

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**"Казанский (Приволжский) федеральный университет"**

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной деятельности

  
\_\_\_\_\_ Д.А. Таюрский

« 30 \_\_\_\_\_ 2023 г.



**Программа вступительного экзамена по специальности**

**Уровень высшего образования:** подготовка кадров высшей квалификации

**Тип образовательной программы:** программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

**Научная специальность:** 1.3.3 Теоретическая физика

**Форма обучения:** очная

### **Общие указания**

Вступительные испытания по приему в аспирантуру по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика охватывают стандартные разделы университетских курсов по общей физике и теоретической физике. Также проверяются базовые умения математического аппарата. Вопросы и структура экзаменационных билетов приведены ниже.

### **Порядок проведения вступительных испытаний**

Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете по 2 вопроса. Экзамен проходит в письменной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 100 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

### **Критерии оценивания**

Оценка поступающему за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями.

#### **Отлично (80-100 баллов)**

Поступающий обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

#### **Хорошо (60-79 баллов)**

Поступающий обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

#### **Удовлетворительно (40-59 баллов)**

Поступающий обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

#### **Неудовлетворительно (менее 40 баллов)**

Поступающий обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

# Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности

## 1.3.3 Теоретическая физика

### Раздел 1 ФИЗИКА

#### 1.1. Механика

**1. Основные законы механики.** Пространство и время в физике. Способы измерения протяженности и длительности (в лабораторной практике, в космических масштабах, в микромире). Материальная точка. Инерциальная система отсчета. Явление инерции. Первый закон Ньютона. Движение материальной точки под действием силы. Масса как мера инертности. Второй закон Ньютона. Взаимодействие материальных точек. Третий закон Ньютона. Гравитационное поле. Масса как источник гравитационного поля. Закон всемирного тяготения. Равенство гравитационной и инертной масс. Движение материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета. Сила инерции. Сила Кориолиса. Движение абсолютно твердого тела. Вращательное движение. Угловая скорость. Плоское движение. Движение вокруг закрепленной точки. Углы Эйлера. Тензор инерции. Главные оси инерции тела. Уравнения Эйлера.

**2. Законы сохранения в механике.** Импульс материальной точки. Закон изменения и сохранения импульса. Столкновение тел. Момент импульса. Закон изменения и сохранения момента импульса. Момент силы. Движение под действием момента сил. Механическая работа. Энергия. Кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек тела и системы тел. Закон сохранения механической энергии. Связь законов сохранения со свойствами пространства-времени. Роль законов сохранения в механике. Движение в центральном поле. Задача двух тел. Законы Кеплера. Рассеяние частиц.

**3. Принцип относительности в механике.** Принцип относительности Галилея. Преобразование Галилея. Сложение скоростей в классической физике. Принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Сокращение длин и замедление времени. Сложение скоростей в релятивистской физике. Эквивалентность массы и энергии. Импульс и энергия релятивистской частицы. Релятивистское уравнение движения.

**4. Механические колебания и волны.** Условие возникновения колебаний. Малые колебания. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Колебания в системах связанных тел. Собственные частоты. Волны. Продольные и поперечные волны. Частота, длина волны, закон дисперсии, скорость, поляризация. Плоские и сферические волны. Волновые пакеты. Фазовая и групповая скорости. Элементы акустики.

**5. Вариационные принципы в механике.** Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения движения в форме Лагранжа. Функция Гамильтона. Уравнения движения в форме Гамильтона.

#### 1.2. Молекулярная физика. Термодинамика и статистическая физика

**1. Основные понятия и постулаты термодинамики.** Макроскопическая система. Основы молекулярно-кинетической теории строения вещества. Термодинамический и статистический методы описания. Внешние и внутренние параметры. Термодинамическое состояние и его функции. Состояние термодинамического равновесия. Постулаты термодинамики. Установление термодинамического равновесия в изолированной системе. Равновесные и неравновесные процессы.

**2. Начала термодинамики.** Внутренняя энергия, теплота и работа. Первое начало термодинамики. Теплоемкости и скрытые теплоты. Изопроецессы и газовые законы на примере идеального газа и газа Ван дер Ваальса. Циклические процессы, тепловая и холодильная машины. Второе начало термодинамики. Энтропия. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Третье начало термодинамики (тепловая теорема Нернста). Поведение термодинамических величин при температуре, стремящейся к абсолютному нулю.

**3. Термодинамические потенциалы, условия равновесия и фазовые переходы.** Внутренняя энергия, свободная энергия, потенциал Гиббса, энтальпия.

Термодинамические потенциалы для систем с переменной массой. Химический потенциал. Основное соотношение равновесной термодинамики. Условия термодинамического равновесия. Гомогенная и гетерогенная системы. Общие условия термодинамического равновесия. Необходимые условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однофазной системы. Принцип Ле Шателье. Фазовые переходы первого рода. Поведение термодинамических величин при фазовых переходах первого рода. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Плавление. Сублимация. Испарение и кипение, давление насыщенного пара. Краевой угол. Смачивание. Капиллярные явления. Метастабильные состояния. Тройная точка. Критическая точка. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода. Поведение физических величин при фазовых переходах второго рода.

**4. Основные положения статистической физики.** Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса (статистический ансамбль). Функция распределения. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Связь статистической суммы со свободной энергией. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Теплоемкость классического идеального газа. Неидеальные газы. Газ Ван дер Ваальса. Большое каноническое распределение Гиббса. Квантовая статистика. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Общие свойства ферми-газов.

**5. Флуктуации.** Распределение вероятностей флуктуаций (распределение Гаусса). Флуктуации в идеальном газе.

**6. Физическая кинетика.** Частичные функции распределения. Кинетическое уравнение Больцмана. Диффузия. Законы Фика. Вязкость. Закон Ньютона. Механизмы внутреннего трения (вязкости) в газах, жидкостях, твердых телах. Сверхтекучесть. Теплопроводность. Закон Фурье. Механизмы теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах. Электропроводность. Формула Друде-Лоренца для электропроводности.

### **1.3. Электричество и магнетизм**

**1. Основные законы физики электромагнитных явлений.** Электрический заряд и его свойства. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Теорема Гаусса. Обобщение закона Кулона в виде дифференциального уравнения. Потенциальность электрического поля неподвижных зарядов. Потенциал поля точечного заряда. Потенциал системы зарядов. Электрический ток. Магнитное поле тока. Закон Био-Савара-Лапласа. Ток смещения. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.

**2. Электрические цепи.** Сопротивление. Закон Ома. Емкость. Конденсатор. Конденсатор в цепи переменного тока. Сопротивление конденсатора переменному току (емкостное сопротивление). Само- и взаимная индукция. Индуктивность в цепи переменного тока. Индуктивное сопротивление. Электрические цепи. Правила Кирхгофа для постоянных и переменных токов. Сопротивление цепи переменному току. Мощность переменного тока. Переменный ток и его применение. Колебательный контур.

**3. Электромагнитные волны.** Волновое уравнение для электромагнитного поля. Плоские монохроматические электромагнитные волны и их основные свойства (частота и волновое число, связь частоты с волновым числом (закон дисперсии), скорость распространения, ориентация полей). Плотность энергии и плотность потока энергии электромагнитного поля. Излучение ЭМВ диполем Герца. Сферические волны.

**4. Взаимодействие зарядов и токов с электромагнитным полем.** Сила Лоренца. Движение заряда в электрическом поле. Движение заряда в магнитном поле. Ускорители заряженных частиц. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера). Магнитный момент замкнутого тока. Взаимодействие магнитного момента с полем. Преобразование энергии в поле переменных токов. Электродвигатели и генераторы переменного тока

**5. Материальные среды в электромагнитном поле.** Макроскопические электромагнитные поля в средах. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Диэлектрики. Связанные заряды.

Поляризация диэлектриков в электрическом поле. Вектор поляризации. Электрическая восприимчивость (поляризуемость). Полярные и неполярные диэлектрики. Особенности их поведения в постоянных и переменных полях. Магнитные свойства вещества. Вектор намагниченности. Молекулярные токи. Диа-, пара- и ферромагнетики. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость. Природа диамагнетизма. Диамагнетизм Ландау. Спиновый магнитный момент. Природа пара- и ферромагнетизма. Применение пара- и ферромагнетизма. Сверхпроводимость. Электрические и магнитные свойства сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость.

#### **1.4. Оптика**

**1. Геометрическая оптика и фотометрия.** Законы геометрической оптики. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы. Построение изображений в собирающих и рассеивающих тонких линзах. Поперечное увеличение оптических приборов. Оптические приборы: глаз, лупа, микроскоп, телескоп. Геометрическая оптика как предел волновой. Основные фотометрические величины: поток света, сила света, яркость, светимость, освещенность, интенсивность света. Спектральная чувствительность глаза.

**2. Волновая оптика.** Электромагнитная природа света. Поперечность электромагнитных волн. Поляризация, виды поляризации световой волны. Поляризаторы. Закон Малюса. Интерференция света, Двухлучевая и многолучевая интерференция. Когерентность. Оптическая разность хода. Методы получения и расчета интерференционной картины. Классические интерференционные опыты. Интерферометры. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Френеля на круглых отверстиях и препятствиях. Зоны Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракционные решетки. Расчет дифракционной картины света на решетке. Дифракция рентгеновских лучей. Спектральные приборы, основные характеристики спектральных приборов. Голография: запись и восстановление изображения.

**3. Излучение света.** Классическая физическая модель излучения света. Естественная ширина спектральной линии. Формы спектральной линии. Уширение спектральных линий. Законы Кирхгофа для теплового излучения. Спектральная плотность излучения. Понятие абсолютно черного тела и законы его излучения. Квантовая физическая модель излучения света. Формула Планка для излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение света атомами.

**4. Квантовая оптика.** Фотоны. Фотоэффект, законы фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эффект Комптона и его объяснение. Источники когерентного излучения - лазеры. Активная среда. Понятие об отрицательной температуре. Лазер и его принципиальное устройство. Применение лазеров.

**5. Распространение света в различных средах.** Отражение света от границы раздела двух изотропных сред: теория Френеля, угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Световоды. Дисперсия света. Электронная теория дисперсии света. Фазовая и групповая скорости света. Закон Бугера. Рассеяние света, рэлеевское рассеяние света. Распространение света в анизотропных средах. Оптические оси. Двойное лучепреломление и его применение. Оптически активные среды, эффект Фарадея в магнитных средах. Нелинейные среды. Эффекты в распространении света в нелинейных средах.

#### **1.5. Атомная физика и квантовая механика**

**1. Краткая история возникновения и развития квантовых представлений.** Излучение абсолютно черного тела. Квантовая гипотеза Планка. Кванты света. Фотоэффект. Постоянная Планка. Опыты Резерфорда. Классические представления о строении атома, их несостоятельность. Атом водорода по Бору. Пространственное квантование и опыты Штерна-Герлаха. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де-Бройля. Эффект Комптона. Опыты Дэвиссона и Джермера. Невозможность классического описания движения микрочастиц. Принцип неопределенности Гейзенберга, его эвристическая ценность.

**2. Основные постулаты и принципы квантовой механики.** Наблюдаемые величины и состояния. Волновая функция, ее статистическая интерпретация. Принцип суперпозиции. Матричная механика Гейзенберга. Операторы в квантовой механике. Понятие измерения. Среднее значение физической величины.

**3. Эволюция состояний квантовых систем.** Уравнение Шредингера, его стационарные решения. Свойства стационарных состояний. Плотность вероятности, плотность потока вероятности. Симметрия и законы сохранения в квантовой механике.

**4. Простейшие и точно решаемые задачи квантовой механики.** Одномерное движение. Туннелирование. Гармонический осциллятор. Движение частицы в центральном поле. Пространственный ротатор. Нерелятивистская теория атома водорода.

**5. Теория возмущений.** Стационарная теория возмущений. Невырожденный уровень. Вырожденный уровень. Квантовые переходы, вероятность перехода. «Золотое» правило Ферми. Закон сохранения энергии и соотношение неопределенностей энергия-время.

**6. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем.** Правила отбора для электродипольного излучения и поглощения. Рентгено-электронная спектроскопия. Резонансные методы исследования веществ (ЭПР, ЯМР и др.).

**7. Системы тождественных частиц.** Спин. Спиновые волновые функции. Уравнение Паули. Тождественные частицы в квантовой механике. Принцип Паули. Перестановочная симметрия волновых функций. Бозоны и фермионы. Атом гелия. Строение многоэлектронных атомов. Электронные конфигурации. Периодическая система химических элементов. Термы. Правило Хунда. Проявление спин-орбитального взаимодействия. Мультиплетное расщепление термов. Молекула водорода, возникновение химической связи. Перекрывание атомных орбиталей, ковалентность. Связывающие и антисвязывающие молекулярные орбитали. Обменное взаимодействие. Энергетический спектр и волновые функции электрона в идеальном кристалле. Энергетические зоны. Металлы, диэлектрики, полупроводники.

## **Раздел 2 Теоретическая физика**

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа. Связи. Законы сохранения. Интегрирование уравнений Лагранжа для одномерного движения. Задача двух тел и рассеяние частиц. Формула Резерфорда. Движение в центральном поле, Задача Кеплера.

Линейные колебания: а) устойчивость положения равновесия; б) свободные колебания; в) вынужденные колебания системы и резонанс.

Физические особенности нелинейных колебаний.

Динамика твердого тела. Уравнения Эйлера.

Формализм Гамильтона: а) функция Гамильтона. Каноническое уравнение Гамильтона; б) фазовое пространство. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля; скобки и теорема Пуассона; в) уравнение Гамильтона-Якоби.

Механика сплошной среды: а) основы теории упругости; тензор деформаций, тензор напряжений, упругие волны; б) основы гидродинамики, уравнение движения вязкой жидкости (уравнение Навье-Стокса).

### **ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

Заряды и токи в вакууме: а) уравнения Максвелла; б) скалярный и векторный потенциалы. Калибровочная инвариантность; в) электрическое поле неподвижных зарядов; г) стационарное магнитное поле; д) электромагнитное поле в вакууме. Запоздывающие потенциалы; е) излучение электромагнитных волн. Вибратор Герца. Макроскопическая электродинамика: а) уравнения Максвелла в среде. Граничные условия; б) электродинамика диэлектриков; в) стационарные токи. Влияние постоянного магнитного поля на вещество; г) электромагнитные волны в веществе; д) волны в проводящих средах; е) волны в диэлектриках; ж) соотношения Крамерса-Кронига. Теория

относительности: а) преобразования Лоренца; б) релятивистская кинематика; в) 4-мерный аппарат теории относительности; г) ковариантная запись уравнений электродинамики.

### **КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

Основные понятия и принципы квантовой механики: а) принцип суперпозиции; б) операторы, собственные значения и собственные функции; в) волновая функция, вероятности результатов измерений; г) принцип неопределенности; д) операторы координаты, импульса, момента импульса; е) оператор Гамильтона; ж) матрица плотности.

Изменение состояний во времени: а) уравнение Шредингера, основные свойства его решений; б) дифференцирование операторов по времени; в) стационарные состояния; г) представление Гейзенберга, представление взаимодействия.

Одномерные задачи: а) свободная частица; б) кусочно-постоянный потенциал; туннельный эффект; в) гармонический осциллятор.

Движение в центральном поле. Атом водорода.

Теория возмущений: а) возмущения, не зависящие от времени (простые уровни, вырожденные уровни); б) возмущения, зависящие от времени; в) переходы под влиянием периодических возмущений; г) переходы под влиянием постоянного возмущения; д) переходы в непрерывном спектре; е) адиабатические и внезапные изменения состояния систем.

Релятивистская квантовая теория: а) уравнение Дирака; б) решение уравнения Дирака для свободной частицы. Отрицательные энергии, позитрон; в) спин электрона; оператор спина; г) спин-орбитальное взаимодействие; д) уравнение Паули, магнитный момент электрона.

Системы тождественных частиц: а) общие свойства систем тождественных частиц; б) вторичное квантование, статистика Бозе-Эйнштейна, статистика Ферми-Дирака; обменное взаимодействие; в) уровни энергии многоэлектронных атомов, самосогласованное поле; атом гелия; г) молекула водорода; д) уравнение Томаса-Ферми; е) эффект Штарка; ж) эффект Зеемана.

Теория рассеяния: а) амплитуда и фаза рассеяния; б) упругое рассеяние быстрых частиц, приближение Борна; в) формула Резерфорда.

### **ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ**

Квантование электромагнитного поля. Вакуум. Квантование электрон-позитронного поля. Вакуум. Взаимодействие полей. Пропагаторы. Теорема Вика. Фейнмановские диаграммы. Рассеяние электрона во внешнем поле.

### **СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

Основные представления статистической физики: а) статистические ансамбли и функция распределения; б) статистическое усреднение, матрица плотности, уравнение Лиувилля; в) энтропия, термодинамические потенциалы.

Распределения: а) микроканоническое распределение; б) каноническое распределение; в) большое каноническое распределение; г) распределение Максвелла-Больцмана.

Статистическая теория идеальных систем: а) одноатомный идеальный газ; б) учет тождественности частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна; в) Ферми-газ при низких температурах; г) Бозе-газ при низких температурах. Бозе-Эйнштейновская конденсация; д) квазичастицы.

Неидеальные системы. Условия равновесия и устойчивости. Фазовые переходы I рода. Фазовые переходы II рода. Теория флуктуаций.

Основы неравновесной термодинамики: а) законы сохранения, потоки и термодинамические силы; б) соотношения взаимности Онзагера; в) уравнения неравновесной термодинамики. Броуновское движение и случайные процессы:

а) случайные стационарные Марковские процессы; б) уравнение Смолуховского; в) уравнение Фоккера-Планка; г) броуновское движение.

Кинетическое уравнение Больцмана. Линейная реакция системы на внешнее возмущение. Флуктуационно-диссипативная теорема.

## VI ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Фононы: а) кристаллическая решетка, колебания решетки; б) квантование решеточных колебаний; в) фононная теплоемкость, модель Дебая; г) эффекты, обусловленные аангармонизмом решеточных колебаний; д) взаимодействие колебаний решетки с электромагнитной волной.

Электроны: а) электрон в периодическом поле кристалла: - теорема Блоха; - приближение слабой связи; - приближение сильной связи; б) статистика электронов, теплоемкость.

Кинетические явления: а) кинетическое уравнение; б) электропроводность и теплопроводность металлов.

Магнетизм электронов: а) парамагнетизм Паули; б) диамагнетизм Ландау; в) кинетические явления в магнитном поле.

Локализованные состояния электронов. Плазменные колебания в твердом теле. Электродинамика металлов.

Магнитоупорядоченное состояние: а) приближение молекулярного поля Вейса; б) спиновые волны. Электрон-фононное взаимодействие. Сверхпроводимость: теория Гинзбурга-Ландау; задача Купера; теория Бардина-Купера-Шриффера.

### Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности

#### 1.3.3 Теоретическая физика

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 1: Механика. — 2020. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1512-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185713> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Хайкин С.Э. Физические основы механики: учебное пособие / С.Э. Хайкин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 768 с. – ISBN 978-5-8114-0895-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210170> (дата обращения: 26.10.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 2: Термодинамика и молекулярная физика — 2021. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-1514-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185719> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов: В 5 томах Том 3: Электричество / Сивухин Д.В. - 6-е изд., стер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2015. - 656 с. ISBN 978-5-9221-1643-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/549781> (дата обращения: 18.05.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие / Д. В. Сивухин. - 3-е изд., стер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. - Том 4: Оптика. - 2002. - 792 с. - ISBN 5- 9221-0228-1. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2314> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
6. Фриш, С. Э. Курс общей физики: учебник: в 3 томах / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. — 10-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2022 — Том 3: Оптика. Атомная физика —



2022. — 656 с. — ISBN 978-5-8114-0665-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210167> (дата обращения: 26.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Шпольский, Э. В. Атомная физика: учебник: в 2 томах / Э. В. Шпольский. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022 — Том 1: Введение в атомную физику — 2022. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1005-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210398> (дата обращения: 26.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
  8. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5 томах / Д. В. Сивухин. — 3-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 5: Атомная и ядерная физика — 2020. — 784 с. — ISBN 978-5-9221-0645-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185730> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
  9. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 7-е изд., стереотип. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021. — Том 1: Механика. — 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-9221-1611-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185654> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
  10. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 9-е изд., стереотип. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020. — Том 2: Теория поля. — 2020. — 508 с. — ISBN 978-5-9221-1568-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185651> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
  11. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 3: Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 2021. — 800 с. — ISBN 978-5-9221-0530-9. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185658> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
  12. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевского. — 4-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2020 — Том 4: Квантовая электродинамика — 2020. — 720 с. — ISBN 978-5-9221-0058-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185660> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
  13. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., стереот. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 5: Статистическая физика. В 2 ч. Ч. 1 — 2021. — 620 с. ISBN 978-5-9221-1510-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185665> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
  14. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 6: Гидродинамика — 2021. — 728 с. — ISBN 978-5-9221-1625-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185671> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

15. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 5-е изд., стер. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. - Том 7: Теория упругости. - 2007. - 264 с. - ISBN 978-5-9221-0122-6. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2233> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
16. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 4-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 8: Электродинамика сплошных сред. — 2005. — 656 с. — ISBN 5-9221-0123-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2234> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
17. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учебное пособие: в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский; под редакцией Г. С. Ландсберга. — 5-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 9: Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния — 2021. — 440 с. — ISBN 978-5-9221-1580-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185699> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
18. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Физическая кинетика. Том X: учебное пособие / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — 2-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 536 с. — ISBN 5-9221-0125-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2692> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
19. Бухгольц, Н. Н. Основной курс теоретической механики: учебное пособие для вузов / Н. Н. Бухгольц. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, [б. г.]. — Часть 1: Основной курс теоретической механики. — 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-7957-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169804> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
20. Бухгольц, Н. Н. Основной курс теоретической механики: учебное пособие / Н. Н. Бухгольц. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022 — Часть 2: Динамика системы материальных точек — 2022. — 336 с. — ISBN 978-5-8114-0926-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212285> (дата обращения: 26.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
21. Батыгин, В. В. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности : учебное пособие / В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. — 4-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-0921-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210440> (дата обращения: 26.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
22. Каликинский, И. И. Электродинамика: учебное пособие / И. И. Каликинский. — 3-е изд-е, перераб. и доп. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 159 с. — (Высшее образование: Магистратура). - ISBN 978-5-16-006771-1. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062336> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
23. Кочелаев, Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев. - [2-е изд., перераб., доп. и испр.]. - Казань: Казанский университет, 2013. - 222 с. - Текст: электронный. - URL: [http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum\\_Theory.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F1738320152/Quantum_Theory.pdf) (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
24. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики: учебное пособие / Д. И. Блохинцев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-0554-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210197> (дата обращения: 26.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
25. Белоусов, Ю. М. Задачи по теоретической физике: учебное пособие / Ю.М. Белоусов, С.Н. Бурмистров, А.И. Тернов. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 584 с. ISBN 978-

- 5-91559-134-8. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/510284> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
26. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния: учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 4-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 296 с. — ISBN 978-5-00101-825-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151595> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
27. Степаньянц, К. В. Классическая теория поля: учебное пособие / К. В. Степаньянц. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-1082-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2328> (дата обращения: 18.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
28. Гриб, А. А. Основные представления современной космологии: учебное пособие / А. А. Гриб. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 108 с. — ISBN 978-5-9221-0955-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2168> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
29. Абрикосов, А. А. Основы теории металлов: учебное пособие / А. А. Абрикосов. — 2-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 600 с. — ISBN 978-5-9221-1097-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2093> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
30. Байков, Ю. А. Физика конденсированного состояния: учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. — 4-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2020. — 296 с. — ISBN 978-5-00101-825-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151595> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
31. Борисёнок, С. В. Квантовая статистическая механика: учебное пособие / С. В. Борисёнок, А. С. Кондратьев. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 136 с. — ISBN 978-5-9221-1277-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2672> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
32. Кочелаев, Б.И. Основы квантовой теории твердого тела: учебное пособие / Б.И. Кочелаев. — Долгопрудный: Интеллект, 2019. — 288 с. — ISBN 978-5-91559-272-7. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1086292> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: по подписке.
33. Мейлихов, Е. З. Магнетизм. Основы теории: учебное пособие / Е.З. Мейлихов. — Долгопрудный: Интеллект, 2014. — 184 с. ISBN 978-5-91559-155-3. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/486429> (дата обращения: 18.05.2023). — Режим доступа: по подписке.

Сайт кафедры теоретической физики КФУ <https://kpfu.ru/theor.phys>

Сайт магистратуры по теоретической физике и моделированию физических процессов КФУ [https://kpfu.ru/magistr\\_theorphys](https://kpfu.ru/magistr_theorphys)

Библиотека — E-library — Кафедра теоретической физики МФТИ [https://mipt.ru/education/chair/theoretical\\_physics/biblio/](https://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics/biblio/)

Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ <http://lib.mexmat.ru/>