

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»  
Физико –технический институт

УТВЕРЖДЕНО

Ученым советом

Физико-технического института

«15» \_\_\_\_\_ 2026 г.

протокол № \_\_\_\_\_

Директор ФТИ института

(Михайлова В.А.)



УТВЕРЖДАЮ

Председатель  
приемной комиссии

А.Э. Калинина

«19» \_\_\_\_\_ 2026 г.



**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания в аспирантуру**

по группе научных специальностей

1.3. Физические науки

- 1.3.1. Физика космоса, астрономия
- 1.3.4. Радиофизика
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния
- 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Руководитель направления подготовки аспирантуры  
по группе научных специальностей 1.3. Физические науки



**Михайлова В.А.**

Составители: проф. А.И. Иванов, проф. И.В. Запорожкова, проф. В.К. Игнатъев, проф. И.Г.Коваленко, проф.  
В.А.Михайлова В.А., проф. В.В. Ящшен

### **Цель и задачи вступительного испытания**

Программы вступительных испытаний при приеме на обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре формируются на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Билет вступительного испытания включает два вопроса. Первый вопрос (вопрос из базового блока) охватывает основные проблемы физики. Второй вопрос включает специальные (частные) проблемы физики, формируется из списка вопросов по научной специальности.

Вступительные испытания в аспирантуру проводятся в форме устного комплексного экзамена.

**Цель** вступительного испытания – определить готовность и возможность лица, поступающего в аспирантуру, освоить выбранную программу.

#### **Основные задачи вступительного испытания:**

- проверка уровня знаний претендента;
- определение склонности к научно-исследовательской деятельности;
- выяснение мотивов поступления в аспирантуру;
- определение уровня научных интересов;
- определение уровня научно-технической эрудиции претендента. Ориентировочная продолжительность экзамена – 75 мин.

В ходе вступительных испытаний поступающий должен показать:

- знание теоретических основ дисциплин бакалавриата (специалитета), магистратуры по соответствующему направлению;
- владение специальной профессиональной терминологией и лексикой;
- умение оперировать ссылками на соответствующие положения в учебной и научной литературе;
- владение культурой мышления, способность в письменной и устной речи правильно оформлять его результаты;
- умение поставить цель и сформулировать задачи, связанные с реализацией профессиональных функций.

Результаты вступительных испытаний оцениваются по **пятибалльной** шкале.

Оценка определяется как средний балл, выставленный экзаменаторами во время вступительного испытания.

#### **Критерии оценки результатов комплексного вступительного испытания**

##### **5 (Отлично)**

Полный безошибочный ответ, в том числе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий должен правильно определять понятия и категории, выявлять основные тенденции и противоречия, свободно ориентироваться в теоретическом и практическом материале.

##### **4 (Хорошо)**

Правильные и достаточно полные, не содержащие ошибок и упущений ответы. Оценка может быть снижена в случае затруднений студента при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. При ответе допущены отдельные несущественные ошибки.

##### **3 (Удовлетворительно)**

Недостаточно полный объем ответов, наличие ошибок и некоторых пробелов в знаниях.

##### **2 (Неудовлетворительно)**

Неполный объем ответов, наличие ошибок и пробелов в знаниях или отсутствие необходимых знаний.

## **Программа вступительного испытания в аспирантуру БАЗОВЫЙ БЛОК**

### **Введение.**

Физические величины и их измерение. Системы единиц. Теория размерности.

### **I. Основы механики**

1. Основы динамики материальной точки. Инерциальные системы. Принцип относительности. Законы Ньютона.
2. Движение тел переменной массы. Уравнение Мещерского. Идеи Циолковского о реактивном движении. Ступенчатая ракета.
3. Основы кинематики и динамики твердого тела. Твердое тело как система материальных точек. Центр масс. Поступательное и вращательное движение твердого тела. Гироскоп.
4. Сила тяготения. Закон всемирного тяготения. Поле тяготения и потенциал тяготения. Законы Кеплера. Первая и вторая космические скорости. Масса инертная и масса тяготения. Принцип эквивалентности сил инерции и сил тяготения.
5. Работа силы. Энергия. Потенциальная и кинетическая энергия. Равновесие и потенциальная энергия системы.
6. Законы сохранения в механике: импульса, момента импульса, энергии.

### **II. Основы молекулярной физики и термодинамики**

1. Идеальный газ. Основное уравнение кинетической теории газов (газовое уравнение Клаузиуса). Закон Дальтона. Уравнение Больцмана. Молекулярно-кинетическое понимание абсолютной температуры. Реальные газы.
2. Термодинамические системы, состояние термодинамического равновесия. Квазистатические (обратимые) и нестатические (необратимые) процессы. Внутренняя энергия, количество теплоты и работа. Уравнение состояния. Первое начало термодинамики. Теплоемкости. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
3. Второе начало термодинамики для квазистатических процессов. Энтропия и абсолютная температура. Второе начало для неравновесных процессов. Закон возрастания энтропии. Теорема Карно. Тепловые двигатели.
4. Третье начало термодинамики и его следствия. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Теплоемкость вблизи абсолютного нуля.
5. Основные термодинамические потенциалы и выражения для дифференциалов.
6. Термодинамика газов. Термодинамика магнетиков и диэлектриков. Методы охлаждения веществ. Эффект Джоуля-Томсона. Охлаждение методом обратимого расширения. Термодинамика излучения. Давление излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана.
7. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Фазы и компоненты. Кривые равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода и уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода.
8. Распределение молекул по скоростям. Идеальный одноатомный газ в поле внешних сил. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении средней кинетической энергии по степеням свободы. Равновесное излучение.
9. Квазиротермодинамическая теория флуктуации. Флуктуации основных термодинамических величин.

### **III. Основы электромагнетизма**

1. Классическая электродинамика и границы ее применимости. Уравнения Максвелла как результат обобщения опытных фактов. Закон сохранения заряда. Уравнения Максвелла для полей зарядов и токов в вакууме.
2. Энергия электромагнитного поля. Закон сохранения энергии в электродинамике (вектори теорема Пойнтинга). Силы, действующие на заряды и токи.

Составители: проф. А.И. Иванов, проф. И.В. Запорожкова, проф. В.К. Игнатъев, проф. И.Г.Коваленко, проф. В.А.Михайлова В.А., проф. В.В. Яцышен

3. Макроскопическая и микроскопическая электродинамика и их связь. Макроскопическое поле как усредненное микроскопическое поле.
4. Уравнения Максвелла для вещества. Материальные уравнения. Граничные условия для векторов поля. Энергия электромагнитного поля в среде.
5. Электростатика. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Измерение диэлектрической проницаемости. Сегнетоэлектрики, антисегнетоэлектрики.
6. Стационарный электрический ток. Электродвижущая сила. Контактная разность потенциалов. Термоэлектричество. Сверхпроводимость.
7. Магнитное поле тока. Действие магнитного поля на ток. Взаимодействие токов.
8. Магнетики. Магнитное поле в магнетиках. Диа-, пара-, ферромагнетики, антиферромагнетики.
9. Электрический ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды.
10. Квазистационарное приближение. Скин-эффект. Электромагнитная индукция. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
11. Электрические колебания. Закон Кирхгофа для квазистационарных токов. Методы генерации электрических колебаний.

#### **IV. Оптика**

1. Электромагнитная теория света. Световые волны в вакууме. Система уравнений Максвелла. Волновое уравнение. Решение волнового уравнения в виде плоских и сферических волн. Скорость распространения электромагнитных волн. Плоская электромагнитная волна, ее структура и представление в комплексной форме. Вектор Пойнтинга. Методы определения скорости света.
2. Интерференция света. Когерентность. Методы получения когерентных колебаний в оптике. Практические схемы двулучевой интерференции. Временная и пространственная когерентность. Многолучевая интерференция. Экспериментальное осуществление интерференции света.
3. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Векторные диаграммы. Приближение Кирхгофа. Оптическое приближение. Дифракция Френеля. Дифракция в параллельных лучах. Примеры дифракционных явлений. Дифракционная решетка.
4. Поляризация света. Состояния поляризации плоской монохроматической волны. Закон Малюса. Степень поляризации света. Основные методы получения и анализа поляризованных электромагнитных волн. Поляризация при отражении и преломлении на границе диэлектрика. Двойное лучепреломление. Распространение света в кристаллах.
5. Взаимодействие световых волн с веществом. Материальные уравнения. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость. Показатель преломления среды. Немонохроматическое излучение. Скорость распространения света в веществе. Фазовая скорость. Волновые пакеты. Распространение светового импульса в диспергирующей среде. Групповая скорость. Формула Рэлея. Классическая электронная теория дисперсии. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Нормальная и аномальная дисперсия. Связь между аномальной дисперсией и поглощением. Закон Бугера.
6. Оптические явления на границе раздела двух сред. Граничные условия для электромагнитного поля. Законы отражения и преломления света на границе раздела двух сред. Явление полного внутреннего отражения. Формулы Френеля для s- и p-поляризованных волн. Энергетические и фазовые соотношения при преломлении и отражении света на границе раздела. Явление Брюстера.
7. Световые волны в анизотропных средах. Нормальные световые волны в анизотропном кристалле. Тензор диэлектрической проницаемости. Двойное лучепреломление. Лучевая и фазовая скорости в анизотропной среде. Одноосные и двуосные кристаллы.
8. Геометрическая оптика. Уравнение эйконала. Распространение света в неоднородной

среде.

9. Понятие фотона. Энергия и импульс фотона. Фотоэффект. Работы Столетова. Основные закономерности. Закон Эйнштейна. Фотоэлементы.

10. Импульс фотона. Давление света. Работы Лебедева. Явление Комптона.

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

1. Строение атома. Спектральные закономерности. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа частиц. Теория Бора. Опыт Франка и Герца по распределению потенциалов возбуждения атома. Спектр водорода.

2. Волны де-Бройля. Экспериментальные подтверждения гипотезы де Бройля. Эффект Рамзауэра-Таунсенда. Дифракция электронов.

3. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация, свойства волновой функции. Квантово-механические величины и операторы Уравнение Шредингера. Операторы как динамические переменные. Принцип неопределенности Гейзенберга. Нестационарное уравнение Шредингера. Стационарные квантовые состояния. Стационарное уравнение Шредингера. Электрон в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Туннельный эффект. Квантовый осциллятор. Ротатор. Элементарная квантовая теория излучения, коэффициенты Эйнштейна.

4. Водородоподобные атомы. Движение электрона в кулоновском поле. Атом водорода. Распределение электронной плотности в атоме водорода. Классификация состояний электронов в атоме водорода. Уровни энергии в атоме водорода. Спектр излучения. Водородоподобные атомы и системы.

5. Спин электрона. Оператор спина. Оператор проекции спина на произвольное направление. Спин в магнитном поле. Прецессия спина. Магнитный и механический моменты атома. Орбитальный и спиновый моменты атома. Полный момент атома. Понятия J-J- и LS-связи. Мультиплетность термов. Классификация состояний атома. Полный магнитный момент атома. Гиромагнитное соотношение. Множитель Ланде. Двухуровневый атом. Взаимодействие двухуровневого атома с когерентным резонансным излучением.

6. Многоэлектронные атомы. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева и ее объяснение. Электронные конфигурации. Принцип Паули. Правило Хунда. Закономерности заполнения электронных оболочек и подоболочек. Отклонения от идеальной схемы заполнения оболочек атомов.

7. Рентгеновское излучение. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Рентгеновские спектры. Закон Мозли. Поглощение и рассеяние рентгеновского излучения в веществе. Дифракция рентгеновского излучения.

8. Атом гелия. Обменное взаимодействие. Симметричные и антисимметричные решения.

9. Теория возмущения. Атом водорода в электрическом и магнитном полях, теория рассеяния. Борновское приближение в теории потенциального рассеяния.

10. Электрон в периодическом поле. Основные результаты зонной теории твердого тела. Модели металла, полупроводника, изоляторов.

11. Основные модели ядра. Дефект масс ядер.

12. Элементарные частицы: протоны, нейтроны, мезоны, электроны, фотоны, изомеры. Основные ядерные реакции.

13. Эффект Мессбауэра.

**Программа по научной специальности**  
**научные направления 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

**1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества**

1. Релятивистское уравнение движения. Релятивистская масса.
2. Колебания. Гармонические колебания. Собственные колебания. Затухающие колебания. Резонанс. Сложение колебаний. Биение. Эффект Доплера.
3. Волны. Продольные и поперечные колебания. Плоские и сферические волны. Упругие свойства среды и скорость распространения волны. Стоячие волны.
4. Основные понятия и модели сплошной среды. Гидродинамика. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Уравнения гидродинамики неидеальной жидкости.
5. Интеграл Бернулли. Потенциальное течение. Уравнение Навье-Стокса. Число Рейнольдса. Течение Пуазейля. Методы определения вязкости. Ламинарное и турбулентное течения.
6. Звуковые волны. Волновое уравнение. Явление Доплера. Ударные волны в идеальном газе.
7. Упругие тела. Связь между деформациями и напряжениями. Упругие константы изотропных тел. Энергия упругой деформации. Упругие свойства реальных тел (предел прочности, пластические деформации). Продольные колебания стержня. Бегущие и стоячие волны.
8. Условие разреженности и условие ионизации плазмы. Условие устойчивости плазмы и идеального газа.
9. Микроскопическое и макроскопическое описание системы. Постановка проблемы многих тел в статической механике. Фазовое пространство и уравнение Лиувилля. Квантовое описание состояния системы.
10. Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма состояний и свободная энергия.
11. Физические характеристики броуновского движения частиц. Формула Эйнштейна. Стохастические марковские процессы. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка и его простейшие применения.
12. Спектральные представления и временные корреляции случайных процессов. Тепловые шумы и формула Найквиста.
13. Твердое тело. Кристаллическая решетка. Элементы симметрии. Молекулярные, металлические и ионные кристаллы. Дифракция рентгеновских лучей на пространственной решетке.
14. Методы рентгеновского структурного анализа. Примеры анизотропии физических свойств кристаллов.
15. Основы термодинамики необратимых процессов. Соотношения Онсагера. Кинетические уравнения в статистической механике. Уравнения Боголюбова для классических функций распределения.
16. Атомы щелочных металлов. Собственные значения энергии. Схема энергетических переходов. Дублетная структура оптических спектров щелочных металлов.
17. Взаимодействие атома с магнитным полем. Эффект Зеемана. Расщепление энергетических уровней атомов. Эффект Пашена - Бака.
18. Взаимодействие атома с электрическим полем. Эффект Штарка.
19. Уравнение Клейна - Гордона. Уравнение Дирака. Понятие об электронно - позитронном вакууме. Лэмбовский сдвиг уровней. Аномальный магнитный момент электрона.
20. Методы наблюдения элементарных частиц. Ускорители: синхрофазотрон, циклотрон, бетатрон. Космические лучи.
21. Приближение Борна-Оппенгеймера. Электронные термы молекул. Методы расчета электронной структуры молекул.
22. Колебания молекул. Электронно-колебательные спектры молекул. Вращательные спектры молекул.
23. Элементы теории квантовых переходов. Вероятность переходов в единицу времени.

Составители: проф. А.И. Иванов, проф. И.В. Запорожкова, проф. В.К. Игнатъев, проф. И.Г.Коваленко, проф. В.А.Михайлова В.А., проф. В.В. Яцышен

**Программа по научной специальности  
Научное направление 1.3.4. Радиофизика**

**I. Теория колебаний.**

1. Линейные и нелинейные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные системы.
2. Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах.
3. Методы теории нелинейных колебаний. Анализ движения на фазовой плоскости, метод малого параметра, укороченные уравнения.
4. Автоколебательные системы с двумя степенями свободы. Явления затягивания и гашения колебаний. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
5. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем конечной длины. Роль граничных условий. Представление колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн.

**I. Теория волн**

1. Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Расплывание волнового пакета в диспергирующей среде. Дисперсионное уравнение.
2. Представление волновых пакетов в виде суперпозиции плоских волн. Волновой параметр, пространственно-временные аналогии. Фурье-оптика.
3. Распространение волны в нелинейной среде без дисперсии. Образование ударной волны. Метод медленно меняющихся амплитуд для решения нелинейных волновых задач.
4. Электромагнитные волны в волноводах и периодических структурах. Пространственные гармоники в периодических структурах.

**II. Статистическая радиофизика**

1. Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания.
2. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера – Хинчина.
3. Марковские процессы. Уравнение Марковского процесса и уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова. Понятие "белого шума".
4. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного случайного процесса. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширина и форма спектральной линии.
5. Пуассоновский процесс. Дробовой шум и формула Шоттки. Тепловой шум. Классический и квантовый вариант формулы Найквиста.
6. Обнаружение слабых сигналов на фоне шумов. Оценка параметров сигналов. Согласованный фильтр.

**III. Квантовая радиофизика**

1. Спонтанные и индуцированные переходы.
2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри – Перо, конфокальный и концентрический резонаторы, неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний, спектр частот и расходимость (направленность) излучения. Добротность.
3. Форма и интенсивность спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Естественная ширина, столкновение и доплеровское уширение. Поперечное и продольное времена релаксации.
4. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением. Самоиндуцированная прозрачность. Принципы работы приборов квантовой электроники. Методы создания инверсии населенностей и отрицательного поглощения.
5. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, переходные процессы, режим модуляции добротности, синхронизация мод. Сверхкороткие импульсы. Методы стабилизации частоты лазеров.

**Программа по научной специальности**  
**Научное направление 1.3.8. Физика конденсированного состояния**

1. Классификация твердых тел. Типы связи. Энергия связи.
2. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы.
3. Ковалентные кристаллы. Металлы. Плотнейшие упаковки.
4. Кристаллические решетки. Вектор трансляции. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка Вигнера – Зейтца.
5. Решетки Браве. Сингонии. Индексы Миллера.
6. Элементы симметрии кристаллов. Точечная группа симметрии. Пространственные группы симметрии.
7. Дифракция в кристаллах. Закон Вульфа – Брегга. Основные дифракционные методы.
8. Классификация дефектов кристаллического строения.
9. Точечные дефекты: основные типы, равновесная концентрация, дефекты Шоттки и Френкеля. Центры окраски. Радиационные дефекты.
10. Краевые дислокации. Винтовые дислокации.
11. Контур и вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Источники дислокации.
12. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц.
13. Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри– Фока.
14. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Свободный электрон и электрон в кристалле. Квазиимпульс. Энергетические зоны.
15. Энергетический спектр электрона в кристалле. Модель Кронига – Пенни. Случаи сильной и слабой связи.
16. Заполнение зон электронами. Металлы, диэлектрики, полупроводники.
17. Эффективная масса электрона.
18. Электронный газ Ферми. Распределение Ферми – Дирака. Температура Ферми.
19. Энергетические уровни примесных атомов в кристалле. Донорные примеси.
20. Энергетические уровни примесных атомов в кристалле. Акцепторные примеси.
21. Собственная проводимость полупроводников. Удельная электропроводность.
22. Проводимость примесных полупроводников.
23. Свойства твердых тел в сильных электрических полях. Разогрев электронного газа и эффект Гана. Ударная ионизация и эффект Зинера.
24. Электропроводность диэлектриков. Основные механизмы проводимости в диэлектриках.
25. Поляризация диэлектриков. Типы упругой и тепловой поляризации.
26. Пьезоэлектрический эффект. Пироэлектрический эффект.
27. Сегнетоэлектрики.
28. Механические свойства твердых тел. Тензор напряжения.
29. Упругая деформация. Математические основы деформационного состояния. Тензор деформации.
30. Оптические свойства твердых тел. Виды взаимодействия света с твердым телом.
31. Поглощение света кристаллами (поглощение свободными носителями, решеточное поглощение, экситонное поглощение и т.д.).
32. Классификация магнетиков.
33. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма.
34. Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Ферромагнитные домены.

## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### для подготовки к вопросам базового блока

1. Стрелков С.П. Механика. М.: Лань, 2005.
2. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. М.: ОНИКС. 21 век: Мир и Образование, 2003.
3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Лань, 2010.
4. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Лань, 2010.
5. Калашников С. Г. Электричество. М.: Физматлит, 2003.
6. Кикоин И. К., Кикоин А. К. Молекулярная физика. М.: Наука, 1976.
7. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1 - V. М.: Физматлит, 2013-2015.
8. Савельев И.Г. Курс общей физики.Т.1 - III. СПб.: Лань, 2016.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Т.VI. Изд. 6-е, испр. М.: Физматлит, 2015.
10. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. СПб.: Лань, 2008.
11. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. СПб.: Питер, 2006.
12. Бутиков Е.И. Оптика: Учебное пособие для студентов физических специальностей вузов. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Невский диалект; БХВ-Петербург, 2003.
13. Нагибина И.М., Москалев В.А., Полушкина Н.А., Рудин В.Л. Прикладная физическая оптика: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высшая школа, 2002.
14. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.
15. Матвеев А.Н. Оптика: Учебное пособие для физических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1985.
16. Годжаев Н.М. Оптика: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1977.
17. Ландсберг Г.С. Оптика: Учебное пособие для физических специальностей вузов. М.: Наука, 1976.
18. Крауфорд Ф. Волны. М.: Наука, 1976.
19. Борн М., Вольф Е. Основы оптики. 2-е изд. М.: Наука, 1973.
20. Матвеев А.Н. Атомная физика. М.: АСТ, 2007.
21. Михайлова В.А., Иванов А.И., Додин Д.В. Квантовая теория. - Волгоград: Изд-во Волгоградского ун-та, 2013.
22. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Т.III. Квантовая механика. Изд. 6-е, испр. М.: Физматлит, 2004.
23. Мессиа А. Квантовая механика. М.: Наука, 1979.
24. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.1. М.: Наука, 1984.
25. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.2. М.: Наука, 1974.
26. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т. I и II. М.: Энергоатомиздат, 1993.
27. Широков Ю.М., Юдин К.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1980.
28. Михайлова В.А., Михайлова Е.А. Термодинамика, статистическая физика. - Волгоград: Изд-во Волгоградского ун-та, 2013.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### для подготовки к вопросам по научной специальности

#### **Научные направления 1.3.1. Физика космоса, астрономия, 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества**

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. 5-е изд., испр. М.: Наука, 1994.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. Т.VII. Изд. 5-е. М.: Физматлит, 2007.
3. Флари Р. Квантовая химия. М.: Мир, 1985.

Составители: проф. А.И. Иванов, проф. И.В. Запороцкова, проф. В.К. Игнатьев, проф. И.Г.Коваленко, проф. В.А.Михайлова В.А., проф. В.В. Яцышен

4. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика с задачами. М.: Наука, 1976.

#### **Научное направление 1.3.4. Радиофизика**

1. В.В. Мигулин, В.И. Медведев, Е.Р. Мустель, В.Н. Парыгин. Основы теории колебаний. Наука, 1978.

2. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. Наука, 1984.

3. С.М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Наука, 1966.

4. С.А. Ахматов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Введение в статистическую радиофизику и оптику. Наука, 1981.

5. А. Ван Дер Зил. Шумы при измерениях. Мир, 1979.

6. А. Ярив. Квантовая электроника и нелинейная оптика. Советское радио, 1973.

7. Р. Пантел, Г. Путхов. Основы квантовой электроники. Мир, 1972.

#### **Научное направление 1.3.8. Физика конденсированного состояния**

1. Давыдов А.С. Теория твердого тела. – М.: Наука. 1995,640 с.

2. Ашкрофт, Мермин. Физика твердого тела. – М.: Наука, 1976, 540 с.

3. Займа Дж. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1966, 416 с.

4. Маделунг О. Теория твердого тела. – М.: Наука. 1980,416 с.

5. Блейкмор Дж. Фишка твердого тела. – М.: Мир, 1988,608 с.

6. Киттель Ч. Физика твердого тела. – М.: Наука. 1995,625 с.

7. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Квантовая механика. – М.: Наука, 1983.

8. Лифшиц Е.М., Питаевский П.П. Статистическая физика – М.: Наука, 1978, 448 с.

9. Лифшиц Е.М., Питаевский П.П. Физическая кинетика – М.: Наука, 1979, 528 с.

10. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. Физика химической связи. – М.: Мир, 1983.

11. Эварестов Р.А. Квантовохимические методы в теории твердого тел. Л.: ЛГУ, 1982.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

### Базовый блок вопросов, общих для всех научных направлений

1. Основы динамики материальной точки. Инерциальные системы. Принцип относительности. Законы Ньютона. Движение тел переменной массы. Уравнение Мещерского. Идеи Циолковского о реактивном движении. Ступенчатая ракета.
2. Основы кинематики и динамики твердого тела. Твердое тело как система материальных точек. Центр масс. Поступательное и вращательное движение твердого тела. Гироскоп.
3. Сила тяготения. Закон всемирного тяготения. Поле тяготения и потенциал тяготения. Законы Кеплера. Первая и вторая космические скорости. Масса инертная и масса тяготения. Принцип эквивалентности сил инерции и сил тяготения.
4. Работа силы. Энергия. Потенциальная и кинетическая энергия. Равновесие и потенциальная энергия системы.
5. Законы сохранения в механике: импульса, момента импульса, энергии.
6. Идеальный газ. Основное уравнение кинетической теории газов (газовое уравнение Клаузиуса). Закон Дальтона. Уравнение Больцмана. Молекулярно-кинетическое понимание абсолютной температуры. Реальные газы.
7. Термодинамические системы, состояние термодинамического равновесия. Квазистатические (обратимые) и нестатические (необратимые) процессы. Внутренняя энергия, количество теплоты и работа. Уравнение состояния.
8. Первое начало термодинамики. Теплоемкости. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
9. Второе начало термодинамики для квазистатических процессов. Энтропия и абсолютная температура. Второе начало для неравновесных процессов. Закон возрастания энтропии. Теорема Карно. Тепловые двигатели.
10. Третье начало термодинамики и его свойства. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Теплоемкость вблизи абсолютного нуля.
11. Основные термодинамические потенциалы и выражения для дифференциалов.
12. Термодинамика газов. Термодинамика магнетиков и диэлектриков. Методы охлаждения веществ. Эффект Джоуля-Томсона. Охлаждение методом обратимого расширения.
13. Термодинамика излучения. Давление излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана.
14. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Фазы и компоненты. Кривые равновесия фаз. Фазовые переходы первого рода и уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода.
15. Распределение молекул по скоростям. Идеальный одноатомный газ в поле внешних сил. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении средней кинетической энергии по степеням свободы. Равновесное излучение.
16. Квазиротермодинамическая теория флуктуации. Флуктуации основных термодинамических величин.
17. Классическая электродинамика и границы ее применимости. Уравнения Максвелла как результат обобщения опытных фактов. Закон сохранения заряда. Уравнения Максвелла для полей зарядов и токов в вакууме.
18. Энергия электромагнитного поля. Закон сохранения энергии в электродинамике (вектор и теорема Пойнтинга). Силы, действующие на заряды и токи.

19. Макроскопическая и микроскопическая электродинамика и их связь. Макроскопическое поле как усредненное микроскопическое поле.
20. Уравнения Максвелла для вещества. Материальные уравнения. Граничные условия для векторов поля. Энергия электромагнитного поля в среде.
21. Электростатика. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Измерение диэлектрической проницаемости. Сегнетоэлектрики, антисегнетоэлектрики.
22. Стационарный электрический ток. Электродвижущая сила. Контактная разность потенциалов. Термоэлектричество. Сверхпроводимость.
23. Магнитное поле тока. Действие магнитного поля на ток. Взаимодействие токов.
24. Магнетики. Магнитное поле в магнетиках. Диа-, пара-, ферромагнетики, антиферромагнетики.
25. Электрический ток в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды.
26. Квазистационарное приближение. Скин-эффект. Электромагнитная индукция. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции.
27. Электрические колебания. Закон Кирхгофа для квазистационарных токов. Методы генерации электрических колебаний.
28. Световые волны в вакууме. Электромагнитная природа света. Система уравнений Максвелла. Волновое уравнение. Скорость света. Методы определения скорости света.
29. Световые волны в вакууме. Решение волнового уравнения в виде плоских и сферических волн. Плоская электромагнитная волна, ее структура и представление в комплексной форме. Вектор Пойнтинга.
30. Поляризация света. Состояния поляризации плоской монохроматической волны. Закон Малюса. Степень поляризации света. Основные методы получения и анализа поляризованных электромагнитных волн.
31. Взаимодействие световых волн с веществом. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость. Волновое уравнение. Скорость распространения света в веществе. Показатель преломления среды.
32. Световые волны в линейной изотропной среде. Классическая электронная теория дисперсии. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Нормальная и аномальная дисперсия. Закон Бугера.
33. Немонохроматическое излучение. Фазовая скорость. Волновые пакеты. Распространение светового импульса в диспергирующей среде. Групповая скорость. Формула Рэлея. Явление Черенкова.
34. Оптические явления на границе раздела двух сред. Граничные условия для электромагнитного поля. Законы отражения и преломления света на границе раздела двух сред. Явление полного внутреннего отражения.
35. Оптические явления на границе раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля для s- и p- поляризованных волн. Энергетические и фазовые соотношения при преломлении и отражении света на границе раздела. Явление Брюстера.
36. Световые волны в анизотропных средах. Нормальные световые волны в анизотропном кристалле. Тензор диэлектрической проницаемости. Двойное лучепреломление. Лучевая и фазовая скорости в анизотропной среде. Одноосные и двуосные кристаллы.
37. Геометрическая оптика. Уравнение эйконала. Распространение света в неоднородных средах.
38. Интерференция света. Когерентность. Методы получения когерентных колебаний в оптике. Практические схемы двухлучевой интерференции. Временная и пространственная когерентность. Многолучевая интерференция. Экспериментальное осуществление интерференции света.

39. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Векторные диаграммы. Приближение Кирхгофа. Оптическое приближение. Дифракция Френеля и дифракция Фраунгофера. Примеры. Дифракционная решетка.
40. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсии. Методы наблюдения. Связь между аномальной дисперсией и поглощением.
41. Световые кванты. Понятие фотона. Энергия и импульс фотона. Фотоэффект. Работы Столетова. Закон Эйнштейна. Фотоэлементы.
42. Импульс фотона. Давление света. Работы Лебедева. Явление Комптона.
43. Строение атома. Спектральные закономерности. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа частиц. Ядерная модель атома. Теория Бора. Опыт Франка и Герца по распределению потенциалов возбуждения атома. Спектр водорода.
44. Волны де-Бройля. Экспериментальные подтверждения гипотезы де Бройля. Эффект Рамзауэра - Таунсенда. Дифракция электронов.
45. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация, свойства волновой функции. Уравнение Шредингера. Операторы как динамические переменные. Принцип неопределенности Гейзенберга.
46. Квантовые системы в одном измерении. Нестационарное уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Электрон в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Потенциальный барьер и туннельный эффект.
47. Линейный квантовый гармонический осциллятор. Энергия осциллятора. Волновые функции осциллятора, их свойства. Ротатор.
48. Элементарная квантовая теория излучения, коэффициенты Эйнштейна.
49. Водородоподобные атомы. Движение электрона в кулоновском поле. Атом водорода. Распределение электронной плотности в атоме водорода. Классификация состояний электронов в атоме водорода. Уровни энергии в атоме водорода. Спектр излучения. Водородоподобные атомы и системы.
50. Спин электрона. Оператор спина. Оператор проекции спина на произвольное направление. Спин в магнитном поле. Прецессия спина.
51. Магнитный и механический моменты атома. Орбитальный и спиновый моменты атома. Полный момент атома. Понятия  $jj$ - и  $LS$ -связи. Мультиплетность термов. Классификация состояний атома. Полный магнитный момент атома. Гиромагнитное соотношение. Множитель Ланде.
52. Двухуровневый атом. Взаимодействие двухуровневого атома с когерентным резонансным излучением.
53. Многоэлектронные атомы. Электронные оболочки атома. Принцип Паули. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева и ее объяснение. Электронные конфигурации. Принцип Паули. Правило Хунда. Последовательность заполнения электронных оболочек и подоболочек. Отклонения от идеальной схемы заполнения оболочек атомов.
54. Рентгеновское излучение. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Рентгеновские спектры. Закон Мозли. Поглощение и рассеяние рентгеновского излучения в веществе. Дифракция рентгеновского излучения.
55. Атом гелия. Обменное взаимодействие. Симметричные и антисимметричные решения.
56. Теория возмущения. Атом водорода в электрическом и магнитном полях, теория рассеяния. Борновское приближение в теории потенциального рассеяния.
57. Электрон в периодическом поле. Основные результаты зонной теории твердого тела. Модели металла, полупроводника, изоляторов.
58. Основные модели ядра. Дефект масс ядер.
59. Элементарные частицы: протоны, нейтроны, мезоны, электроны, фотоны, изомеры. Основные ядерные реакции.
60. Эффект Мессбауэра.

**Вопросы по научной специальности**  
**научные направления 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

**1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний веществ**

1. Колебания. Гармонические колебания. Собственные колебания. Затухающие колебания. Резонанс. Сложение колебаний. Биение. Эффект Доплера.
2. Волны. Продольные и поперечные колебания. Плоские и сферические волны. Упругие свойства среды и скорость распространения волны. Стоячие волны.
3. Основные понятия и модели сплошной среды. Гидродинамика. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Уравнение гидродинамики неидеальной жидкости.
4. Интеграл Бернулли. Потенциальное течение. Уравнение Навье-Стокса. Число Рейнольдса. Течение Пуазейля. Методы определения вязкости. Ламинарное и турбулентное течения.
5. Звуковые волны. Волновое уравнение. Явление Доплера. Ультразвук (получение и применение). Ударные волны в идеальном газе.
6. Упругие тела. Связь между деформациями и напряжениями. Упругие константы изотропных тел. Энергия упругой деформации. Упругие свойства реальных тел (предел прочности, пластические деформации). Продольные колебания стержня. Бегущие и стоячие волны.
7. Условие разреженности и условие ионизации плазмы. Условие устойчивости плазмы и идеального газа.
8. Микроскопическое и макроскопическое описание системы. Постановка проблемы многих тел в статической механике. Фазовое пространство и уравнение Лиувилля. Квантовое описание состояния системы.
9. Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Каноническое распределение Гиббса. Сумма состояний и свободная энергия.
10. Физические характеристики броуновского движения частиц. Формула Эйнштейна. Стохастические марковские процессы. Уравнение Эйнштейна - Фоккера - Планка и его простейшие применения.
11. Спектральные представления и временные корреляции случайных процессов. Тепловые шумы и формула Найквиста.
12. Твердое тело. Кристаллическая решетка. Элементы симметрии. Молекулярные, металлические и ионные кристаллы. Дифракция рентгеновских лучей на пространственной решетке. Методы рентгеновского структурного анализа. Примеры анизотропии физических свойств кристаллов.
13. Основы термодинамики необратимых процессов. Соотношения Онсагера. Кинетические уравнения в статистической механике. Уравнения Боголюбова для классических функций распределения.
14. Атомы щелочных металлов. Собственные значения энергии. Схема энергетических переходов. Дублетная структура оптических спектров щелочных металлов.
15. Взаимодействие атома с магнитным полем. Эффект Зеемана. Расщепление энергетических уровней атомов. Эффект Пашена - Бака. Взаимодействие атома с электрическим полем. Эффект Штарка.
16. Уравнение Клейна - Гордона. Уравнение Дирака. Понятие об электронно - позитронном вакууме. Лэмбовский сдвиг уровней. Аномальный магнитный момент электрона.
17. Методы наблюдения элементарных частиц. Ускорители: синхрофазотрон, циклотрон, бетатрон. Космические лучи.
18. Приближение Борна-Оппенгеймера. Электронные термы молекул. Методы расчета электронной структуры молекул.
19. Колебания молекул. Электронно-колебательные спектры молекул. Вращательные

Составители: проф. А.И. Иванов, проф. И.В. Запорожкова, проф. В.К. Игнатъев, проф. И.Г.Коваленко, проф. В.А.Михайлова В.А., проф. В.В. Яцышен

спектры молекул.

20. Элементы теории квантовых переходов. Вероятность переходов в единицу времени.

**Вопросы по научной специальности  
научное направление 1.3.4. Радиофизика**

1. Линейные и нелинейные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные системы.
2. Автоколебательные системы с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах.
3. Методы теории нелинейных колебаний. Анализ движения на фазовой плоскости, метод малого параметра, укороченные уравнения.
4. Автоколебательные системы с двумя степенями свободы. Явления затягивания и гашения колебаний. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
5. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем конечной длины. Роль граничных условий. Представление колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн.
6. Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Расплывание волнового пакета в диспергирующей среде. Дисперсионное уравнение.
7. Представление волновых пакетов в виде суперпозиции плоских волн. Волновой параметр, пространственно-временные аналогии. Фурье-оптика.
8. Распространение волны в нелинейной среде без дисперсии. Образование ударной волны. Метод медленно меняющихся амплитуд для решения нелинейных волновых задач.
9. Электромагнитные волны в волноводах и периодических структурах. Пространственные гармоники в периодических структурах.
10. Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания.
11. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера – Хинчина.
12. Марковские процессы. Уравнение Марковского процесса и уравнение Фоккера – Планка – Колмогорова. Понятие "белого шума".
13. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного случайного процесса. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширина и форма спектральной линии.
14. Пуассоновский процесс. Дробовой шум и формула Шоттки. Тепловой шум. Классический и квантовый вариант формулы Найквиста.
15. Обнаружение слабых сигналов на фоне шумов. Оценка параметров сигналов. Согласованный фильтр
16. Спонтанные и индуцированные переходы.
17. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри – Перо, конфокальный и концентрический резонаторы, неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний, спектр частот и расходимость (направленность) излучения. Добротность.
18. Форма и интенсивность спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение. Естественная ширина, столкновение и доплеровское уширение. Поперечное и продольное времена релаксации.
19. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением. Самоиндуцированная прозрачность. Принципы работы приборов квантовой электроники. Методы создания инверсии населенностей и отрицательного поглощения.

20. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, переходные процессы, режим модуляции добротности, синхронизация мод. Сверхкороткие импульсы. Методы стабилизации частоты лазеров.

### **Вопросы по научной специальности**

#### **научное направление 1.3.8. Физика конденсированного состояния**

1. Классификация твердых тел. Типы связи. Энергия связи.
2. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлы. Плотнейшие упаковки.
3. Кристаллические решетки. Вектор трансляции. Элементарная ячейка. Прimitивная ячейка Вигнера – Зейтца. Решетки Браве. Сингонии. Индексы Миллера.
4. Элементы симметрии кристаллов. Точечная группа симметрии. Пространственные группы симметрии.
5. Дифракция в кристаллах. Закон Вульфа – Брегга. Основные дифракционные методы.
6. Классификация дефектов кристаллического строения. Точечные дефекты: основные типы, равновесная концентрация, дефекты Шоттки и Френкеля. Центры окраски. Радиационные дефекты.
7. Краевые дислокации. Винтовые дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Источники дислокации.
8. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц.
9. Уравнение Шредингера для твердого тела. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри – Фока.
10. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Свободный электрон и электрон в кристалле. Квазиимпульс. Энергетические зоны. Энергетический спектр электрона в кристалле. Модель Кронига – Пенни. Случаи сильной и слабой связи.
11. Заполнение зон электронами. Металлы, диэлектрики, полупроводники. Эффективная масса электрона.
12. Электронный газ Ферми. Распределение Ферми – Дирака. Температура Ферми
13. Энергетические уровни примесных атомов в кристалле. Донорные примеси.. Акцепторные примеси.
14. Собственная проводимость полупроводников. Удельная электропроводность. Проводимость примесных полупроводников.
15. Свойства твердых тел в сильных электрических полях. Разогрев электронного газа и эффект Гана. Ударная ионизация и эффект Зинера.
16. Электропроводность диэлектриков. Основные механизмы проводимости в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Типы упругой и тепловой поляризации
17. Пьезоэлектрический эффект. Пироэлектрический эффект. Сегнетоэлектрики.
18. Механические свойства твердых тел. Тензор напряжения. Упругая деформация. Математические основы деформационного состояния. Тензордеформации.
19. Оптические свойства твердых тел. Виды взаимодействия света с твердым телом. Поглощение света кристаллами (поглощение свободными носителями, решеточное поглощение, экситонное поглощение и т.д.).
20. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Ферромагнетизм. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Ферромагнитные домены.