

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРИНЯТО  
на заседании кафедры общей физики  
Протокол от «06» октября 2022 г. № 2

Зав. кафедрой А / Балапанов М.Х.

УТВЕРЖДЕНО  
Проректор по учебно-методической работе



Галимханов А.Б.

24 октября 2022 г.

**УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

**ПРОГРАММА  
вступительного экзамена по научной специальности  
1.3.8. Физика конденсированного состояния**

Разработчик: А / д.ф.- м.н., профессор, зав. кафедрой общей физики Балапанов М.Х.

Уфа – 2022

## **Общие требования.**

Данная программа представляет собой перечень тем для сдачи вступительного экзамена по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния» в аспирантуру физико-технического института Башкирского государственного университета. Программа предполагает знание поступающими основных законов и явлений физики в объеме университетских курсов общей физики и теоретической физики, а также знание основ физики конденсированного состояния.

В экзаменационный билет входят два теоретических вопроса: один вопрос по общей или теоретической физике и один вопрос по физике конденсированного состояния.

Оценивание ответа проводится по 100 – балльной шкале.

Полный правильный ответ на один вопрос билета оценивается в 50 баллов.

Перевод баллов в экзаменационные оценки осуществляется по следующим правилам:

от 0 до 39 баллов - оценка "неудовлетворительно",

от 40 до 59 баллов - оценка "удовлетворительно",

от 60 до 79 баллов - оценка "хорошо",

от 80 до 100 баллов - оценка "отлично".

В программе приводится список основной литературы для подготовки к экзамену.

## **ЧАСТЬ 1. ПРОГРАММА ПО ОБЩЕЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ.**

### **РАЗДЕЛ 1. МЕХАНИКА.**

Основные понятия классической механики и законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса, энергии. Материальная точка и система материальных точек.

Уравнение движения твердого тела. Тензор инерции. Общее решение задачи двух тел. Упругое рассеяние частиц.

Движение относительно неинерциальной системы отсчета, силы инерции. Принцип относительности Эйнштейна, релятивистская кинематика. Преобразование Лоренца и кинематические следствия из них, сложение скоростей в С.Т.О. Основные положения релятивистской динамики. Соотношение между массой и энергией. Функция Лагранжа и уравнение Лагранжа в нерелятивистской механике и в С.Т.О.

Собственные колебания механической системы. Вынужденные колебания и резонанс.

Функция Гамильтона и уравнение Гамильтона.

Функция действия и принцип наименьшего действия в нерелятивистской механике и в С.Т.О.

Основные положения механики сплошных сред. Уравнения движения. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Интеграл импульса и плотности энергии. Интеграл Бернулли. Потенциальное течение. Ламинарное и турбулентное течение.

Волновое уравнение. Звуковые волны. Эффект Доплера.

Упругие деформации твердого тела, обобщенный закон Гука. Бегущие и стоячие волны в твердых телах.

### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 1:*

1. А. Н. Матвеев. Механика и теория относительности.— СПб. : Лань, 2009. 4-е изд., стер.— 336 с.
2. И.И. Ольховский. Курс теоретической механики для физиков. С.-Пб.: Лань, 2009. – 570 с.

### **РАЗДЕЛ 2: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ.**

Термодинамические (статистические) системы. Состояние термодинамического равновесия. 1-е, 2-е, 3-е начала термодинамики для квазистатических процессов. Абсолютная температура. Энтропия. Термодинамические потенциалы.

2-е начало термодинамики для неравновесных процессов. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов. Условия равновесия и устойчивости. Фазовые переходы.

Микроскопическое описание статистической системы. Смешанное состояние. Матрица плотности. Классическая система: фазовое пространство и уравнение Лиувилля. Каноническое распределение Гиббса. Сумма состояний и свободная энергия. Большое каноническое распределение Гиббса.

Квазиклассический переход к интегралу состояний. Распределение Максвелла и Больцмана.

Неидеальный классический газ с короткодействием. Парная корреляционная функция.

Вирьяльное положение. Система с кулоновским взаимодействием. Дебаевский радиус экранирования. Свободная энергия плазмы.

Идеальные квантовые газы Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Средние числа заполнения (распределения Ферми и Бозе). Теплоёмкость при низких температурах. Квантовая теория теплоёмкости двухатомного идеального газа. Фотонный газ, равновесное излучение и формула Планка. Фононы и теория теплоёмкости твёрдого тела (по Дебаю и Эйнштейну).

Квазиротодинамическая теория флуктуации основных термодинамических величин.

Случайные процессы. Броуновское движение. Уравнение Фоккера-Планка. Спектральные представления и временные корреляции случайных процессов. Тепловые шумы и формула Найквиста.

Кинематические уравнения (общие положения). Понятие об H-теореме Больцмана.

Кинематическое уравнение с релаксационным членом и его простейшие применения (явления переноса).

### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 2:*

1. А. Н. Матвеев. Молекулярная физика: учеб. пособие / Изд. 4-е, стер. — СПб. : Лань, 2010 . 368 с.
2. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. В 10 томах. Том 5. Статистическая физика. В 2 частях. Часть 1. М.: Физматлит, 2013. – 620 с.
3. И.П. Базаров. Термодинамика: учебник для студентов университетов, обучающихся по специальности "Физика" – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Лань, 2010.– 384 с.

### РАЗДЕЛ 3: ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА.

Уравнение Максвелла (в вакууме) как обобщение опытных фактов и их свойств. Закон Ампера и сила Лоренца. Электромагнитные потенциалы, тензор энергии импульса электромагнитного поля.

Калибровочное преобразование. Ковариантность уравнений Максвелла и преобразование потенциалов, токов и полей. Инварианты поля.

Уравнение для вектор-потенциала для статической системы и его решение, разложение потенциала по мультиполям (магнитный диполь).

Плотность энергии и плотность электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойтинга.

Решение нестационарных уравнений Максвелла (в вакууме) с правой частью. Запаздывающие потенциалы, излучение электромагнитных волн. Поляризация волн. Волновая зона. Электрическое дипольное и квадрупольное излучение, магнитное дипольное излучение.

Уравнение Максвелла для поля в среде. Материальное уравнение. Электромагнитные потенциалы в кусочно-однородной среде, граничные условия для поля.

Электростатика, энергия системы заряженных проводников в среде, пондеромоторные силы. Поляризация полярных и неполярных диэлектриков. Сегнетоэлектрики.

Магнитостатика, магнитное поле стационарных токов. Электромагнитные волны в среде.

Диэлектрическая проницаемость вещества при различных частотах. Излучение Вавилова-Черенкова.

#### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 3:*

1. А.Н.Матвеев. Электричество и магнетизм. М. : Лань. 2010 .— 464 с.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.2: Теория поля.– М.: Физматлит, 2014.– 506с.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.8: Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2016. – 656 с.

### РАЗДЕЛ 4: ОПТИКА.

Геометрическая оптика. Элементы теории оптических инструментов.

Основные законы распространения, отражения и преломления света.

Волновая оптика. Интерференция света. Пространственная и временная когерентность. Интерференционные приборы.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Понятие о голографии. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Структурный анализ.

Поляризация света. Особенности распространения света в кристаллах. Естественная ширина линии излучения.

Корпускулярные свойства света. Законы теплового излучения. Световое давление.

Фотоэффект и эффект Комптона. Рассеяние света. Люминесценция. Спонтанное и вынужденное излучение. Усиление света. Лазеры.

Элементы нелинейной оптики: основные нелинейные эффекты (детектирование, умножение, гармоники, самофокусировка, многофотонное поглощение, параметрические процессы).

#### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 4:*

1. Г. С. Лансберг. Оптика. 7-е изд., стер. — М. : Физматлит, 2017 .— 854 с.
2. Н. И. Калитеевский. Волновая оптика.— Изд. 5-е, стереот. — СПб. ; М. : Лань, 2008 .— 480 с. :

#### **РАЗДЕЛ 5: АТОМНАЯ ФИЗИКА. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА.**

Корпускулярно-волновой дуализм. Дифракция электронов и нейтронов. Волновая функция и её вероятностная интерпретация. Уравнение Шредингера. Динамические переменные как операторы (операторы координаты, импульса, момента, энергии). Некоммутирующие операторы и соотношение неопределенностей.

Гармонический осциллятор. Движение в центральном поле, атом водорода. Уровни энергии и оптические спектры атома водорода, атомов щелочных металлов. Правила отбора.

Элементы квантовой теории рассеяния. Броуновское приближение. Уравнение Дирака.

Собственные механический и магнитный моменты электрона. Уравнение Паули. Сложение спинового и орбитального моментов. Тонкая структура атомных спектров.

Магнитомеханические эффекты. Опыт Эйнштейна и де Хааса.

Атом в магнитном поле. Опыты Штерна и Герлаха. Эффект Зеемана.

Атом в электрическом поле. Эффект Штарка. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).

Квантовая механика многих частиц. Бозоны и фермионы. Принцип неразличимости частиц. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек, строение атомов. Рентгеновские спектры.

Понятие о квантовании электромагнитного поля. Лэмбовский сдвиг уровней.

Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул. Сверхпроводимость и её квантовая природа.

#### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 5*

1. Э.В. Шпольский. Атомная физика.— М. : Лань, 2010 (в 2-х томах).
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Т.3, изд.6-е. Квантовая механика. М.: Физматлит, 2016. 800 с.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. 8-е изд., стер. М. : Ленанд, 2015 .— 672 с.

#### **РАЗДЕЛ 6: ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ.**

Ядро как система протонов и нейтронов. Масса, заряд, спин, момент ядра. Энергия связи ядра. Размеры ядер. Четность состояний ядра. Статистика.

Ядерные силы. Энергия взаимодействия нуклонов и радиус действия ядерных сил. Зарядовая независимость. Зависимость ядерных сил от спина. Обменный характер ядерных сил. Эффект Месбауэра.

Ядерные реакции. Эффект сечения реакции. Модель составного ядра Бора. Резонансные реакции. Прямые реакции. Реакции при высоких энергиях.

Модели ядер. Оболочечная модель ядер. Коллективные движения в ядрах. Обобщённая модель ядра.

Деление ядер. Механизм деления. Замедление нейтронов. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы гомогенные и гетерогенные. Реакторы на быстрых нейтронах.

Термоядерные реакции. Реакции в звездах. Водородный и углеродородный циклы. Работы по управляемому термоядерному синтезу.

Элементарные частицы. Систематика частиц. Характеристики фундаментальных взаимодействий частиц и античастиц. Законы сохранения в физике элементарных частиц. Гипотеза кварков.

#### *ЛИТЕРАТУРА К РАЗДЕЛУ 6:*

1. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М. : Физматлит, 2010. — 512 с.
2. К.Н.Мухин. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт.: Т. 1. Физика атомного ядра М.: Изд. «Лань», 2009. – 384 с.; Т. 2. Физика ядерных реакций. М.: Изд. «Лань», 2009. -326 с.; Т. 3. Физика элементарных частиц. М.: Изд. «Лань», 2008. -432 с.

## ЧАСТЬ 2. ПРОГРАММА ПО ОСНОВАМ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ.

1. Симметрия структуры кристаллов. Сингонии. Решетки Бравэ.
2. Пространственная решетка. Индексы Миллера. Элементарная ячейка и её параметры.
3. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Зонное приближение.
4. Основы зонной теории твердых тел. Металлы. Полупроводники. Диэлектрики.
5. Изознергетические поверхности. Эффективная масса электрона и дырки. Физический смысл эфф. массы.
6. Энергетические зоны. Основные понятия зонной теории полупроводников (валентная, запрещенная зоны, зона проводимости, дырки, энергетические уровни дефектов и примесей). Уровень Ферми.
7. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Распределение Максвелла - Больцмана
8. Распределение Бозе-Эйнштейна. Идеальный Бозе-газ. Бозе-Эйнштейновская конденсация.
9. Сверхпроводимость. Экспериментальные факты по сверхпроводимости.
10. Электронная теория проводимости металлов Друде - Лоренца. Закон Ома и Видемана-Франца. Основные понятия (подвижность, концентрация, длина свободного пробега, время релаксации носителей заряда).
11. Дифракция рентгеновских лучей (РЛ) на кристаллической решетке. Уравнение Вульфа – Брэггов. Дифракция электронов на кристаллах. Применение дифракции РЛ и электронной дифракции для структурного и фазового анализа твердых тел.
12. Физика диамагнетизма и парамагнетизма.
13. Магнитная проницаемость. Магнитоупорядоченные вещества. Петля гистерезиса. Точка Кюри Ферромагнетики. Домены. Антиферромагнетики.
14. Магнитотвёрдые материалы, их параметры, их свойства и применение. Материалы с прямоугольной петлёй гистерезиса. Специальные магнитные материалы.
15. Дефекты в кристаллах. Классификация дефектов. Вакансии, равновесная концентрация вакансий. Дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций.
16. Стенки дислокаций, границы зерен. Движение дислокаций, их связь с пластической деформацией. Барьер Пайерлса. Соотношение Холла-Петча.
17. Диффузия. Движущая сила диффузии. Законы Фика. Энергия активации диффузии. Основные механизмы диффузии в твердых телах.
18. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Напряжения и деформации при сдвиге и кручении. Законы Гука для деформации сдвига и кручения. Модуль сдвига.
19. Фононы. Удельная теплоемкость решетки. Расчет фононной теплоемкости по модели Дебая и Эйнштейна. Экспериментальные методы определения фононного спектра. Рассеяние нейтронов и электромагнитного излучения кристаллом.
20. Ангармонические взаимодействия в кристаллах и тепловое расширение. Теплопроводность решетки. Температурная зависимость фононной теплопроводности.

Как дополнительные вопросы на экзамене могут быть заданы вопросы на темы, отраженные в паспорте научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния»:

1. Физическая природа и свойства металлов и их сплавов, диэлектриков и, в том числе, материалов световодов как в твердом (кристаллы, поликристаллы), так и в аморфном состоянии.

2. Физические свойства упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные, и квантовые системы.
3. Изменение состояния конденсированных веществ под воздействием физических факторов (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие и высокие температуры), фазовые переходы в них и фазовые диаграммы состояния.
4. Влияние излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.
5. Разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.
6. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

#### *ЛИТЕРАТУРА К ЧАСТИ 2:*

1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / Гольдаде В. А. — Минск : Белорусская наука, 2009 .— 648 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online» .— <URL:<http://www.biblioclub.ru/book/93309/>>.
2. Епифанов Г. И. Физика твердого тела : учеб. пособие / СПб. : Лань, 2010 .— 288 с.
3. Павлов П. В. Физика твердого тела : уч. пособие для вузов по спец."Физика" / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов .— М. : Высшая школа, 1985, 2000 г .— 384с.
4. Шалимова, Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова .— Изд. 4-е, стер. — СПб. : Лань, 2010 .— 400 с.
5. Н. Ашкрофт, Н.Мермин Физика твердого тела. - М.: Мир,1986 г. (2 т.)
6. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978 г. 791 с.
7. Брандт Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2007 .— 632 с.
8. Ушакова Е.В. Введение в физику твердого тела: конспект лекций. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 97 с.