

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА»**



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор – проректор по науке

Розенцвайг А.И.

**Программа вступительного испытания в аспирантуру
по специальной дисциплине**

Группа научных специальностей 1.3 Физические науки:

- 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики;
- 1.3.3. Теоретическая физика;
- 1.3.6. Оптика;
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния;
- 1.3.11. Физика полупроводников;
- 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества;
- 1.3.19. Лазерная физика.

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальной дисциплине разработана в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего образования уровней специалист, магистр.

Разработчики программы:

Скиданов Р.В., профессор кафедры технической кибернетики, доктор физико-математических наук, доцент;

Салеев В.А., заведующий кафедрой общей и теоретической физики, доктор физико-математических наук, профессор;

Котляр В.В., профессор кафедры технической кибернетики, доктор физико-математических наук, профессор;

Осинская Ю.В., заведующий кафедрой физики твердого тела и неравновесных систем, доктор физико-математических наук, доцент;

Аязов В.Н., заведующий кафедрой оптики и спектроскопии, доктор физико-математических наук, доцент;

Ивахник В.В., профессор кафедры оптики и спектроскопии, доктор физико-математических наук, профессор.

Директор института естественных
и математических наук
д.ф.-м.н., доцент



А.А. Грисяк

Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Приборы и методы экспериментальной физики»

I Автоматизация научных исследований

1. Научный эксперимент как средство построения и уточнения математической модели исследуемого объекта или явления. Типовая схема экспериментальных исследований. Типовые задачи исследований. Экспериментальные исследования как объект автоматизации.

2. Понятие АСНИ. Классификация АСНИ, типовые структуры, схемы и основные функции АСНИ.

3. Роль компьютера в АСНИ. Стандарты сопряжения компьютеров с внешними устройствами для измерения и сбора данных. Программное управление внешними устройствами

4. Методы анализа экспериментальных кривых. Специфика проблемы и основные подходы к ее решению. Сегментация кривых.

II Оптические приборы и схемы

1. Спектрометры. Призмный спектрометр. Дифракционный спектрометр. Разрешающая способность спектрометров. Монохроматоры. Быстрое сканирование монохроматоров.

2. Интерферометры. Двухлучевые интерферометры. Интерферометры Майкельсона, Твимана-Грина, Маха-Цендера, Вильямса. Интерферометр сдвига. Многолучевые интерферометры. Интерферометры Физо и Фабри-Перо.

3. Поляризаторы. Двухлучепреломляющие кристаллы. Фазовые пластинки (полноволновая, полуволновая и четвертьволновая).

4. Компенсаторы. Компенсатор Бабиня. Поляризаторы светоделители. Деполяризатор Корню.

5. Фильтры. Тепловые фильтры. Интерференционные фильтры. Нейтральные фильтры.

III Дифракционная оптика

1. Принципы работы дифракционных оптических элементов.

2. Расчет фокусаторов когерентного излучения в фокальные кривые в приближении геометрической оптики.

3. Понятие о компенсаторах для преобразования формы волновых фронтов.

4. Понятие об элементах для преобразования модового состава излучения.

IV Взаимодействие лазерного излучения с веществом

1. Оптический пробой газов. Механизм ионизации. Порог пробоя, его зависимость от давления. Роль примесей.

2. Испарение металлов лазерным излучением. Лазерная генерация звука в жидкостях, лазерная термодинамика.

3. Лазерное разрушение прозрачных диэлектриков. Механизм лавинной ионизации.

V Запись и обработка оптической информации

1. Механизм записи и воспроизведения волновых полей с помощью двумерных и трехмерных голограмм. Голограммы Фурье. Цветное объемное изображение. Цифровые голограммы. Голографическая интерферометрия.

2. Линза как элемент, осуществляющий преобразование Фурье. Пространственная фильтрация изображений, формируемых линзой.

3. Техника голографического эксперимента. Регистрирующие среды. Нелинейная регистрация. Спектры.

VI Цифровая обработка сигналов и экспериментальных кривых

1. Элементы теории сигналов. Сигналы как математические функции. Непрерывное представление сигналов. Система базисных функций. Линейные преобразования по отношению к дискретным базисам.

2. Дискретизация и квантование сигналов. Теорема отсчетов Котельникова. Погрешности дискретизации и квантования.

3. Восстановление сигналов как обратная задача. Регуляризация решения уравнения типа свертки. Оптимальное и квазиоптимальное восстановление. Оптимальный фильтр Винера. Вычислительные аспекты восстановления сигналов.

4. Статистическая обработка данных. Ошибка эксперимента. Величина и доверительный интервал. Нахождение статистической закономерности.

5. Интерполяция и сглаживание данных. Приближенные формулы. Линейная и нелинейная интерполяция. Интерполяция сплайнами. Аппроксимация функций. Суммирование рядов Фурье.

VII Основы физики лазеров

1. Индуцированные и спонтанные переходы. Поглощение и усиление. Инверсия.

2. Принцип работы лазеров. Схемы накачки. Теория Лэмба.

3. Открытый резонатор. Прореживание спектра. Гауссовы пучки. Преобразование гауссовых пучков линзой.

4. Оптические резонаторы устойчивой и неустойчивой конфигурации. Моды резонаторов. Селекция продольных и поперечных мод.

5. Основные типы лазеров. Твердотельные лазеры на примесных кристаллах и стеклах. Лазеры на центрах окраски. Газовые лазеры на нейтральных атомах, ионные, молекулярные, на парах металлов. Лазеры на эксимерах. Лазеры на красителях. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Плазменные лазеры.

6. Пичковый режим генерации. Модуляция добротности и генерация гигантских импульсов. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Стабилизация и перестройка частоты генерации.

VIII Нелинейная оптика и волновые процессы

1. Оптоэлектронные элементы. Светоиды и инжекционные лазеры. Фотоприемники. Модуляторы и дефлекторы света. Система оптической памяти.

2. Волоконная оптика. Моды оптического волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Типы волоконных светоидов. Градиентные волокна.

3. Фурье-оптика волновых пучков и импульсов: управление фазой световых колебаний в пространстве и во времени, формирование пучков и импульсов с заданной структурой. Фурье-оптика и оптическая обработка информации.

4. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) света. Модель ВКР, коэффициент усиления, порог ВКР. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта, нелинейная адаптивная оптика.

Основная литература

1. Гаврилов А.В. и др. Дифракционная нанофотоника / под ред. В.А. Сойфера. — Москва: Физматлит, 2011. — 679 с.

2. Дифракционная оптика / Под ред. В.А. Сойфера. — М.: Физматлит, 2007. — 736 с.

3. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. — 2-е изд. — Б.м.: Лань, 2008. — 336 с.

4. Кирилловский В.К. Современные оптические исследования и измерения. — Б.м.: Лань, 2010. — 304 с.

5. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. — 3-е изд., стер. — Б.м.: 2002. — 424 с.

6. Валиев К.А. и др. Нанoeлектроника / под ред. А.А. Орликовского. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — (Серия Электроника в техническом университете. Прикладная электроника).

Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Теоретическая физика»

I Теоретическая механика

1. Основные понятия и постулаты классической механики. Законы изменения и сохранения импульса точки, момента количества движения и энергии. Потенциальные силы. Диссипативные силы. Система N материальных точек. Центр масс. Закон изменения импульса системы точек. Теорема о сохранении импульса системы материальных точек. Закон изменения момента количества движения системы материальных точек. Теорема о сохранении полной энергии системы материальных точек с потенциальными силами. Теорема вириала.

2. Постановка задачи об упругом рассеянии частиц. Кинематика упругого рассеяния частиц. Граничные условия в проблеме рассеяния частиц. Полный и относительный импульс частиц. Импульсы двух частиц после рассеяния. Диаграммы импульсов. Лабораторная система отсчета и система центра масс. Углы рассеяния частиц. Определение импульсов частиц в конечном состоянии в терминах начальной асимптотики и угла рассеяния. Прицельный параметр. Дифференциальное эффективное сечение рассеяния.

3. Произвольное движение твердого тела и его разложение на поступательное движение и вращение. Теорема Эйлера о движении твердого тела с одной неподвижной точкой. Угловая скорость вращения. Кинематические формулы Эйлера. Связь между положениями, скоростями и ускорениями материальной точки относительно двух произвольных систем отсчета. Уравнения движения точки относительно неинерциальной систем отсчета.

4. Основная задача динамики несвободной системы N материальных точек. Понятие о связях. Реакции связей. Голономные связи. Стационарные связи. Понятие действительного, возможного и виртуального перемещения материальной точки. Виртуальная работа реакций связей. Идеальные связи. Основная задача динамики системы N материальных точек с k идеальными голономными связями. Принцип виртуальных перемещений. Уравнения Лагранжа в независимых обобщенных координатах. Понятие обобщенной силы. Функция Лагранжа. Понятия обобщенной энергии и обобщенного импульса. Законы изменения и сохранения обобщенной энергии и обобщенного импульса.

5. Собственные одномерные колебания. Характеристическое уравнение. Частота колебаний, коэффициент затухания. Положение устойчивого равновесия системы с s степенями свободы. Теорема Лагранжа (достаточный признак устойчивости положения равновесия механической системы). Система уравнений Лагранжа для механической системы с s степенями свободы в окрестности положения устойчивого равновесия. Собственные колебания системы под действием обобщенно-потенциальных и диссипативных сил. Вынужденные колебания и резонанс. Общие свойства нелинейных систем. Устойчивость по Ляпунову. Функция Ляпунова. Решение нелинейных уравнений методом усреднения.

6. Обобщенные координаты и обобщенные импульсы. Переменные Гамильтона. Преобразование Лежандра. Функция Гамильтона. Канонические уравнения Гамильтона. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Теорема Лиувилля. Особые точки динамических систем. Особые точки гамильтоновых систем. Сепаратриса. Фазовый портрет осциллятора с затуханием. Метод фазовых портретов в механике. Законы изменения и сохранения гамильтониана системы. Скобка Пуассона и ее свойства. Фундаментальные скобки Пуассона. Теорема Якоби-Пуассона. Определение интегралов движения материальной точки в центрально-симметричном поле с помощью вычисления скобок Пуассона.

7. Интегральный вариационный принцип Гамильтона-Остроградского. Функция действия системы. Прямой и околный пути механической системы. Вывод уравнений Лагранжа 2 рода из принципа наименьшего действия Гамильтона-Остроградского. Принцип наименьшего действия в форме Якоби и геодезические линии в координатном пространстве. Теорема Нетер.

8. Понятие канонического преобразования. Типы канонических преобразований. Производящая функция канонического преобразования. Вывод уравнений канонического преобразования. Метод канонических преобразований в задаче о линейном гармоническом

осцилляторе. Скобка Пуассона – инвариант канонического преобразования. Интегральные инварианты Пуанкаре. Скобка Лагранжа. Теорема о связи скобок Лагранжа и Пуассона. Вычисление фундаментальных скобок Пуассона с помощью этой теоремы.

9. Два подхода в использовании метода канонических преобразований. Уравнение Гамильтона – Якоби. Общий и полный интегралы уравнения Гамильтона – Якоби. Решение основной задачи механики с помощью полного интеграла. Уравнение Гамильтона-Якоби для линейного гармонического осциллятора. Физический смысл полного интеграла. Метод разделения переменных в уравнении Гамильтона-Якоби Адиабатический инвариант механической системы.

II Классическая электродинамика

1. Уравнения электромагнитного поля и их свойства. Связь уравнений Максвелла с опытными законами электромагнетизма. Материальные уравнения. Граничные условия для векторов напряженностей и индукций. Скалярный и векторный потенциалы.

2. Постоянное электрическое поле в вакууме. Уравнения Лапласа. Потенциал на больших расстояниях от системы зарядов. Мультипольное разложение. Постоянное магнитное поле. Псевдоскалярный потенциал. Магнитный момент. Энергия и силы взаимодействия в магнитном поле.

3. Уравнения Максвелла и волновое уравнение. Решения волнового уравнения. Эффект Доплера и абберация света. Справедливость принципа относительности для всех физических явлений. Преобразования Лоренца для электромагнитного поля. Ковариантная запись силы Лоренца. Уравнение движения Минковского.

4. Ковариантный вид уравнений Максвелла. Инварианты электромагнитного поля. Ковариантная формулировка уравнений Максвелла в средах. Движение релятивистской частицы во внешнем однородном электрическом и магнитном полях. Релятивистское движение в кулоновском поле.

5. Запаздывающие потенциалы и их свойства. Потенциалы Лиенара - Вихерта и поле точечного заряда, движущегося по заданной траектории. Рассеяние волн осциллятором. Формула Томпсона. Излучение при движении в кулоновом поле. Электрическое дипольное излучение. Квадрупольное и магнитодипольное излучение.

6. Микроскопические уравнения поля. Усреднение микроскопических уравнений. Материальные уравнения и восприимчивости вещества. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости. Дисперсионные соотношения Крамерса – Кронига и причинность. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Функция Ланжевена. Формула Клаузиуса – Мосотти. Теория Онзагера. Поляризуемость анизотропных сред. Типы симметрии кристаллов и тензор диэлектрической проницаемости. Излучение Вавилова - Черенкова.

7. Магнитные свойства вещества. Теорема Бора – Ван Леевен. Спин и магнетизм. Магнитная восприимчивость парамагнитного газа. Восприимчивость диамагнитного газа. Диамагнетизм свободных электронов (электронов проводимости) – теория Ландау. Эффект Ааронова – Бома.

8. Ферромагнетизм. Закон Кюри – Вейсса. Теория Ландау – Лифшица. Обменное взаимодействие. Антиферромагнетики и ферриты. Энергия магнитной анизотропии. Домены. Движение магнитной стенки. Кривая намагничивания ферромагнетиков. Гистерезис. Спиновые волны в ферромагнетиках. Магноны.

9. Свойства сверхпроводников. Куперовские пары. Сверхтекучий конденсат. Длина когерентности. Теория Гинзбурга – Ландау. Диамагнетизм сверхпроводников. Эффект Мейсснера – Оксенфельда. Уравнение Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники I и II рода. Вихревые нити. Квантование магнитного потока. Флюксон. Эффект Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

10. Нелинейные электромагнитные явления в средах. Нелинейные восприимчивости. Роль симметрии среды. Нелинейная восприимчивость газа свободных электронов. Нелинейность, связанная с ангармонизмом колебаний. Нелинейное взаимодействие электромагнитных волн (параметрическое взаимодействие). Генерация второй гармоники.

Эффект Керра и само модуляция светового пучка. Эффект Манделштама - Бриллюена и вынужденное комбинационное рассеяние.

III Квантовая механика

1. Волновая функция. Гильбертово пространство векторов состояния. Дираковский формализм. Принцип суперпозиции. Операторы в квантовой теории. Свойства самосопряженных операторов. Операторы основных физических величин. Коммутатор. Спектр наблюдаемой величины и ее среднее значение. Состояния с определенными значениями физических величин. Теорема о коммутирующих наблюдаемых.

2. Уравнение Шредингера. Принцип соответствия. Сохранение нормы во времени. Уравнение неразрывности. Стационарные и нестационарные состояния. Простейшие одномерные задачи. Нормировка состояний дискретного и непрерывного спектров. Элементы теории представлений. Базис. Условие полноты и ортонормировки. Матричное представление векторов состояния и операторов. Смена представления. Унитарное преобразование. Примеры представлений: координатное и импульсное представления, энергетическое представление.

3. Эволюция физической системы. Картина Шредингера. Оператор эволюции. Пропагатор. Примеры. Картина Гейзенберга. Уравнение Гейзенберга. Интегралы движения.

4. Линейный гармонический осциллятор (ЛГО). Формулировка задачи о движении ЛГО в картине Шредингера. Решение уравнения Шредингера в координатном представлении. Спектр и волновые функции ЛГО. Полиномы Эрмита. Представление чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения квантов колебаний в задаче о гармоническом осцилляторе. Гамильтониан осциллятора, оператор числа частиц. Представление чисел заполнения.

5. Момент импульса в квантовой теории. Оператор момента импульса частицы. Основные коммутационные свойства. Операторы L^2 и L_z в сферических координатах, их собственные функции и собственные значения. Сферические функции, присоединенные полиномы Лежандра. Физический смысл квантовых чисел l и m . Лестничные операторы в теории углового момента. Квантование момента с помощью коммутационных соотношений. Оператор момента J . Квантовые числа j и m_j , их целые и полуцелые значения. Примеры.

6. Формулировка задачи о движении частицы в центральном поле. Интегралы движения. Четность. Пример: четность сферических функций. Волновая функция частицы в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Обязательное вырождение энергетического спектра в центральном поле.

7. Движение в кулоновском поле, дискретный спектр. Движение электрона в атоме водорода. Решение радиального уравнения. Волновая функция электрона. Обобщенные полиномы Лагерра. Уровни энергии. Случайное вырождение в кулоновском поле. Вектор Рунге-Ленца. Кратность вырождения. Пространственное распределение электрона в атоме водорода

8. Оператор магнитного момента частицы. Движение заряда в однородном магнитном поле. Уровни Ландау. Атом водорода в однородном магнитном поле. Расщепление уровней энергии на подуровни. Нормальный эффект Зеемана.

9. Опыт Штерна и Герлаха. Гипотеза о спине электрона. Собственный магнитный момент. Орбитальный магнитный момент. Нормальное и аномальное гиромангнитное отношение. Спин $\frac{1}{2}$. Математическая формулировка гипотезы о спине. Матрицы Паули, их свойства. Волновая функция частицы со спином $\frac{1}{2}$.

10. Стационарная теория возмущений. Поправки к энергии и собственным функциям гамильтониана. Теория возмущений. Задача с двумя уровнями. Вариационный метод в квантовой механике. Квантовая теория тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Уравнение Хартри-Фока.

IV Статистическая физика

1. Термодинамические величины. Эмпирическая температура. Первое и второе начало термодинамики. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц.

2. Фазовые переходы. Классификация фазовых переходов. Равновесие в гомо- и гетерогенных системах. Правило фаз Гиббса. Формула Клапейрона—Клаузиуса. Уравнения Эренфеста. Фазовая Теория Ландау.

3. Основные принципы классической статистической физики. Функция распределения. Теорема Лиувилля. Эргодическая гипотеза. Микроканоническое распределение Гиббса. Каноническое распределение Гиббса. Изобаро-изотермическое распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Распределения Максвелла и Больцмана. Закон равнораспределения средней кинетической энергии по степеням свободы. Теорема о вириале. Классическая теория теплоемкости идеальных газов и кристаллических твердых тел. Излучение абсолютно черного тела. Формула Релея-Джинса.

4. Матрица плотности. Квантовое уравнение Лиувилля. Квантовые распределения Гиббса. Квантовое каноническое распределение для гармонического осциллятора, идеального газа двухатомных молекул.

5. Идеальные квантовые газы. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Вырожденный идеальный ферми-газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа в металлах. Твердые тела. Кристаллические структуры. Зонная структура. Колебания кристаллической решетки. Теория Дебая. Фононы. Теплоемкость кристаллического диэлектрика. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе—Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Фотонный газ. Формула Планка.

6. Слабонеидеальный газ бозонов. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Электрон-фононное взаимодействие. Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Метод Боголюбова. Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

7. Флуктуации. Флуктуации основных термодинамических величин. Использование канонических распределений. Корреляционные функции и флуктуации плотности. Квазитермодинамическая теория флуктуации.

8. Основные идеи классической неравновесной статистической физики. Метод сокращенного описания неравновесных состояний Боголюбова. Корреляционные функции. Цепочка уравнений Боголюбова. Электронная плазма. Самосогласованное поле. Уравнение Власова. Плазменные колебания. Дебаевское экранирование. Уравнение Больцмана. H-теорема. Кинетическое уравнение с релаксационным членом. Расчет коэффициентов диффузии, теплопроводности и электропроводности на основе кинетического уравнения с релаксационным членом.

9. Квантовое кинетическое уравнение Паули. Релаксация системы спинов и двухуровневых атомов.

V Квантовая оптика

1. История создания квантовой теории. Квантовые состояния и наблюдаемые. Эрмитовы операторы. Измерения. Принцип суперпозиции. Парадокс Шредингеровского кота. Уравнение Шредингера. Гамильтониан и оператор эволюции. Уравнение Шредингера, зависящее от времени, и временная динамика.

2. Картины динамики Шредингера, Гейзенберга и Дирака (картина взаимодействия). Временная теория возмущений. Интегралы по траекториям Р. Фейнмана. Временная динамика нейтральной частицы со спином в переменном магнитном поле. Чистые и смешанные состояния поляризации. Матрица плотности, хаотические и тепловые состояния. Полная и частичная когерентность.

3. Теория взаимодействия атомных систем с электромагнитным полем. Гамильтониан поля, взаимодействующего с атомами. Полуклассическая теория взаимодействий. Метод нестационарной теории возмущений. Периодические во времени квантовые гамильтонианы и квазиэнергетические состояния. Концепция геометрической фазы Берри и ее расчет для спина в прецессирующем магнитном поле. Фаза Ааронова - Анандона. Геометрическая фаза для многоуровневых атомов.

4. Квантование свободного э/м поля и поля в резонаторах и волноводах. Фоковские состояния. Глауберовские когерентные состояния и их свойства. Представление электромагнитного поля по когерентным состояниям. Сжатые состояния и сжатый свет. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Модель Джейнса-Каммингса и её обобщения. Квантовая модель Дикке и фазовый переход в сверхизлучающее состояние.

5. Теория возмущений и многофотонные процессы. Уравнение Дайсона и диаграммная техника. Квазиэнергии в методе функций Грина. Однофотонный резонанс в двухуровневом атоме. Сдвиги и ширины атомных уровней в сильном лазерном поле. Оптическая нутация в двухуровневом атоме. Ионизация атомов в сильном лазерном поле. Теория Келдыша. Распад возбужденного состояния атома в волноводе.

6. Квантовая релаксация и декогеренция. Гипотеза необратимости и редуцированная матрица плотности. Квантовое кинетическое уравнение. Релаксация квантового осциллятора. Метод уравнения Фоккера – Планка. Квантовый затухающий осциллятор как модель детектора фотонов. Релаксация двухуровневого атома (кубита). Релаксация кубита в «сжатом» термостате. Релаксация в системе кубитов.

7. Квантовая оптика как основа современной квантовой информатики. Неравенства Белла. Мера информации. Энтропия Шеннона. Энтропия фон Немана. Информация Холева. Зацепленные состояния. Невозможность клонирования квантовых состояний. Квантовая нелокальность и “квантовая телепортация”. Эксперименты Цайлингера и парадоксы ЭПР.

8. Квантовые регистры. Однокубитовые элементы. Двухкубитовые состояния и операторы. Квантовая коррекция ошибок. Квантовое Фурье – преобразование. Алгоритмы Шора и Китаева. Декогеренция и ограничения квантовых вычислений. Квантовые резервуары. Квантовая коррекция ошибок. Квантовые вычисления «терпимые к ошибкам».

9. Возможные физические реализации квантовых компьютеров Ионные ловушки. Ядерный магнитный резонанс. Высокодобротные квантово-оптические резонаторы. Атомные конденсаты. Эффект Джозефсона и кубиты на основе сверхпроводящих элементов. Квантовые точки. Квантовые чипы.

VI Квантовая теория поля

1. Группы и подгруппы. Группа Ли. Гомоморфизм, изоморфизм и автоморфизм групп. Компактные и некомпактные группы Ли. Линейное представление группы. Генераторы группы Ли. Алгебра Ли. Подалгебра. Прямое произведение групп. Связные и несвязные группы. Линейное представление алгебры. Присоединённые представления группы и алгебры Ли.

2. Общие принципы построения лагранжиана взаимодействия. Принцип локальной калибровочной инвариантности. Модели теорий поля с локальной $U(1)$ симметрией. Электромагнитное поле как калибровочное.

3. Модели теории поля с локальной $SU(N)$ симметрией. Калибровочные поля Янга-Миллса. Закон преобразования полей Янга-Миллса. Лагранжиан Янга-Миллса. Этапы построения калибровочной модели взаимодействующих полей. Калибровочная модель взаимодействующих кварковых полей с локальной $SU(N)$ симметрией.

4. Спонтанное нарушение симметрии в модели двух вещественных скалярных полей и в модели комплексного скалярного поля. Линейная сигма-модель. Модель Хиггса. Генерация масс векторных бозонов для поля с абелевой калибровочной симметрией.

5. Классические и квантовые скобки Пуассона. Каноническое уравнение движения. Основной постулат квантования полей. Уравнение Гейзенберга для полей. Физический смысл положительно- и отрицательно-частотных частей операторов свободных полей.

6. Каноническое квантование и фоковское пространство. Определение вакуума. Представление вторичного квантования. Коммутационные соотношения операторов рождения и уничтожения для гармонического осциллятора. Фоковское пространство произвольного числа частиц различных сортов.

7. Перестановочные соотношения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Трансляционная инвариантность перестановочных функций. Интерпретация полевых операторов комплексных полей.

8. Определение перестановочных соотношений с целым и полуцелым спином. Теорема Паули. Перестановочная функция Паули-Йордана. Её свойства и связь с фейнмановским пропагатором.

9. Квантование свободного векторного поля. Положительно- и отрицательно-частотные части квантованного векторного поля. Коммутационные соотношения для операторов векторного поля. Полная перестановочная функция векторного поля.

10. Перестановочные функции различных свободных полей. Функции Грина. Причинные функции Грина различных полей.

11. Нормальная форма операторов и нормальное произведение операторов. Матрица рассеяния. Представление S-матрицы в виде дайсоновой T-экспоненты. Хронологические спаривания. Теоремы Вика. Структура членов разложения S- матрицы в ряд теории возмущения. Диаграммы Фейнмана в КЭД в координатном и импульсном представлениях.

Основная литература

1. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. – М.: Издательство Московского университета, 1978.

2. Павленко Ю.Г. Лекции по теоретической механике. – Наука, 2001.

3. Нольтинг В. Курс теоретической физики. Классическая механика. – М.: URSS, 2021.

4. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н., Современная электродинамика. Часть 1. Микроскопическая теория. Москва – Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2002. Часть 2. Макроскопическая теория. Москва – Ижевск. Институт компьютерных исследований. 2005.

5. Бредов М.М., Румянцев В.В. Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. – М.: Наука, 2003.

6. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высшая школа, 1990.

7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1988. (Гриф Минобразования).

8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.

9. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 1: Теория равновесных систем: Термодинамика. – М.: URSS, 2002.

10. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 2: Теория равновесных систем: Статистическая физика. – М.: URSS, 2002.

11. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3: Теория неравновесных систем. – М.: URSS, 2003.

12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая Физика в 10 томах. Том 5. Статистическая Физика. Ч.1. – М.: Физматлит, 2002.

13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая Физика в 10 томах. Том 9. Статистическая Физика. Ч.2: Теория конденсированного состояния. – М.: Физматлит, 2004.

14. Базаров И.П. Термодинамика. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991.

15. Клаудер Дж., Сударшан Э. Основы квантовой оптики. – М.: Мир, 1970.

16. Коварский В.А., Перельман Н.Ф., Авербух И.Ш. Многоквантовые процессы. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

17. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000.

18. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

19. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

20. Килин С.Я. Квантовая оптика: Поля и их детектирование. – М.: Едиториал, 2003.

21. Омелянчук А.Н., Ильичев Е.В., Шевченко С.Н. Квантовые когерентные явления в Джозефсоновских кубитах. – Киев. Наукова Думка. 2013.

22. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. - Т. 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория. Теоретическая фи. – М.: Физматлит, 2002. Т. 3. - 803 с.

23. Иродов И. Е. Квантовая физика. Основные законы. - М.: Бином. Лаб. знаний, 2007. - 256 с.
24. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела: учебное пособие. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 355 с.
25. Пескин М.Е., Шрёдер Д.В. Введение в квантовую теорию поля. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
26. Бьёркен Дж.Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Т. 2: Релятивистские квантовые поля. — М.: Наука, 1978.
27. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Квантовая теория: Введение в теорию квантованных полей. — М.: Наука, 2008.
28. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т. 1: Общая теория. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
29. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т. 2: Современные приложения — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

Дополнительная литература

1. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. – М.: Физматлит, 2001.
2. Яковенко Г.Н. Краткий курс аналитической динамики. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004.
3. Павленко Ю.Г. Задачи по теоретической механике. – М.: Наука, 2002.
4. Коткин Г.Л., Сербо В.Г. Сборник задач по классической механике. – М.: Наука, 2021.
5. Мартыненко А.П. Задачи по теоретической механике и механике сплошных сред. – Изд-во: Самарский университет, Самара, 2007.
6. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н., Сборник задач по электродинамике. М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002.
7. Горохов А.В. Электродинамика. Методические указания для студентов 3 курса. – Изд-во: КуГУ, Куйбышев, 1989.
8. Горохов А.В. Теория относительности. Учебное пособие. Самара. – Изд-во: Универс групп, 2008.
9. Башкиров Е.К., Горохов А.В. Введение в квантовую оптику. Часть 1. – Изд-во: Самарский университет, Самара, 2013.
10. Горохов А.В. Принципы симметрии и квантовая динамика. – Изд-во: Самарский университет, Самара, 2015.
11. Башкиров Е.К., Горохов А.В. Когерентные процессы в квантовой оптике. – Изд-во: СамНИЦ РАН, Самара, 2015.
12. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика.
13. Теория равновесных систем. – М.: МГУ, 1986.
14. Базаров И. П. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. – М.: МГУ, 1989.
15. Пухов А.А. Лекции по статистической физике. – Москва: МФТИ, 2019.
16. Краснопевцев Е.А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем. – Новосибирск, НГТУ, 2017.
17. Галицкий В.М. Задачи по квантовой механике. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 880 с.
18. Ляховский В.Д., Болохов А.А. Группы симметрии и элементарные частицы. – М.: ЛЕНАНД, 2016.
19. Ченг Т.-П., Ли Л.-Ф. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. – М.: МИР, 1987.
20. Славнов А. А., Фаддеев Л.Д. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. – М.: ЛЕНАНД, 2017.

Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Оптика»

I Электромагнитная теория света

1. Уравнения Максвелла. Векторы электрической и магнитной напряженности и индукции, связь между ними в изотропных средах. Вектор Умова-Пойнтинга. Понятие о показателе преломления и его связи с диэлектрической постоянной и магнитной проницаемостью. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Свойства гауссова пучка.

2. Поляризация света. Различные состояния поляризации. Частично поляризованный и естественный свет. Степень поляризации.

3. Законы отражения и преломления света на границе двух изотропных диэлектрических сред. Формулы Френеля для коэффициентов отражения и пропускания. Полное внутреннее отражение. Двойное лучепреломление. Коническая рефракция.

4. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Отражение света от поверхности проводника.

II Геометрическая оптика и теория оптических изображений

1. Общие свойства лучей. Основные теоремы геометрической оптики. Параксиальная оптика. Хроматическая абберация. Фотометрия. Апертуры оптических систем. Метод построения хода лучей. Метод построения хода лучей.

2. Волновые и лучевые абберации; функция аббераций. Первичные абберации (абберации Зайделя). Хроматическая абберация произвольной центрированной системы линз. Зрачки, люки, апертурные и полевые диафрагмы.

3. Глаз и его свойства. Основные оптические приборы: зрительная труба, микроскоп. Основные элементы оптических устройств: объективы, окуляры.

4. Методы расчета оптических систем, включающих градиентные и дифракционные элементы: расчет хода лучей.

III Когерентность света и интерференционные явления

1. Классические интерференционные опыты. Влияние размеров источника света. Пространственная когерентность. Влияние немонохроматичности света. Временная когерентность. Взаимная функция когерентности и комплексная степень когерентности. Теорема Ван-Циттера-Цернике.

2. Двухлучевая и многолучевая интерференция. Сдвиговая и спекл-интерферометрия. Интерферометр Фабри - Перо.

IV Дифракция света

1. Теория дифракции Кирхгофа. Дифракция Френеля. Дифракция Фраунгофера на отверстиях различной формы. Дифракционная решетка. Особенности дифракции некогерентного излучения.

2. Обратные задачи теории дифракции. Синтез оптических элементов. Дифракционные оптические элементы.

V Запись и обработка оптической информации

1. Механизм записи и воспроизведения волновых полей с помощью двумерных и трехмерных голограмм. Голограммы Фурье. Цветное объемное изображение. Цифровые голограммы. Голографическая интерферометрия.

2. Линза как элемент, осуществляющий преобразование Фурье. Пространственная фильтрация изображений, формируемых линзой.

VI Теория излучения и взаимодействия световых волн с веществом

1. Классическая теория дипольного излучения. Поле излучения и мощность классического осциллятора. Затухание вследствие излучения и естественная ширина спектральных линий. Ширина спектральных линий, обусловленная столкновениями и эффектом Доплера.

2. Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Воздействие на атом полем световой волны. Оптический эффект Штарка. Дисперсионные соотношения Крамерса - Кронига.

3. Фотонная структура процессов излучения и взаимодействия. Законы теплового излучения. Формула Планка. Фотоэффект. Квантование поля. Однофотонные процессы.

4. Нелинейные восприимчивости. Распространение волн в нелинейной среде. Метод медленно меняющихся амплитуд. Условие согласования фаз. Генерация оптических гармоник. Самофокусировка света. Вынужденное комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Обращение волнового фронта.

VII Спектроскопия

1. Спектры атомов. Систематика спектров многоэлектронных атомов. Типы связи электронов. Правила отборов для оптических переходов. Сверхтонкая структура и изотропический сдвиг. Действие на атом магнитного и центрического полей.

2. Спектры молекул. Разделение энергии различных видов движений в молекуле. Вращательные спектры двухатомных молекул. Колебательные спектры двухатомных молекул. Энергия диссоциации. Электронно-колебательные переходы. Принцип Франка - Кондона. Спектроскопия твердого тела. Переходы под воздействием света в идеальном кристалле. Экситоны. Поляритоны.

3. Спектры люминесценции. Законы люминесценции.

VIII Оптика лазеров

1. Принцип работы лазеров. Схемы накачки. Теория Лэмба.

2. Оптические резонаторы устойчивой и неустойчивой конфигурации. Моды резонаторов. Селекция мод.

3. Основные типы лазеров. Твердотельные лазеры на примесных кристаллах и стеклах. Лазеры на центрах окраски. Газовые лазеры на нейтральных атомах, ионные, молекулярные, на парах металлов. Лазеры на эксимерах. Лазеры на красителях. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Плазменные лазеры.

4. Пичковый режим генерации. Модуляция добротности и генерация гигантских импульсов. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Стабилизация и перестройка частоты генерации.

IX Волновые процессы и нелинейная оптика

1. Оптоэлектронные элементы. Светодиоды и инжекционные лазеры. Фотоприемники. Модуляторы и дефлекторы света. Система оптической памяти.

2. Волоконная оптика. Моды оптического волокна со ступенчатым профилем показателя преломления. Типы волоконных световодов. Градиентные волокна.

3. Фурье-оптика волновых пучков и импульсов: управление фазой световых колебаний в пространстве и во времени, формирование пучков и импульсов с заданной структурой. Фурье-оптика и оптическая обработка информации.

Основная литература

1. Саржевский А.М. Оптика. Полный курс. – М.: Едиториал УРСС, 2011 г. – 608 с.
2. Дифракционная оптика и нанофотоника / Под ред. В.А. Соифера. – М.: Физматлит, 2014. – 608 с.
3. Филонин О.В. Общий курс компьютерной томографии. – Самарский научный центр, Самара, 2012. – 407 с.
4. Волостников В.Г. Методы анализа и синтеза когерентных световых полей. – М.: Физматлит, 2014. – 254 с.
5. Котляр В.В., Ковалев А.А. Вихревые лазерные пучки. – ИСОИ РАН, Самара, 2012. – 248 с.
6. Пятницкий Л. Н. Волновые бесселевы пучки. – М.: Физматлит, 2012. – 408 с.
7. Котляр В.В., Ковалев А.А. Ускоряющиеся и вихревые лазерные пучки. – М.: Физматлит, 2018. – 252 с.
8. Котляр В.В., Ковалев А.А., Хонина С.Н. Вращающиеся вихревые лазерные пучки. – М.: Физматлит, 2021. – 240 с.

**Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине
«Физика конденсированного состояния»
(физико-математические науки)**

I Структура и симметрия конденсированных сред

1. Конденсированные среды. Аморфные и кристаллические твердые тела. Ближний и дальний порядок. Функция радиального распределения атомов. Элементы симметрии. Точечные группы (классы) симметрии. Пространственные группы симметрии. Основные структурные типы кристаллов.

2. Твердые тела, их классификация и основные свойства. Пространственная и кристаллическая решётка. Базис кристаллической решетки. Правила выбора элементарной ячейки Бравэ. Кристаллические системы (сингонии) кристаллов. Индексы узлов, направлений и плоскостей. Кристаллографическая зона. Ось зоны. Условие зональности.

3. Основные формулы структурной кристаллографии. Определение межплоскостных расстояний в кристаллографических системах. Объём элементарной ячейки. Угол между двумя плоскостями, двумя направлениями, между осями координат и прямой в прямоугольной системе координат.

4. Атомные и ионные радиусы. Плотнейшие упаковки частиц в структурах. Пустоты плотнейших упаковок. Координационное число, число атомов в ячейке и плотность упаковки структур. Стехиометрическая формула вещества.

5. Типы связи в структурах. Изоморфизм. Полиморфизм. Политипия. Фазовые переходы.

II Физическое материаловедение

1. Кристаллизация. Гомогенная и гетерогенная кристаллизация. Кристаллизация при быстром охлаждении. Влияние растворимых и нерастворимых примесей на процессы кристаллизации. Дефекты роста при кристаллизации. Блоки мозаичной структуры, фрагменты.

2. Фазовые превращения при затвердевании. Физическая природа фаз, твердые растворы, химические соединения и промежуточные фазы. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Термодинамика процесса упорядочения. Упорядоченные твердые растворы (сверхструктуры), промежуточные фазы. Основные типы твердых растворов. Фазы с ионным, ковалентным и металлическим типами связи.

3. Диаграммы состояния. Равновесие в многокомпонентных системах. Фаза, система, компонент. Построение диаграмм состояния, каноды, фигуративные точки. Диаграмма состояния с неограниченной растворимостью компонентов, кривые охлаждения. Эвтектические, перитектические и эвтектоидные диаграммы состояния. Диаграммы состояния с промежуточной фазой. Правило фаз Гиббса. Диаграмма состояний железо-углерод. Тройные диаграммы состояния.

4. Термическая обработка и классификация ее видов. Закалка сплавов, старение, отпуск. Химико-термическая и термо-механическая обработки. Рекристаллизация, температурный порог рекристаллизации. Мартенситные превращения. Термические обработки материалов с различной растворимостью при низких и высоких температурах. Зависимость скорости зарождения центров кристаллизации и роста кристаллов от температуры.

5. Композиционные материалы. Классификация композиционных материалов. Технологии изготовления композиционных материалов.

6. Аморфные твердые тела и покрытия. Кинетика аморфизации. Механические, коррозионные, электрические и магнитные свойства аморфных материалов. Способы получения аморфных материалов и покрытий. Способы обработки металлических поверхностей.

7. Наноматериалы. Особенности физических взаимодействий на наномасштабах. Роль объема и поверхности в формировании физических свойств наноразмерных объектов. Структура и свойства наноматериалов. Строения фуллеренов, графенов и нанотрубок. Многослойные наноструктуры из сверхтонких слоев. Нанотехнологии. Применение наноматериалов.

III Электронные свойства твердых тел

1. Типичные физические свойства металлов: закон Ома, электропроводность, теплопроводность, закон Франца-Видемана, температурная зависимость электропроводности, магнитная восприимчивость, эффект Холла, термогальваномагнитные свойства, осцилляционные эффекты, магнитосопротивление.

2. Классическая модель металла. Основные положения теории Друде. Температурная зависимость электропроводности, теплоёмкость классического электронного газа, закон Франца-Видемана и парамагнитная восприимчивость электронного газа по классической теории.

3. Квантомеханическая модель металла в приближении идеального Ферми-газа. Вырождение электронного газа и его физический смысл. Идеальный Ферми-газ в трехмерном потенциальном ящике. Циклические условия Борна-Кармана. Волновые функции, энергия и импульс электронов идеального Ферми-газа в трехмерном потенциальном ящике. Вычисление энергии Ферми. Поверхность Ферми. Импульс Ферми. Плотность состояний. Температурная зависимость энергии Ферми. Теплоёмкость идеального Ферми-газа. Квантомеханический анализ спиновой парамагнитной восприимчивости электронного газа в металлах. Электропроводность металлов в модели идеального Ферми-газа. Уравнение состояния идеального Ферми-газа. Сжимаемость идеального Ферми-газа. Критерий идеальности электронного газа. Понятие о Ферми-жидкости. Плазменные колебания.

4. Общие приближённые методы электронной теории твердого тела. Квантово-механическая формулировка задачи. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри - Фока. Вычисление самосогласованного поля. Определитель Слеттера. Уравнение Хартри - Фока. Обменное взаимодействие.

5. Электрон в периодической решетке кристалла. Периодическое поле решетки кристалла. Теорема Блоха. Квазиимпульс электрона. Связь квазиимпульса с импульсом. Оператор ускорения и его свойства. Нормировка волновой функции электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. Ячейка Вигнера-Зейтца. Циклические условия Борна - Кармана. Эффективная масса электрона. Физический смысл и измерение эффективной массы. Понятие дырки.

6. Приближение слабосвязанных электронов. Зонная структура энергетического спектра электронов. Построение зон Бриллюэна. Приближение сильносвязанных электронов. Зонная структура энергетического спектра электронов.

7. Электронные свойства металлов в концепции квазичастиц. Электронная Ферми-жидкость. Концепция квазичастиц Ландау. Квазичастицы в изотропной Ферми-жидкости. Затухание квазичастиц. Анизотропная Ферми-жидкость. Топология поверхностей Ферми. Электронная теплоёмкость в концепции квазичастиц.

8. Процессы рассеяния и электропроводность металлов. Рассеяние электронов на примесях. Экранирование примесей. Параметры экранирования. Электрон-электронное рассеяние. Электрон-фононное рассеяние. Правило Матиссена.

IV Фазовые превращения в конденсированных системах

1. Термодинамика фазовых превращений. Термодинамические потенциалы и условия равновесия. Механическое, тепловое и материальное взаимодействие фаз. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы 1 и 2 рода. Феноменологическая теория фазовых переходов 2-го рода Ландау. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Изменение симметрии при фазовых переходах.

2. Статистическая теория фазовых превращений в бинарных твердых растворах. Энергия связи твердого тела в приближении парного взаимодействия в приближении Гейзенберга. Энтропия смешения. Концентрационная зависимость термодинамического потенциала твердого раствора. Основные диаграммы фазовых состояний бинарных систем.

3. Модель фазовых переходов типа атомных смещений. Связанные колебания трехмерных атомных решеток. Теория теплоемкости твердых тел. Фазовые переходы типа порядок-беспорядок. Статистическая теория ближнего порядка. Модель Изинга.

4. Фазовые превращения в твердом состоянии. Стабильность фаз и механизмы фазовых превращений в твердом состоянии. Роль межфазной границы при фазовых превращениях.

Бездиффузионные и диффузионные фазовые превращения. Распад твердого раствора. Спинодальный распад. Концентрационные напряжения.

5. Твердофазные реакции. Массоперенос и фазовые превращения в сложных системах, инициируемые деформацией. Механическое сплавление (механоактивация). Ионная имплантация. Твердофазные реакции аморфизации.

6. Мартенситные превращения. Роль энергии упругой деформации и межфазовой поверхностной энергии в формировании микроструктуры. Кристаллогеометрия превращений в сплавах железа. Морфологические типы мартенсита. Кристаллографические (феноменологические) теории мартенситного превращения. Обратимое мартенситное превращение, мартенситные реакции и особые свойства материалов. Эффект памяти формы (ЭФП). Материалы с ЭФП. Сверхупругость. Полиморфные превращения в металлах и сплавах. Изменение свойств материалов при превращениях.

7. Сверхпроводящие свойства металлов. Термодинамика сверхпроводников. Теория Лондонов. Основные идеи микроскопической теории сверхпроводимости. Критерий сверхтекучести. Фононное притяжение. Куперовское спаривание. БКШ-теория.

8. Экспериментальные методы исследования фазовых переходов в конденсированных средах. Металлография. Фрактография. Микро- и наноиндентирование. Термографический анализ. Дилатометрия. Рентгенофазовый анализ и рентгеновская дифрактометрия. Высокотемпературная рентгенография. Нейтронография. Малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние. Диффузное рентгеновское рассеяние. Электронная микроскопия и ее разновидности. Электронная дифракция. Магнитометрия. Компьютерное моделирование.

V Дифракционные методы структурного анализа конденсированных сред

1. Физические свойства рентгеновских лучей. Сплошной и характеристический спектры рентгеновских лучей и их закономерности.

2. Поглощение и рассеяние рентгеновских лучей электроном, атомом, молекулой и средой. Классическое и квантовое рассеяние. Фотоэлектронное поглощение. Ионизация конденсированной среды под действием рентгеновских лучей. Основной закон ослабления интенсивности рентгеновских лучей. Массовые коэффициенты ослабления, поглощения и рассеяния. Зависимость коэффициентов ослабления от длины волны излучения и от атомного номера облучаемого материала. Скачок в изменении коэффициента поглощения.

3. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической структуре. Кинематическое и динамическое приближение в теорий дифракции рентгеновских лучей. Уравнение Лауэ. Уравнение Вульфа-Бреггов и его интерпретация. Связь уравнений Лауэ и Вульфа-Бреггов. Прямая и обратная решётки кристалла. Вектор обратной решетки и его свойства. Интерпретация дифракционной картины с помощью сферы Эвальда.

4. Интенсивность интерференционных максимумов и факторы её определяющие. Рассеяние рентгеновских лучей атомом и кристаллом. Структурная амплитуда. Структурный фактор. Формулы интенсивности для типичных случаев. Интенсивность отражения для идеального кристалла. Законы погасаний.

5. Интенсивность рассеяния рентгеновского излучения искаженными кристаллами. Интенсивность рассеяния искаженными кристаллами. Статистические и динамические искажения решетки и их влияние на рассеяние рентгеновских лучей. Тепловой множитель. Фактор повторяемости. Угловой множитель интенсивности (фактор Лоренца). Абсорбционный фактор.

6. Методы дифракционных структурных исследований. Метод Дебая–Шеррера (метод порошков). Интерпретация дифракционной картины в терминах обратной решётки. Форма и ширина рентгеновской дифракционной линии. Расшифровка дебаеграмм. Метод Лауэ. Интерпретация метода Лауэ в терминах обратной решётки. Индексирование пятен лауэграммы. Задачи, решаемые методом Лауэ. Ориентация монокристаллов. Метод вращения кристаллов. Аппаратура и геометрия съёмки. Представление метода в терминах обратной решётки. Индексирование рентгенограмм вращения. Дифрактометрия поли- и монокристаллов. Расшифровка дифрактограмм. Метод диффузного фона. Рентгеновская спектрометрия.

Рентгеновские спектрометры с двойным и тройным кристаллами. Синхротронное излучение и его применение.

VI Рентгенография конденсированных сред

1. Классификация текстур. Полюсные фигуры. Рентгенография текстур. Связь между рентгенограммой и полюсной фигурой.

2. Рентгеновский анализ деформированных твердых тел.

3. Рентгеноструктурные методы определения остаточных напряжений. Напряжения 1, 2, 3 рода. Методы определения остаточных напряжений.

VII Диффузия в твердых телах

1. Уравнения диффузии. Коэффициенты диффузии. Основные решения уравнения диффузии. Температурная зависимость коэффициентов диффузии. Феноменологическая теория диффузии. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Эффект Киркендалла.

2. Механизмы диффузии. Диффузия и случайные блуждания. Эффекты корреляции. Изотопный эффект. Связь параметров диффузии с характеристиками вакансий.

3. Особенности диффузии в моно- и поликристаллах. Диффузия по границам зерен. Диффузия по дислокациям. Диффузия в наноматериалах. Экспериментальные методы исследования диффузии по дефектам. Поверхностная диффузия.

4. Экспериментальные методы исследования диффузии. Методы снятия слоев и радиометрический анализ. Рентгенографические методы. Резонансные методы.

5. Диффузия в поле внешних сил. Радиационно-стимулированная диффузия. Электроперенос. Диффузия в магнитных полях.

VIII Электродинамика магнетиков

1. Классификация магнетиков. Диамагнетики. Природа диамагнетизма. Теорема Лармора. Независимость диамагнитной восприимчивости от температуры. Парамагнетики. Природа намагничивания. Зависимость парамагнитной восприимчивости от температуры. Диамагнетизм и парамагнетизм твердых тел. Магнитные моменты свободных атомов. Магнитные моменты молекул. Магнетизм, обусловленный свободными электронами. Парамагнитный резонанс. Ферромагнетики. Кривая намагничивания и петля гистерезиса. Кривая магнитной проницаемости.

2. Ферромагнитные материалы. Основные подходы теории ферромагнетизма. Магнитострикция ферромагнетиков. Температурная зависимость магнитострикции. Молекулярное поле Вейсса. Антиферромагнетизм. Температурная зависимость восприимчивости антиферромагнетиков от температуры. Ферромагнетизм. Температурная зависимость восприимчивости ферромагнетиков от температуры. Ферромагнитные домены. Магнитный резонанс.

3. Обменное взаимодействие в ферромагнетиках. Энергия обменного взаимодействия. Закон Кюри-Вейсса. Спиновые волны. Магнитная кристаллографическая анизотропия.

4. Поведение магнетиков в стационарных магнитных полях. Намагничивание магнетиков. Молекулярные токи и токи проводимости. Дифференциальные уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Напряженность магнитного поля в магнетиках и вектор магнитной индукции. Зависимость намагничивания от напряженности магнитного поля.

5. Пондемоторные силы, испытываемые постоянными магнитами во внешнем магнитном поле. Неоднородный (диффузионный) магнитный контакт в постоянном магнитном поле. Поведение нормальной и тангенциальных составляющих напряженности и индукции магнитного поля в контакте ферро-парамагнетик.

6. Поведение магнетиков в переменных магнитных полях. Доменная структура ферромагнетика. Температурная зависимость размеров доменов и доменных стенок. Перемагничивание. Движение доменных стенок. Магнитный гистерезис и магнитное последствие. Ферромагнитный резонанс. Ферримагнитный резонанс. Резонанс и релаксация доменных границ.

7. Спиновые волны. Электродинамика плоских волн. Магнитоэлектрические волны. Обменные спиновые волны. Стоячие спиновые волны. Спиновые волны в антиферромагнетиках.

IX Основы метода электронной микроскопии

1. Основные типы электронных микроскопов: просвечивающий, сканирующий, эмиссионный, электронный и ионный проекторы, просвечивающий растровый электронный микроскоп. Зондовая микроскопия. Рамановская микроскопия. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) и его применение в материаловедении. Сканирующие акустические микроскопы. Оптическая микроскопия ближнего поля. Амплитудный и фазовый контраст. Электронная микроскопия высокого разрешения.

2. Дифракция электронов. Атомная амплитуда рассеяния электронов. Сравнение с дифракцией рентгеновских лучей. Построение электронограмм заданной ориентировки для простых решеток. Особенности дифракции электронов, отличия от рентгеновской дифракции.

3. Кинематическая и динамическая теория контраста. Ограничения кинематической теории электронного контраста. Две возможные формулировки теории. Основные уравнения динамической теории. Методы расчета контраста от структурных несовершенств.

4. Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Устройство РЭМ. Преимущества и недостатки по сравнению с просвечивающими ЭМ. Анализ энергетических потерь электронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже - спектроскопия.

5. Конфокальная лазерная сканирующая микроскопия. Принципы лазерной конфокальной сканирующей микроскопии. Оптика конфокального микроскопа. Анализ тонких пленок и волокнистых материалов.

6. Сканирующая зондовая микроскопия. Устройство туннельного микроскопа. Атомно-силовая микроскопия. Режимы работы туннельных и атомно-силовых микроскопов. Обзор типов зондовых микроскопов.

Основная литература

1. Физика магнитных материалов и наноструктур / Под ред. В.В. Устинова, Н.В. Мушникова, В.Ю. Ирхина. – Екатеринбург: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, 2020. – 664 с.

2. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния: учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 293 с.

3. Диффузионные процессы в твердых телах: учеб. пособие / А.В. Покоев, Ю.В. Осинская. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2012. – 160 с.

4. Мерер Х. Диффузия в твердых телах: монография, пер. с англ. – М.: Издательство Интеллект, 2011, 536 с.

5. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готтштайн; пер. с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина; под ред. В.П. Зломанова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 400 с.

6. Василевский А.С. Физика твердого тела: учеб. Пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2010.

7. Матухин В.Л., Ермаков В.Л. Физика твердого тела: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2010. – 218 с.

8. Методы исследований в экспериментальной физике: учеб. пособие для вузов / М.И. Пергамент. – Долгопрудный [М.]: Интеллект, 2010. – 304 с.

9. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы / Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.

10. Струк В.А., Пинчук Л.С., Мышкин Н.К., Гольдаде В.А., Витязь П.А. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: Учебное справочное руководство – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 536 с.

Дополнительная литература

1. Осинцев О. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. Фазовые равновесия в сплавах. – М.: Машиностроение, 2009. – 352 с.
2. Прудников В.В., Вакилов А.Н., Прудников П.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 224 с.
3. Шешин Е.П. Вакуумные технологии: Учебное пособие / Е.П. Шешин – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. – 504 с.
4. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников: учеб. пособие для вузов /3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2008. – 618 с.
5. Арзамасов Б.Н., Макаров В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаева В.И. Материаловедение: Учебник для вузов / Под общей редакцией Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.
6. Гинзбург. И.Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2007. – 544 с.
7. Кларк Э.Р., Эберхардт К.Н. Микроскопические методы исследования материалов. М.: Техносфера, 2007. – 376 с.
8. Гусев А.И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле. – М.: Физматлит, 2007. – 856 с.
9. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 784 с.
10. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. / Под редакцией Л.А. Асланова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 672 с.
11. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 384 с.
12. Бокштейн Б.С., Ярославцев А.Б. Диффузия атомов и ионов в твердых телах. – М.: МИСИС, 2005.
13. Кристаллография: лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / Под ред. Е.В. Чупрунова. – М.: Физико-математическая литература, 2005. – 412 с.
14. Кристаллография и кристаллохимия: учебник для вузов / Ю.К. Егоров-Тисменко. – М.: КДУ, 2005. – 592 с.
15. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 512 с.
16. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. – М.: Физматлит, 2005. – 232 с.
17. Киттель Ч. Элементарная физика твердого тела. М.: Наука, 2005.
18. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: Учебное пособие для вузов. – М.: Техносфера, 2004. – 144 с.
19. Основы кристаллографии: Учебник для вузов / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фадеев. – М.: Физматлит, 2004. – 500с.
20. Углеродные нанотрубы и родственные структуры: Новые материалы XXI века / П. Харрис; Пер. с англ. под ред. и с доп. Л.А. Чернотатонского. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.
21. Тамм Е.И. Основы теории электричества: Учебное пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2003.
22. Уманский Я.С. и др. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – М.: МИСИС, 2002.
23. Ципенюк Ю.М. Физические основы сверхпроводимости. М.: Изд-во МФТИ, 2002. – 160 с.

24. Боков В.А. Физика магнетиков: Учеб. Пособие для вузов / ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2002.
25. Горелик С.С. и др. Рентгенографический и электроннооптический анализ: учебное пособие для вузов. – М., 2002.
26. Петров В.И., Лукьянов А.Е. Сканирующая микроскопия Ч. 1. – М.: Физич. фак-т МГУ, 2001. – 108 с.
27. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела: Учеб. пособие для вузов. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2001. – 336 с.
28. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.
29. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2000.
30. Электронные свойства дислокаций в полупроводниках. / Под ред. академика Ю.А. Осипьяна. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 320 с.

**Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине
«Физика конденсированного состояния»
(технические науки)**

I Силы связи в твердых телах

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.

3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

II Симметрия твердых тел

1. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

2. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

3. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

III Дефекты в твердых телах

1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

2. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации

IV Дифракция в кристаллах

1. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

2. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

3. Методы рентгеноструктурного анализа

V Колебания решетки

1. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов.

2. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания.

3. Квантование колебаний. Фононы.

4. Электрон-фононное взаимодействие.

VI Механические свойства твердых тел

1. Характеристики упругости. Закон Гука. Энергия деформированного кристалла. Механизмы релаксационных явлений. Внутреннее трение.

2. Пластичность. Дислокационные механизмы твердости и пластической деформации твердых тел.

3. Ползучесть и релаксация напряжений.

VII Диффузия

1. Диффузия в твердых телах и жидкостях. Коэффициент диффузии, температурная зависимость. Энергия активации диффузии. Само- и гетеродиффузия.

2. Теория скоростей химических реакций. Уравнение Аррениуса. Механизмы диффузии в твердых телах.

3. Эффект Киркендалла, обратный эффект Киркендалла.

VIII Тепловые свойства твердых тел

1. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость.

2. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

3. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

4. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

5. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

6. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

IX Электронные свойства твердых тел

1. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

2. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

3. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

4. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

5. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

6. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.

7. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

X Магнитные свойства твердых тел

1. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

2. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

3. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

4. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

5. Спиновые волны, магноны.

6. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

XI Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

1. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

2. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

3. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

4. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

XII Сверхпроводимость

1. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
2. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
3. Эффект Джозефсона.
4. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Основная литература

1. Физическое материаловедение. / Под ред. Калина Б.А. Т. I. – М.: НИЯУ МИФИ. 2007.
2. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: Учебное пособие. – М.: Техносфера, 2007.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. – М.: Мир. 1969.
4. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 2000.
5. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – М.: Высшая школа, 1983.
6. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. – М.: МЦ НМО, 2000.

Дополнительная литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Физматгиз, 1962.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. – М.: Мир, 1979.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука, 1964.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1966.
5. Верещагин И.К., Кокин С.М., Никитенко В.А. и др. Физика твердого тела: Учебное пособие для ВТУЗов. – М.: Высшая школа, 2001.
6. П. Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. – М.: Мир, 1968.
7. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. – М.: Наука, 1971.
8. Булер П. Физико-химическая термодинамика вещества. – СПб.: «Янус», 2004.
9. Шафрановский И.И., Алявдин В.Ф. Краткий курс кристаллографии учеб. для негеол. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1984.

Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Физика полупроводников»

I Основы зонной теории полупроводников

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение, одноэлектронное приближение, приближение сильно связанных электронов. Приближение Хартри-Фока.

2. Энергетический спектр носителей заряда в периодическом потенциале. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна.

3. Эффективная масса носителей заряда. Метод эффективной массы.

4. Структура энергетических зон некоторых полупроводников (Ge, Si, InSb).

II Статистика носителей заряда в полупроводниках

1. Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Расчет равновесной концентрации электронов и дырок.

2. Невырожденные примесные полупроводники. Вырожденные примесные полупроводники. Уровень Ферми. Определение положения уровня Ферми в зависимости от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.

3. Компенсированные полупроводники. Определение энергетических уровней примесных атомов.

III Явления в контактах

1. Потенциальные барьеры. Условия равновесия контактирующих тел. Термоэлектронная работа выхода. Контактная разность потенциалов.

2. Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда. Длина экранирования. Обогащенный и обедненный контактный слой.

3. Контакт металл полупроводник. Барьер Шоттки. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл — полупроводник. Диодная и диффузная теории выпрямления.

4. Контакт электронного и дырочного полупроводника. Теория тонкого p-n-перехода.

5. Гетеропереходы. Типы гетеропереходов.

IV Поверхностные электронные состояния

1. Происхождение поверхностных состояний. Влияние поверхностного потенциала на электропроводность.

2. Эффект поля. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник.

V Кинетические явления в полупроводниках

1. Неравновесная функция распределения носителей заряда. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Электропроводность полупроводников.

2. Гальваномагнитные явления в полупроводниках. Эффект Холла. Эффект Гаусса.

3. Термоэлектрические явления в полупроводниках. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.

4. Явления переноса в сильных электрических полях. Эффект Ганна. Эффект Зинера. Ударная ионизация.

VI Оптические свойства полупроводников

1. Поглощение света полупроводниками. Механизмы поглощения (собственное поглощение, экситонное поглощение, поглощение свободными носителями заряда, примесное поглощение, решеточное поглощение). Прямые и непрямые переходы. Зависимость края собственного поглощения от температуры и давления.

2. Люминесценция полупроводников. Типы люминесценции. Рекомбинационное излучение. Релаксация люминесценции полупроводников.

3. Фотоэлектрические явления. Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Примесная фотопроводимость. Фотомагнитоэлектрический эффект. Эффект Дембера.

VII Физика полупроводниковых приборов

1. Полупроводниковые термосопротивления, их параметры и характеристики.

2. Фотосопротивление. Принцип действия, конструкция, параметры и характеристики фотосопротивлений.

3. Полупроводниковые диоды. Виды, принцип действия, параметры, характеристики.

4. Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Расчет токов в биполярном транзисторе.

5. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом. Структура и принцип действия, основные параметры и характеристики.

6. Полевые транзисторы с изолированным затвором. Структура и принцип действия, основные параметры и характеристики.

7. Фотоэлектрические приборы с р-п-переходом. Фотодиоды, Фототранзисторы.

VIII Основы физики диэлектриков

1. Электропроводность диэлектриков. Общие закономерности. Электропроводность газов. Теория Таунсенда. Электропроводность жидких диэлектриков. Ионная проводимость неорганических диэлектриков. Носители заряда в ионных кристаллах. Энергия образования дефектов по Френкелю и по Шоттки. Модель периодических потенциальных барьеров.

2. Пробой твердых диэлектриков. Основные виды пробоя. Тепловой пробой. Теория Вагнера. Теория теплового пробоя Фока. Электрический пробой. Гипотезы Роговского и Иоффе. Механизм ударной ионизации. Теория Фрелиха и Хиппеля-Коллена. Термофлуктуационная модель пробоя. Стадии развития пробоя. Электрохимический пробой (старение).

IX Системы пониженной размерности

1. Энергетический спектр частиц в системах пониженной размерности. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке. Потенциальный барьер конечной ширины. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц. Частица в прямоугольной потенциальной яме. Особенности движения частиц над потенциальной ямой. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры. Сверхрешетки. Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток.

2. Электрическое и магнитное поле в системах пониженной размерности. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы. Оценка смещения энергетических уровней под действием электрического поля в прямоугольной КЯ конечной глубины.

3. Приповерхностная область пространственного заряда. Поверхностное квантование. Экранирование электрического поля в 2D-системах. Особенности экранирования электрического поля в квантовых проволоках. Двумерный электронный газ.

4. Энергетический спектр электронов в постоянном однородном магнитном поле. Проводимость двумерного электронного газа. Дробный квантовый эффект Холла.

5. Транспортные явления. Стационарная дрейфовая скорость. Всплеск во времени дрейфовой скорости при воздействии электрического поля. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных приборах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Асимметричные наноструктуры в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.

6. Теоретические основы одноэлектроники. Реализация одноэлектронных приборов. Перспективы применения одноэлектронных приборов.

Основная литература

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников: учебное пособие для вузов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 620 с.

2. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие для вузов. — М.: Изд-во Юрайт, 2025. — 463 с.

3. Шалимова К.В. Физика полупроводников: Учебник. 4-е изд., стер. – СПб: Лань, 2021. – 400 с.

4. Александров С.Е., Греков Ф.Ф. Технология полупроводниковых материалов: Учебное пособие. 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2021. – 240 с.
5. Парфенова Е.Л., Терентьева Л.А., Хусаинов М.Г. Физические основы микро- и нанoeлектроники: учебное пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2012. – 234 с.
6. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. СПб. – М. – Краснодар: Лань, 2008. – 328с
7. Гусев А.Н. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
8. Щука А.А. Нанoeлектроника. М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.

Дополнительная литература

1. Мейлихов Е.З. Общая физика полупроводников: учеб. пособие для вузов/ Е.З. Мейлихов. – М.: МФТИ, 2006. – 79 с.
2. Суздалев И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. / М.: КЛМКнига, 2006. – 592 с.
3. Драгунов В.П., Неизвестный В.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2004. – 494 с.
4. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 2003. – 480 с.
5. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. – СПб.: Наука, 2001. – 160 с.

**Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине
«Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных
состояний вещества»**

I Термодинамика

1. Идеальный газ. Основное уравнение кинетической теории газов (газовое уравнение Клазиуса). Закон Дальтона. Уравнение Больцмана. Молекулярно-кинетическое понимание абсолютной температуры. Реальные газы.

2. Внутренняя энергия системы. Теплота и работа. Первое начало термодинамики. Закон Гесса. Тепловой эффект реакции. Второе начало термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Связь энтропии со статическим весом. Теплоемкости. Закон возрастания энтропии. Теорема Карно. Тепловые двигатели.

3. 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.

II Основы химической кинетики

1. Константа скорости реакции. Зависимость константы скорости элементарной бимолекулярной реакции от температуры. Закон Аррениуса.

2. Механизм и скорость химической реакции. Закон действующих масс. Порядок реакции. Константа равновесия.

3. Атомно-молекулярные столкновения. Типы столкновений. Сечение столкновений. Распределение по скоростям и энергиям. Распределение Максвелла и распределение Больцмана.

4. Константа скорости мономолекулярной реакции. Реакционный путь. Каналы продуктов реакции. Термическая диссоциация. Константа скорости тройных столкновений. Рекомбинация.

5. Экспериментальные методы в физике столкновений. Источники атомных и молекулярных пучков. Источники электронов и ионов. Скрещенные пучки. Детектирование атомов, молекул и ионов. Масс-спектрометрия.

III Химическая физика горения и взрыва

1. Высокотемпературные реакции. Горение. Радикалы. Последовательные и параллельные реакции. Цепные реакции.

2. Основные понятия и модели сплошной среды. Газо- и гидродинамика. Уравнение непрерывности. Законы изменения плотности импульса и плотности энергии. Уравнение Навье-Стокса. Число Рейнольдса. Течение Пуазейля. Ламинарное и турбулентное течения. Сверхзвуковое течение.

3. Скорость распространения пламени. Нормальная скорость распространения пламени. Физика нестационарного горения. Ударная волна, детонация и взрыв.

IV Структура атомов и молекул. Квантовая физика

1. Волновая функция частицы. Уравнение Шредингера. Квантовое состояние и энергетические уровни частицы. Квантовые состояния электрона в атоме. Главное, азимутальное и магнитные квантовые числа. Спин электрона. Принцип Паули. Структура атомов и их спектры. Электронные переходы. Правила отбора. Атом водорода. Многоэлектронные атомы. Синглетные и триплетные состояния. Спин-орбитальное взаимодействие.

2. Структура молекул. Приближение Борна-Оппенгеймера. Теория молекулярных орбиталей. Гомоядерные двухатомные молекулы. Гетероядерные двухатомные молекулы.

3. Адиабатическое приближение. Поверхности потенциальной энергии (ППЭ). Квантовые методы расчета экстремумов на ППЭ химических реакций. Динамика движения реагентов на ППЭ.

V Статистическая теория реакций

1. Основные предположения статистической теории. Гармоническая модель активной молекулы. Мономолекулярные реакции. Интермедиаты. Изомеризация. Переходные состояния на ППЭ. Путь химической реакции. Коэффициент ветвления каналов продуктов реакции.

2. Релаксация и переход через потенциальный барьер. Термический Распад. Теория переходного состояния (метод активированного комплекса). Теория RRKM (Райс- Рамспергер-Кассель-Маркус). Предел высокого давления.

VI Молекулярная спектроскопия.

1. Молекулярные спектры. Вращательные и колебательные спектры молекул. Ангармонизм. Спектры двухатомных молекул. Рамановский спектр.

2. Спектры поглощения и люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Спектры комбинационного рассеяния. Метод ЭПР и ЯМР.

3. Уровни энергии и колебательный спектр двухатомной молекулы. Потенциал Морзе. Ангармоничность колебаний.

4. Селективное заселение электронных, колебательных и вращательных состояний. Приближения Франка-Кондона и Герцберга-Теллера. Обмен и передача энергии между различными состояниями. Молекулярные лазеры.

VII Кинетика возбужденных состояний.

1. Потенциальные поверхности электронно-возбужденных состояний. Переходы между состояниями. Потенциал ионизации и сродство к электрону.

2. Радиационно-индуцированные реакции. Фотодиссоциация. Источники света. Возбуждение атомов и молекул. Химическое возбуждение. Возбуждение электронным ударом. Фотовозбуждение. Химические реакции в электрическом разряде. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом. Низкотемпературная плазма.

3. Энергообменные столкновительные процессы. Поступательно-поступательный энергообмен. Вращательно-поступательный энергообмен. Колебательно-колебательный энергообмен. Обмен электронной энергией.

Основная литература

1. Загидуллин М.В., Аязов В.Н. Кинетика элементарных процессов в газах [Электронный ресурс] Изд-во Самар. ун-та, 2017 – on-line.

2. Химическая кинетика: [метод. указания] / [сост. И. А. Платонов [и др.]. - Самара: [Изд-во СГАУ], 2012. - 31 с.

3. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа: Учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2003. – 256 с.

4. Эмануэль Н.М. Курс химической кинетики: Учебн. пособ. для вузов. - М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.

5. Неравновесные физико-химические процессы в газовых потоках и новые принципы организации горения / под ред. А.М. Старика. - М.: Торус Пресс, 2011. - 861 с.

6. Применение лазеров в спектроскопии и фотохимии: пер. с англ. - М.: Мир, 1983. – 272 с.

7. Степанов Н.Ф. Квантовая механика и квантовая химия: [учеб. для вузов] / М.: Мир, Изд-во Моск. ун -та, 2017. - 519 с.

8. Бутырская Е. В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и GaussView. – М.: СОЛОН-Пресс, 2011. – 218 с.

9. Квантовая механика и квантовая химия: Учебник для вузов. – М.: Мир, 2001. – 519 с.

Вопросы к вступительному испытанию по специальной дисциплине «Лазерная физики»

I Основные понятия квантовой механики

1. Уравнение Шредингера и интерпретация волновой функции.
2. Потенциальный барьер и туннельный эффект.
3. Квантовая теория гармонического осциллятора.
4. Фотоэффект. Многофотонное возбуждение и ионизация атомов.
5. Матричные элементы, динамический эффект Штарка, динамическая поляризуемость атома.
6. Двухуровневая система в резонансном поле. Частота и осцилляции Раби.

II Основы квантовой электроники

1. Принципы работы лазера. Теория Лэмба. Основные свойства лазерного излучения.
2. Энергетические уровни атомов, молекул, кристаллов.
3. Вынужденные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Вероятности переходов
4. Однородное и неоднородное уширения линии излучения.
5. Пространственная и временная когерентность лазерного излучения.
6. Инверсия населенностей в лазере. Поглощение и усиление лазерного усиления. Нелинейное просветление среды.

7. Эффект насыщения.

8. Условия генерации.

III Взаимодействие излучения с веществом

1. Поглощение и рассеяние лазерного излучения.
2. Нелинейное взаимодействие интенсивного излучения с веществом. Нелинейная зависимость поляризации от напряженности поля световой волны.
3. Нелинейная восприимчивость. Электронная нелинейная восприимчивость, эффект Керра.
4. Вынужденное комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.

5. Нелинейная рефракция. Самофокусировка лазерного излучения.

6. Самомодуляция лазерного излучения в нелинейных средах.

7. Генерация гармоник лазерного излучения. Параметрические генераторы света.

IV Оптические резонаторы

1. Моды свободного пространства.
2. Пассивные и активные резонаторы. Диаграмма устойчивости резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.
3. Поляризация света. Матрицы Джонса. Вектора поляризации мод резонатора.
4. Продольные моды резонатора. Поперечные моды резонатора.
5. Принципы частотной селекции. Методы селекции продольных мод резонаторов.
6. Плоскопараллельный резонатор.
7. Конфокальный и полуконфокальный резонатор.

V Лазеры

1. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазерной генерации.
2. Атомарные лазеры, He-Ne лазер.
3. Ионные лазеры, аргоновый лазер.
4. Лазеры на парах металлов.
5. Молекулярные лазеры: CO₂-лазер, СО-лазер, N₂-лазер.
6. Эксимерные лазеры. Химические лазеры.
7. Химический кислород-йодный лазер.
8. Твердотельные лазеры. Неодимовые лазеры с ламповой накачкой и накачкой инжекционными лазерами.

9. Лазеры на красителях. Перестройка частоты излучения.

10. Полупроводниковые лазеры.

VI Оптическая обработка информации, фурье-оптика

1. Распространение световой волны в свободном пространстве; линза, как оптическая система, осуществляющая преобразование Фурье. Пространственная фильтрация изображений, формируемых линзой.

2. Запись и воспроизведение волновых полей с помощью голограмм. Классификация голограмм.

3. Динамические голограммы. Использование в задачах коррекции волнового фронта.

4. Голографическая интерферометрия.

5. Корреляторы.

Основная литература

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. БХВ-Петербург, 2011.

2. Звелто О. Принципы лазеров / О. Звелто; пер. с англ. Д.Н. Козлова [и др.]; под науч. ред. Т. А. Шмаонова. – Изд. 4-е. – СПб. [и др.]: Лань, 2008.

3. Загидуллин М.В. Кинетика элементарных процессов в газах [Электронный ресурс] : [учеб. пособие]. - Самара: Самарский университет, 2017. - on-line.

4. Грасюк А.З. Взаимодействие излучения с веществом: Учеб. пособие для студентов ст. курсов и аспирантов. - Самара: Самарский университет, 2002. – 278 с.

Дополнительная литература

1. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. - М.: Мир, 1981. - 540 с.

2. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: Наука, 1990.

3. Быков В.П. Лазерная электродинамика: элементар. и когерент. процессы при взаимодействии лазер. излучения с веществом. – М.: Физматлит, 2006. - 380 с.

4. Ивахник В.В. Динамические голограммы в средах с керровской и тепловой нелинейностями и на обратимых фотохромных материалах: Учеб. пособ. для студ. ст. курсов и а. - Самара: Самарский университет, 2001. – 98 с.

5. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.

Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру

Вступительные испытания по специальной дисциплине проходят по билетам с вопросами. Каждый билет содержит по два вопроса. Испытание проводится в сочетании письменной и устной формы, при которой подготовка к ответу осуществляется в письменной форме на экзаменационных листах, а сам ответ на вопросы, поставленные в билете, и дополнительные вопросы комиссии осуществляется в устной форме.

Оценка ответов претендентов на поступление в аспирантуру проводится по 20-ти балльной шкале и выставляется согласно критериям, приведенным в таблице.

Оценка, баллы	Критерии
Менее 10 баллов	Нет ответа / Нет понимания предмета
10	Ответ с тремя и более грубыми ошибками, много неточностей, знания несистематические. Отсутствие правильной формулировки ответа на вопрос, даже с помощью преподавателя
11	Ответ с двумя грубыми ошибками, много неточностей, знания несистематические. Отсутствие правильной формулировки ответа на вопрос.
12	В целом положительный ответ с несколькими незначительными ошибками. Умение с помощью преподавателя схематично, но правильно сформулировать ответ на поставленный вопрос.
13-14	В целом хороший ответ с одной - двумя незначительными ошибками, умение сопоставить теоретические знания. Умение правильно сформулировать ответ на поставленный вопрос. Владение информацией как минимум из одного источника основной литературы.
15-16	В целом полный ответ, демонстрирующий уверенные знания с некоторыми неточностями, умение сопоставить теоретические знания. Свободное владение информацией из нескольких источников основной литературы.
17-18	Полный развернутый ответ, демонстрирующий системные знания, умение сопоставить теоретические знания, свободное владение информацией из нескольких источников основной и дополнительной литературы.
19-20	Полный развернутый ответ, демонстрирующий системные знания, умение сопоставить теоретические знания, свободное владение информацией из нескольких источников основной и дополнительной литературы. Иллюстрация ответа дополнительными примерами из собственных наблюдений и дополнительных источников информации.