационарная волна. Плоская синусоидальная волна. Бегущие и стоячие волны. Длина волны, волновой вектор и фазовая скорость. Скалярные и векторные волны. Поляризация. Одномерное волновое уравнение. Упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах. Энергетические характеристики упругих волн. Вектор Умова. Поведение звука на границе раздела двух сред. Понятие об ударных волнах. Эффект Доплера.

## **3. Молекулярная физика и термодинамика**

### ***3.1. Элементы молекулярно-кинетической теории***

Макроскопическое состояние. Физические величины и состояния физических систем. Макроскопические параметры как средние значения. Тепловое равновесие. Модель идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Понятие о температуре.

Явления переноса. Диффузия. Теплопроводность. Коэффициент диффузии. Коэффициент теплопроводности. Температуропроводность. Диффузия в газах, жидкостях и твердых телах. Вязкость. Коэффициенты вязкости газов и жидкостей.

### ***3.2. Элементы термодинамики***

Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Интенсивные и экстенсивные параметры. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия.

Второе начало термодинамики. Термодинамические потенциалы и условия равновесия. Химический потенциал. Условия химического равновесия. Цикл Карно. Максимальный к.п.д. тепловой машины.

Фазы и условия равновесия фаз. Термодинамика поверхности раздела двух фаз. Поверхностная энергия и натяжение. Капиллярные явления. Фазовые превращения. Фазовые диаграммы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

### ***3.3. Функции распределения***

Микроскопические — параметры. Вероятность и — флуктуации. Распределение Максвелла. Средняя кинетическая энергия частицы. Распределение Больцмана. Теплоемкость многоатомных газов. Ограниченность классической теории теплоемкости.

### ***3.4. Элементы физической кинетики***

Локальное и неполное равновесие. Релаксационные явления. Времена релаксации различных процессов приближения к тепловому равновесию. Броуновское движение. Связь диффузии с броуновским движением. Чувствительность измерительных приборов. Шумы. Понятие о принципе Онзагера. Понятие о перекрестных эффектах.

### ***3.5. Распределение Гиббса***

Модель системы в термостате. Каноническое распределение Гиббса. Статистический смысл термодинамических потенциалов и температуры. Роль свободной энергии. Распределение Гиббса для системы с переменным числом частиц. Энтропия и вероятность. Определение энтропии равновесной системы через статистический вес макросостояния.

Статистическое описание квантовой системы. Различие между квантовомеханической и статистической вероятностями. Принцип Нернста и его следствия. Квантовые идеальные газы. Функции распределения Бозе и Ферми.

### ***3.6. Порядок и беспорядок в природе***

Энтропия как количественная мера хаотичности. Принцип возрастания энтропии. Переход от порядка к беспорядку в состоянии теплового равновесия.

Роль фазовых переходов. Ближний и дальний порядок. Параметр порядка. Координационный и ориентационный порядки. Возникновение дальнего порядка. Жидкие кристаллы. Кристаллическая решетка. Структурное упорядочение кристаллов. Понятие о магнитном порядке. Неупорядоченные макросистемы.

Макросистемы вдали от равновесия. Открытые диссипативные системы. Появление самоорганизации в открытых системах и превращение флуктуаций в макроскопические эффекты. Роль нелинейности. Понятие о бифуркациях. Идеи синергетики.

#### **4. Электричество и магнетизм**

Предмет классической электродинамики. Электрический заряд и его дискретность. Идея близкодействия. Границы применимости классической электродинамики.

##### ***4.1. Электростатика***

Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Электрический диполь. Основные уравнения электростатики в вакууме. Поток и циркуляция электростатического поля. Работа электростатического поля. Потенциал электростатического поля и его связь с напряженностью.

Идеальный проводник в электростатическом поле. Поверхностные заряды. Граничные условия на поверхности раздела "идеальный проводник - вакуум". Электростатическое поле в полости идеального проводника. Электростатическая защита. Коэффициенты емкости и взаимной емкости проводников. Конденсаторы. Емкость конденсаторов.

Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия системы заряженных проводников. Энергия заряженного конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.

##### ***4.2. Электростатическое поле в веществе***

Плоский конденсатор с диэлектриком. Энергия диполя во внешнем электростатическом поле. Поляризация диэлектрика. Поляризационные заряды.

Поляризованность. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость. Основные уравнения электростатики диэлектриков. Граничные условия на поверхности раздела "диэлектрик-диэлектрик" и "проводник-диэлектрик". Плотность энергии электростатического поля в диэлектрике. Внутренняя и свободная энергия диэлектриков во внешнем электростатическом поле и условия термодинамического равновесия. Электрострикция. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики. Электреты.

### ***4.3. Постоянный электрический ток***

Условия существования тока. Проводники и изоляторы. Разрядка конденсатора. Законы Ома и Джоуля-Ленца в локальной форме. Сторонние силы. Э.Д.С. Источники Э.Д.С. Закон Ома для замкнутой цепи и участка цепи, содержащего источник Э.Д.С. Закон сохранения энергии для замкнутой цепи. Правила Кирхгофа.

Электропроводность металлов. Носители тока в металлах. Электропроводность как вынужденная диффузия. Недостаточность классической электронной теории. Электронные теплоемкость и теплопроводность.

Элементы зонной теории кристаллов. Электронный ферми-газ в металле. Носители тока как квазичастицы. Зонная структура энергетического спектра электронов. Уровень и поверхность Ферми. Число и плотность числа электронных состояний в зоне. Заполнение зон: металлы, диэлектрики и полупроводники. Электропроводность полупроводников. Понятие о дырочной проводимости. Собственные и примесные полупроводники. Понятие  $\sigma_p$  -  $\sigma_n$  в переходе. Транзистор.

Электрический ток в вакууме. Термоэлектронная эмиссия. Электрический ток в газе. Процессы ионизации и рекомбинации. Электропроводность слабоионизированных газов. Понятие о плазме. Плазменная частота. Дебаевская длина. Электропроводность плазмы.

Явление сверхпроводимости. Куперовское спаривание электронов. Понятие о высокотемпературной сверхпроводимости.

#### ***4.4. Магнитное поле***

Сила Лоренца. Сила Ампера. Магнитная индукция. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Основные уравнения магнетостатики в вакууме. Поток и циркуляция магнитного поля. принцип суперпозиции для магнитного поля.

Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Закон Био- Савара. Виток с током в магнитном поле. Момент сил, действующий на виток с током в магнитном поле. Магнитный момент. Энергия витка с током во внешнем магнитном поле.

Магнитное поле длинного соленоида. Коэффициенты индуктивности и взаимной индуктивности. Магнитное поле и магнитный момент кругового тока. Электромагнитная индукция. Правило Ленца. Явления самоиндукции при замыкании и размыкании электрической цепи. Флюксметр. Магнитная энергия тока. Плотность энергии магнитного поля.

#### ***4.5. Магнитное поле в веществе***

Длинный соленоид с магнетиком. Намагничивание вещества. Молекулярные токи. Намагниченность. Напряженность магнитного поля. Магнитная проницаемость. Основные уравнения магнетостатики в веществе. Граничные условия на поверхности раздела двух магнетиков. Плотность энергии постоянного магнитного поля в веществе. Магнитные цепи. Магнетики. Пара-, диа-, ферро-, антиферромагнетики. Элементы теории ферромагнетизма. Точка Кюри. Доменная структура. Техническая кривая намагничивания. Внутренняя и свободная энергия магнетиков во внешнем магнитостатическом поле и условия термодинамического равновесия. Магнитострикция ферромагнетиков. Магнитный метод охлаждения.

#### ***4.6. Уравнения Максвелла***

Фарадеевская и максвелловская трактовки явления электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Скалярный и векторный потенциалы электромагнитного поля. Закон сохранения энергии для электромагнитного поля. Плотность энергии электромагнитного поля.



Плотность потока энергии электромагнитного поля. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Скорость распространения электромагнитных волн.

#### ***4.7. Принцип относительности в электродинамике***

Опыт Майкельсона. Независимость скорости света от движения источника. — Инвариантность уравнений Максвелла — относительно преобразований Лоренца. Релятивистские преобразования зарядов, токов и электромагнитных полей. Инварианты преобразований. Относительность разделения электромагнитного поля на электрическое и магнитное поля.

#### ***4.8. Квазистационарное электромагнитное поле***

Условия малости тока смещения. Токи Фуко. Квазистационарные явления в линейных проводниках. Переходные процессы в электрических цепях. Генератор переменного тока. Импеданс. Цепи переменного тока.

Плоские электромагнитные волны. Поляризация. Энергетические характеристики электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Излучение диполя. Диаграмма направленности. Сферические и цилиндрические волны. Эффект Доплера в электродинамике.

### **5. Волновая оптика**

#### ***5.1. Интерференция волн***

Принцип суперпозиции для волн. Интерференция плоских и сферических монохроматических волн. Одномерная решетка из источников сферических или цилиндрических монохроматических волн. Интерференция квазимонохроматических волн. Влияние источника на интерференцию волн. Функция когерентности. Временное и спектральное рассмотрение интерференционных явлений. Интерферометры.

#### ***5.2. Дифракция волн***

Принцип Гюйгенса - Френеля. Дифракция Френеля. Число Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракция на круглом отверстии, прямой щели и на множестве параллельных щелей. Дифракционная решетка. Спектральное разложение. Разрешающая способность спектральных — приборов. Дифракционная решетка с синусоидальной пропускаемостью. Оптическая

фильтрация пространственных частот. Принцип голографии.

### ***5.3. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом***

Модель среды с дисперсией. Показатель преломления. Нормальная и аномальная дисперсии. Групповая скорость. Поглощение волн. Поведение волн на границе раздела двух сред. Понятие о волноводах. Анизотропные среды. Элементы кристаллооптики. Электрооптические и магнитооптические явления. Элементы нелинейной оптики: самофокусировка света, генерация гармоник, параметрические процессы, вынужденное рассеяние. Обращение волнового фронта. Получение сверхкоротких световых импульсов.

## **6. Атомная и ядерная физика**

### ***6.1. Истоки основных идей квантовой механики***

Противоречия классической физики. Излучение черного тела. Формула Планка для равновесного теплового излучения. Фотоэлектрический эффект. Стабильность и размеры атомов. Принцип минимального воздействия в природе. Открытие постоянной Планка. Линейчатые спектры атомов. Правило частот Бора. Принцип соответствия. Опыт Франка и Герца. Опыт Штерна и Герлаха. Резонансы во взаимодействии нейтронов с атомными ядрами и пионов с нуклонами.

### ***6.2. Фотоны***

Энергия и импульс световых квантов. Формула Эйнштейна для фотоэлектрического эффекта. Эффект Комптона. Аннигиляция электрон-позитронной пары.

### ***6.3. Корпускулярно-волновой дуализм***

Гипотеза де Бройля. Дифракция электронов и нейтронов. Микрочастица В однощелевом интерферометре. Соотношение неопределенностей. Оценка энергии основного состояния атома водорода и энергии нулевых колебаний осциллятора. Туннельный эффект. Волновые свойства микрочастиц и соотношения неопределенностей. Наборы одновременно измеримых величин.

### ***6.4. Квантовые состояния***

Задание состояния микрочастиц. Волновая функция и ее статистический

смысл. Суперпозиция состояний. Амплитуды вероятностей. Описание прохождения микрочастицы через двухщелевой интерферометр. Описание дифракции нейтронов на кристалле. Вероятность в квантовой теории.

### ***6.5. Уравнение Шредингера***

Временное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Частица в одномерной и трехмерной потенциальных ямах. Прохождение частицы над и под потенциальным барьером. Гармонический осциллятор.

### ***6.6. Атом***

Частица в сферически симметричном поле. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциалы возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов. Пространственное распределение плотности вероятности для электрона в атоме водорода. Мезоатомы. Ширина уровней.

### ***6.7. Многоэлектронные атомы***

Спектр газообразного гелия. Орто- и парагелий. Неразличимость одинаковых частиц в квантовой механике. Опыты по рассеянию тождественных частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Обменное взаимодействие. Структура энергетических уровней в многоэлектронных атомах. Типы связей электронов в атомах. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.

### ***6.5. Молекула***

Молекула водорода. Физическая природа химической связи. Ионная и ковалентная связи. Электронные, колебательные и вращательные состояния многоатомных молекул. Молекулярные спектры.

### ***6.9. Электроны в кристаллах***

Приближение сильной и слабой связи. Модель свободных электронов. Уровень Ферми. Элементы зонной теории кристаллов. Функция Блоха. Зонная структура энергетического спектра электронов. Поверхность Ферми. Число и плотность числа электронных состояний в зоне. Заполнение зон: металлы, диэлектрики и полупроводники.

Явление сверхпроводимости. Куперовское спаривание электронов. Туннельный контакт. Эффект Джозефсона и его применение. Захват и

квантование магнитного потока. Понятие о высокотемпературной сверхпроводимости.

### ***6.10. Элементы квантовой электроники***

Теория возмущений для уравнения Шредингера. Вероятность перехода. Элементы квантовой теории излучения. Вынужденное и спонтанное излучение фотонов. Коэффициенты Эйнштейна. Тепловое равновесное излучение. Принцип работы квантового генератора. Открытый резонатор. Лазерная спектроскопия. Приложения квантовой электроники.

## **7. Атомное ядро**

Строение атомного ядра. Модели ядра. Ядерные реакции. Радиоактивные превращения ядер. Реакция ядерного деления. Цепная реакция деления. Ядерный реактор. Идея бриддерного реактора. Проблема источников энергии. Термоядерный синтез. Энергия звезд. Управляемый термоядерный синтез. Эффект Мессбауэра и его применение.

## **ЛИТЕРАТУРА**

### ***Основная***

1. Курс физики /под ред. В.Н. Лозовского/. - С-П. Издательство "Лань", 2000, т. 1-2.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. - М.: Наука, 2000, т. 1-У.
3. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики. Курс общей физики: Учебн. В 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / Под ред. А.С. Кингсепа. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. - 560 с.
4. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Курс общей физики: Учебн. В 2 т. Т. 2. Квантовая и статистическая физика/Под ред. Ю.М. Ципенюка. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. - 504 с.
5. Трофимова Т. Н. Курс физики. - М.: Высшая школа. 1999-2004.

6. Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: Наука,1989-1998,т.1-3.
7. Детлаф А.А. и др. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985-1999.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. - М.: Высшая школа, 2003.
9. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. -М.:ВЛАДИС, 1997.
10. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. — М.: Астрель АСТ, 2001.

### *Дополнительная*

1. Матвеев А.И. Курс общей физики. - М.: Высшая школа, 1976-1989, т. 1-У.
2. Астахов А.В., Широков Ю.М. Курс физики. -М.: Наука, 1977-1981, т. 1-3.
3. Суханов А.Д. Фундаментальный курс физики. Т. 1-3. — М.: Издательская фирма «Агар». 1996-1999.
4. Иродов И.Е. Механика. - М.-С.П.: Физматлит. 2000.
5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. - М.-С.П.: Физматлит. 2000.
6. Иродов И.Е. Волновые процессы. - М.-С.1.: Физматлит. 1999.
7. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. - М.: Мир, 1965- 1967, вып.1-9.
8. Калашников С.Г. Электричество. - М.: Наука, 1995.
9. Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: Наука, 2005.
10. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М.: Из-во МГУ. 2003.
11. Павлов П.В., ов А.Ф. Физика твердого тела. — М.: Высшая школа.
12. Трофимова Т.И. Оптика и атомная физика: законы, проблемы, задачи. — М.: Высшая школа, 1999.
13. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. -М.: Наука, 1978.
14. Готтфрид К., Вайскопф В. Концепция физики элементарных частиц. -М.: Мир, 1988.
15. Козел С.М., Рашба Э.И., Славатинский С.А. Сборник задач по физике. - М.: Наука, 1987.

## Перечень вопросов к экзамену:

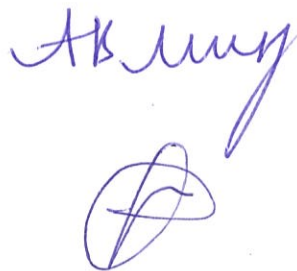
1. Элементы кинематики.
2. Элементы динамики частиц.
3. Законы сохранения в механике.
4. Принцип относительности в механике.
5. Элементы релятивистской динамики.
6. Элементы механики твердого тела.
7. Элементы механики сплошных сред.
8. Кинематика гармонических колебаний.
9. Гармонический осциллятор.
10. Ангармонические колебания.
11. Волновые процессы.
12. Элементы молекулярно-кинетической теории.
13. Элементы термодинамики.
14. Функции распределения.
15. Элементы физической кинетики.
16. Распределение Гиббса.
17. Порядок и беспорядок в природе.
18. Электричество и магнетизм.
19. Электростатика.
20. Электростатическое поле в веществе.
21. Постоянный электрический ток.
22. Магнитное поле.
23. Магнитное поле в веществе.
24. Уравнения Максвелла.
25. Принцип относительности в электродинамике.
26. Квазистационарное электромагнитное поле.
27. Интерференция волн.
28. Дифракция волн.
29. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом.

30. Истоки основных идей квантовой механики.
31. Фотоны.
32. Корпускулярно-волновой дуализм.
33. Квантовые состояния.
34. Уравнение Шредингера.
35. Атом.
36. Многоэлектронные атомы.
37. Молекула.
38. Электроны в кристаллах.
39. Элементы квантовой электроники.
40. Атомное ядро.
41. Современные проблемы физики конденсированного состояния

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.

Директор ИИФирЭ

Составитель программы:  
канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий  
базовой кафедрой физики твердого тела и  
нанотехнологий



А.В. Минаков

П.П. Турчин