

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. ректора  
Ю.Н. Старилев  
16.01.2026 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**  
**ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**ПО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ – ПРОГРАММЕ**  
**ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**  
**ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

**1.3 Физические науки**  
(физический факультет)

Воронеж  
2026

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Вступительные испытания по группе научных специальностей аспирантуры 1.3 Физические науки охватывают стандартные разделы университетских курсов по физике и радиофизике. Также проверяются базовые умения математического аппарата.

Программа вступительных испытаний, перечень вопросов, структура контрольно-измерительного материала и критерии оценивания приведены ниже.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Вступительное испытание проводится в два этапа, на первом этапе абитуриент получает контрольно-измерительный материал, содержащий три вопроса по соответствующей научной специальности. Абитуриент должен на листе белой бумаги формата А4 изложить ответ на каждый из вопросов. На выполнение первого этапа отводится 2 часа. На втором этапе проводится устное собеседование по ответам абитуриента на полученный контрольно-измерительный материал. На второй этап отводится 30 минут. Задания оцениваются от 0 до 100 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов. Минимальное суммарное количество баллов (за три вопроса), при которых экзамен считается сданным – 30 баллов. При выставлении неудовлетворительной оценки член комиссии должен объяснить абитуриенту недостатки ответа и обосновать выставленную оценку.

## РАЗДЕЛ 1. РАЗДЕЛЫ И ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

**1.1. Теоретическая механика.** Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона-Якоби, разделение переменных.

#### **1.2. Электродинамика**

Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения.

Уравнения электромагнитных волн в сплошной среде. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление.

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры. Дифракция света. Приближения Френеля и Фраунгофера.

Излучение света атомами и молекулами. Ширина линии излучения. Спонтанные и вынужденные переходы. Лазеры. Взаимодействие света и вещества.

Законы фотоэффекта. Закон Стефана - Больцмана. **1.3.**

#### **Квантовая механика**

Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока.

Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.

Общие свойства движения частицы в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.

Спин. Оператор спина. Уравнение Паули. Тонкая структура атомных уровней. Эффект Зеемана.

Столкновения частиц. Общая теория. Борновское приближение. Рассеяние заряженных частиц (формула Резерфорда).

Нестационарная теория возмущений. Квантовые переходы. Золотое правило Ферми. Излучение света атомами и молекулами. Ширина линии излучения.

Спонтанные и вынужденные переходы.

Электронные состояния. Принцип Франка-Кондона. Электронные колебательные и вращательные спектры.

Ядерные силы и их свойства. Статические свойства ядер (размеры и форма, энергия связи, спин и четность состояний, электрический и магнитный моменты).

Модели атомных ядер. Капельная, оболочечная, обобщенная модели ядер.

Альфа-, бета- и гамма- радиоактивности и их основные закономерности.

#### **1.4. Статистическая физика, физическая кинетика и физика конденсированного состояния**

Распределение Ферми-Дирака. Вырожденный идеальный ферми-газ.

Распределение Бозе-Эйнштейна. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка.

Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.

Адиабатическое и одноэлектронное приближение.

Вывод уравнения Хартри-Фока с кристаллическим потенциалом. Физический смысл оператора Хартри-Фока. Зонное приближение

Трансляционная симметрия кристаллов. Теорема Блоха. Функции Блоха. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Зоны Бриллюэна кубических кристаллов. Периодические граничные условия Борна-Кармана. Уравнение для периодической части функции Блоха.

Группа волнового вектора. Метод слабой связи. Метод сильной связи. Эффективная масса квазичастицы. Плотность электронных состояний.

Энергия Ферми. Поверхность Ферми. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации носителей заряда (собственный полупроводник). Равновесные концентрации электронов и дырок в зонах (общий случай). Методы расчета электронного спектра.

Элементарная теория локальных энергетических уровней. Равновесные концентрации электронов и дырок в зонах (общий случай). Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонного приближения.

## **2. РАДИОФИЗИКА**

### **2.1. Теория колебаний**

Консервативные колебательные системы. Условия возникновения состояния равновесия. Изохронные и неизохронные колебания.

Фазовая плоскость и фазовое пространство. Особые точки в нелинейных системах. Фазовый портрет маятника с затуханием. Особая точка типа «центр». Особая точка типа «седло». Устойчивость стационарных движений.

Классические колебательные системы. Качественное рассмотрение колебаний маятника. Нахождение скорости на сепаратрисе колебаний маятника. Солитон. Нелинейный контур без затухания. Колебания в контуре с нелинейной емкостью  $p$ - $n$  перехода. Последовательный колебательный контур. Колебания в контуре с нелинейной емкостью с сегнетоэлектрической солью.

Диссипативные колебательные системы. Колебательный контур с малым нелинейным затуханием. Линейный контур с постоянным затуханием. Виды трения. Сухое трение. Линейное трение. Квадратичное трение. Вынужденные колебания в нелинейной консервативной системе при гармоническом воздействии. Вынужденные колебания в линейных системах.

Методы приближенного рассмотрения колебательных систем. Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью. Метод последовательных приближений. Метод комплексных амплитуд. Метод Льенара. Метод гармонического баланса. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод изоклин. Метод поэтапного рассмотрения.

## **2.2. Основы радиоэлектроники, статистическая радиофизика**

Спектральный анализ периодических и непериодических сигналов. Преобразование Фурье и его основные свойства. Комплексная огибающая, полная фаза и мгновенная частота узкополосного сигнала.

Спектральный метод анализа прохождения сигналов через линейные стационарные системы. Простейшие дифференцирующие и интегрирующие цепи. Импульсные характеристики линейных стационарных цепей и их нахождение с помощью операторного метода.

Дискретное преобразование Фурье, алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Методы синтеза линейных цифровых фильтров. Согласованные фильтры.

Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания.

Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Вычисление спектральной плотности. Воздействие шумов на линейные системы.

Марковские процессы. Уравнение марковского процесса. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова. Понятие «белого» шума. Замена реального случайного процесса марковским процессом.

Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного нормального случайного процесса. Функция распределения и корреляционная функция огибающей. Функция распределения фазы.

Безынерционные и инерционные нелинейные преобразования шумов. Детектирование инерционным детектором. Метод огибающей, метод уравнений Колмогорова-Фоккера-Планка.

Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширины и формы спектральной линии.

Пуассоновский процесс. Дробовый шум и формула Шоттки. Случайные последовательности импульсов и их спектральная плотность. Тепловой шум. Классический и квантовый вариант формулы Найквиста.

Интерпретация обработки сигналов и случайных процессов как задача выбора решения. Обнаружение и выделение сигнала. Простая и сложная гипотезы. Пространство наблюдений, сигналов и решений. Байесовские системы.

Точечные и интервальные оценки. Эффективные оценки. Неравенство Крамера-Рао. Достаточность и состоятельность оценок. Байесовские оценки. Оценки максимального правдоподобия. Оценки параметров случайных процессов.

### **2.3. Физика волновых процессов**

Волновое уравнение. Плоские волны в однородной изотропной среде. Понятие о волнах. Примеры волновых движений. Волновое уравнение и его модификации. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Поляризация волн. Энергия электромагнитного поля. Плоские волны. Распространение электромагнитных волн в поглощающих средах.

Распространение волн в диспергирующих средах. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Связь между дисперсией и поглощением. Дисперсия электромагнитных волн в неполярных и полярных диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость сред со свободными зарядами. Волновой пакет в диспергирующей среде.

Распространение волн в анизотропных средах. Тензор диэлектрической проницаемости. Лучевой вектор. Распространение плоских волн в кристаллических средах. Распространение плоских волн в магнитоактивной плазме. Распространение электромагнитных волн в феррите. Гиротропия ионосферы.

Распространение волн в нелинейных средах. Уравнения для нелинейных волн. Метод медленно изменяющихся амплитуд. Условие фазового синхронизма. Генерация второй гармоники. Трёхчастотные взаимодействия. Соотношения Мэнли-Роу. Распадная неустойчивость волн. Самовоздействие волн.

Теория дифракции. Распространение ограниченных волновых пучков. Метод Кирхгофа и функция Грина в теории дифракции. Угловой спектр плоских волн. Параболическое уравнение в теории дифракции. Дифракция гауссова волнового пучка и сфокусированного пучка.

Самовоздействие волновых пучков и волновых пакетов в нелинейных средах. Нелинейная рефракция при безабберационном и абберационном самовоздействии пучков. Волноводное распространение пучков. Самокомпрессия волновых пакетов. Солитоны огибающих.

## **3. Оптика**

### **3.1. Электромагнитная теория света**

Уравнения Максвелла. Вектор Умова-Пойнтинга. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Параболическое приближение. Моды свободного пространства. Фазовая и групповая скорости света.

Поляризация света. Вектор Джонса. Параметры Стокса. Сфера Пуанкаре. Расчетные методы Джонса и Мюллера. Типы поляризационных устройств.

Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред. Формулы Френеля. Полное внутреннее отражение. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Отражение света от поверхности проводника. Глубина проникновения.

Распространение света в анизотропных и изотропных средах. Волновые поверхности в кристаллах. Лучи и волновые нормали. Эллипсоид Френеля. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление. Коническая рефракция. Электрооптические эффекты Керра и Погкельса. Оптическая активность. Эффект Фарадея.

Оптика движущихся сред. Опыты Физо и Майкельсона. Преобразования Лоренца. Продольный и поперечный эффекты Допплера.

### **3.2. Геометрическая оптика**

Асимптотическое решение волнового уравнения. Геометро-оптическое приближение. Уравнение эйконала. Область применения лучевого приближения. Принцип Ферма. Гомоцентрические пучки.

Понятие оптического изображения. Параксиальное приближение. Преломление на сферической поверхности. Сферические зеркала и линзы. Образование каустик в оптических системах. Геометрические аберрации третьего и более высоких порядков. Хроматическая аберрация. Типы оптических приборов.

### **3.3. Интерференция и дифракция световых волн**

Интерференция частично-когерентного излучения. Комплексная степень когерентности. Теорема Ван-Циттерта - Цернике.

Двухлучевая и многолучевая интерференция. Сдвиговая и спекл-интерферометрия. Многослойные покрытия.

Дифракция. Дифракционные интегралы Кирхгофа - Гюйгенса. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Эффект Тальбо. Влияние дифракции на разрешающую силу систем, образующих изображение. Дифракционная решетка. Параболическая теория дифракции; гауссов пучок. ABCD –метод; комплексный параметр кривизны. Особенности дифракции некогерентного излучения. Основы векторной теории дифракции.

Обратные задачи теории дифракции. Синтез оптических элементов. Киноформная оптика.

### **3.4. Теория излучения и взаимодействия световых волн с веществом**

Классическая теория взаимодействия излучения с веществом. Резонансное приближение. Дисперсионные соотношения Крамерса - Кронига. Оптические нутации. Оптический эффект Штарка. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность. Солитоны. Релаксационные процессы. Уравнение для матрицы плотности. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей. Эффект насыщения.

Законы теплового излучения. Формула Планка. Фотоэффект.

Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля.

Однофотонные и многофотонные процессы. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Квадрупольные и магнитодипольные переходы. Кооперативные эффекты. Сверхизлучение. Когерентное и комбинационное рассеяния.

Нелинейные восприимчивости. Распространение волн в нелинейной среде. Метод медленно меняющихся амплитуд. Условие синхронизма. Генерация оптических гармоник. Трёхволновое взаимодействие. Параметрическое преобразование частоты. Самофокусировка света. Вынужденное и комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Четырёхволновое взаимодействие. Обращение волнового фронта. Вещество в сверхсильном световом поле.

### **3.5. Статистическая оптика**

Временная и пространственная когерентность световых полей; корреляционные функции первого и высших порядков. Спектральное представление. Теорема Винера-Хинчина.

Интерферометрия интенсивностей. Опыт Брауна-Твисса.

Квантовые свойства световых полей. Фоковское, когерентное и сжатое состояние поля.

Распределение Бозе-Эйнштейна. Параметр вырождения поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Связь статистик фотонов и фотоотчетов, формула Мандела для распределения фотоотчетов.

Дробовой шум.

Статистические свойства лазерного излучения.

Закон Кирхгофа и шумы квантовых усилителей света. Флуктуационно-диссипационная теорема.

Корреляционная спектроскопия. Эффекты группировки и антигруппировки фотонов.

Спонтанное параметрическое рассеяние света. Бифотоны. Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Неравенства Белла.

Статистика частично поляризованного излучения. Поляризационная матрица.

Распространение волн в случайно неоднородной среде. Корреляционные и структурные функции амплитуды и фазы. Оптические модели атмосферной турбулентности.

Рассеяние света в дисперсной среде; уравнение переноса, диффузионное приближение.

Рассеяние света в биоткани.

### **3.6. Спектроскопия**

Спектры атомов. Систематика спектров многоэлектронных атомов. Типы связей электронов. Определение набора термов. Исходные термы. Мультиплетная структура. Правила отбора. Взаимодействие конфигураций.

Спектры молекул. Адиабатическое приближение. Группы симметрии молекул. Колебательные спектры. Классификация нормальных колебаний по типам симметрии. Вырождение. Резонанс Ферми. Правила отбора в колебательных спектрах поглощения и комбинационного рассеяния. Вращательная структура колебательных полос. Электронные спектры молекул. Классификация электронных состояний двухатомных молекул. Принцип Франка-Кондона. Типы связи электронного движения и вращения.

Спектроскопия твердого тела. Переходы под действием света в идеальном кристалле. Поглощение в инфракрасной области спектра и взаимодействие света с фононной подсистемой. Переходы в электронной подсистеме. Поглощение света в металлах. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектриках. Экситоны Ванье-Мотта и Френкеля. Область фундаментального поглощения. Переходы с основных уровней. Эффекты Оже и Фано. Эффекты на краях основного поглощения: EXAFS и XANES. Понятие о поляритонах. Спектроскопия дефектных состояний в кристаллах. Автолокализация экситонов и дырок в диэлектриках. Вторичные эффекты в кристаллах: люминесценция, фотоэмиссия, дефектообразование под действием света.

Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения. Молекулярная и рекомбинационная люминесценция. Закон Стокса-Ломмеля. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции Левшина и универсальное соотношение между ними Степанова. Закон Вавилова. Триплетные состояния молекул и их роль в процессах деградации и миграции энергии электронного возбуждения. Схема Теренина-Льюиса. Тушение

(температурное, концентрационное, посторонними веществами) люминесценции. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Люминесценция молекулярных кристаллов. Теория Давыдова. Кооперативные процессы в люминесценции.

Зонная модель люминесценции диэлектриков. Размножение электронных возбуждений в твердом теле. Термовысвечивание и инфракрасная стимуляция. Применение люминесцентных кристаллов в науке, технике и медицине.

### **3.7. Экспериментальная и прикладная оптика**

Источники оптического излучения. Тепловые, газоразрядные и лазерные источники. Синхротронное излучение. Оптические материалы.

Характеристики приемников излучения: спектральная и интегральная чувствительность, шумы, инерционность. Приборы с зарядовой связью (ПЗС) - линейки, матрицы.

Техника спектроскопии. Светофильтры, призмные и дифракционные спектральные приборы, интерферометры. Фурье-спектроскопия. Основные характеристики приборов: аппаратная функция, разрешение, светосила, дисперсия. Лазерная спектроскопия.

Запись и обработка оптической информации. Механизм записи и воспроизведения волновых полей с помощью двумерных и трехмерных голограмм. Цифровые голограммы. Переходные и передаточные функции оптических систем обработки информации. Изопланарность. Использование методов Фурье-оптики для оптической фильтрации и распознавания образов. Коррекция и реконструкция изображений. Методы компьютерной оптики.

Волоконная оптика. Типы волоконных световодов. Моды оптических волокон. Затухание и дисперсия мод. Направленные ответвители. Волоконные линии связи. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.

### **3.8. Оптика лазеров**

Принцип работы лазера. Схемы накачки. Теория Лэмба. Эффекты затягивания частоты и выгорания дыр. Лэмбовский провал.

Оптические резонаторы. Моды оптических резонаторов. Свойства лазерных пучков.

Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски.

Режимы работы лазеров. Непрерывные и импульсный режимы. Пиковый режим. Модуляция добротности. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов. Принципы адаптивной оптики; коррекция волнового фронта лазерных пучков.

## **4. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

**4.1. Квантовая механика** Экспериментальные обоснования квантовой теории. Математический аппарат квантовой механики.

Операторы физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов.

Состояние физической величины. Значения физических величин. Коммутационные соотношения. Интегралы движения.

Стационарные состояния. Спектр системы.

Постулаты квантовой механики. Физический смысл волновой функции.

Принцип суперпозиции. Принцип неопределенностей.

Уравнение Шрёдингера в координатном представлении. Общие свойства одномерного движения. Дискретный спектр. Потенциальные ямы.

Одномерный  $\square$ -потенциал.

Одномерная задача рассеяния. Непрерывный спектр. Потенциальные барьеры. Коэффициент прохождения. Гармонический осциллятор

Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Орбитальный и спиновый моменты импульса. Матрицы Паули. Полный момент импульса системы

Задача двух тел. Центральное-симметричное поле

Предмет теории возмущений. Поправки к собственным значениям и волновым функциям в теории возмущений.

Вариационный принцип. Квазиклассическое приближение.

Квантовая динамика. Нестационарное уравнение Шрёдингера.

Переходы в квантово-физических системах. Золотое правило Ферми.

#### **4.2. Физика конденсированного состояния**

Введение.

Предмет, основные теоретические и экспериментальные методы и проблемы физики твердого тела. Структура твердых тел

Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия.

Элементарная ячейка. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брегга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.

Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Переползание и скольжение. Размножение дислокации. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел. Типы химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки. Энергетический спектр кристаллов.

Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и , фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

Колебания решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель.

Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел.

Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость. Поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми уровня в невырожденных полупроводниках. Электронные кинетические свойства твердых тел.

Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные столкновения. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитоспротивление и эффект Холла.

Металлы с большой длиной пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Геликоны. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де-Гаазаван-Альфена.

Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости, p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Ганна.

Механические, оптические, магнитные свойства твердых тел.

Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.

Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Междузонные косые и прямые переходы. Экситоны. Люминесценция. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безызлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

Диамagnetизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты.

Диэлектрики. Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис, аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.

Термодинамика и фазовые переходы. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения. С

Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической и термодинамической теорий. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.

Экспериментальные методы физики твердого тела

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мёссбауэра. ЭПР, ЯМР. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках. Оптические методы исследования: возможности, связанные с использованием лазерных источников света.

### 4.3. Физика низкоразмерных структур

Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их квантово-механические модели. Квантовое ограничение и размерность электронной системы. Элементарные наноструктуры: квантовые ямы, нити, точки, полупроводниковые сверхрешетки.

Электронные свойства квантовых низкоразмерных структур. Энергетический спектр и волновые функции электронного газа. Подзоны размерного квантования. Распределение плотности состояний в структурах с квантовыми ямами, в квантовых нитях и точках. Равновесные концентрации электронов в системах пониженной размерности. Энергетический спектр сверхрешетки. Влияние на энергетический спектр магнитного поля. Эффективное понижение размерности системы. Уровни Ландау. Движение электрона в однородном электрическом поле. Блоховские осцилляции. Лестница уровней Штарка. Двумерный электронный газ в МДП структурах. Основные положения теории приповерхностной области пространственного заряда полупроводника Гаретта и Браттейна. Зависимость электростатического потенциала от координаты в режиме сильной инверсии. Условия образования двумерного электронного газа в инверсном слое МДП структуры. Квантово-механическая модель приповерхностной ОПЗ полупроводника. Методы расчета энергетического спектра. Самосогласованный расчет. Приближение треугольного потенциала. Квантовый предел. Плотность распределения квантовых состояний. Поверхностная концентрация 2D электронов в подзонах размерного квантования. Зависимость плотности заряда от координаты. Экранирование электрического поля.

Кинетические эффекты в двумерных наноструктурах. Время релаксации и подвижность носителей в двумерном электронном газе. Механизмы рассеяния. Кинетические явления в двумерных структурах. Квантование Ландау и осцилляции Ванье-Штарка. Модулированное легирование. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью. Баллистический транспорт. Приборы баллистического транспорта. Квантовый эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла и его интерпретация. Дробные заряды и промежуточная статистика. Композитные фермионы.

## 5. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

### 5.1. Химическая связь и атомная структура полупроводников

Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова. ионная и ковалентная связь.

Структуры важнейших полупроводников - элементов  $A^{IV}$ ,  $A^{VI}$  и соединений типов  $A B_v$ ,  $A_n B_{nV}$ ,  $A_{IV} B_{VI}$ .

Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

**5.2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.**

Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.

Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.

Методы легирования полупроводников.

Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.

### **5.3. Основы зонной теории полупроводников**

Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.

Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.

Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.

Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

### **5.4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках**

Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.

Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры. **5.5. Кинетические явления в полупроводниках**

Кинетические коэффициенты - проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.

Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны.

Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.

### **5.6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках**

Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.

Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.

Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

### **5.7. Контактные явления в полупроводниках**

Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.

Энергетическая диаграмма р-п перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в р-п переходе.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов.

Варизонные полупроводники.

### **5.8. Свойства поверхности полупроводников**

Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация.

Эффект поля.

Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

### **5.9. Оптические явления в полупроводниках**

Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига.

Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.

Поглощение света на свободных носителях заряда.

Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана - Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна - Мандельштама).

Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса.

Эффект Бурштейна-Мосса.

Эффекты Фарадея и Фойгта.

### **5.10. Фотоэлектрические явления**

Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.

Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.

Фоторазогрев носителей заряда.

Фотоэлектромагнитный эффект.

### **5.11. Некристаллические полупроводники**

Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Идеальное стекло. Гидрированные аморфные полупроводники.

Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.

Легирование некристаллических полупроводников.

Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта.

Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.

Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос.

Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.

### **5.12. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки**

Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.

Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.

Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.

### **5.13. Принципы действия полупроводниковых приборов**

Вольтамперная характеристика р-п перехода. Приборы с использованием р-п переходов.

Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор.

Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Шумы в полупроводниковых приборах.

Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.

Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.

Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (HEMT). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансно-туннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.

## Рекомендуемая литература

### Основная

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. 5-е изд., стереотип. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 224 с.,
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., Наука, 1994.
3. Бредов М.М., Румянцев В.В., и др. Классическая электродинамика. М., Наука, 1985.
4. Давыдов А.С. Квантовая механика. М., Наука, 2012.
5. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М., Наука, 2003.
6. Капитонов И.М. Физика ядра и элементарных частиц. М.: Наука, 2004
7. Сивухин Д.В. Курс общей физики. М., Наука, 1988
8. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М., Высшая школа, 2000.
9. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М., Физматлит. 1988.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высшая школа, 2000.
11. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Дрофа, 2006.
12. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2002.
13. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб: Питер, 2003.
14. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. — М. Сов радио, 1982.
15. Куликов Е.И. Прикладной статистический анализ. М. — Горячая линия – Телеком, 2008.
16. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
17. Виноградова М. Б. Теория волн: Учебное пособие для студентов физических специальностей. – М.: Наука, 1990.
18. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. Пособие для студ. радиотехн. спец. вузов. – М.: Наука, 1989.
19. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988.
20. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: "Наука", 1970.
21. Королев Ф.А. Теоретическая оптика. М.: "Высшая школа", 1966.
22. Матвеев А.Н. Оптика. М.: "Высшая школа", 1985
23. Шерклиф У. Поляризованный свет. М.: "Мир", 1965.
24. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: "Наука", 1981.
25. Гудмен Дж. Статистическая оптика. М.: "Мир", 1988.
26. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М.: Физматлит, 2000.
27. Солимено С., Крозиньяни Б., Порто П. Дифракция и волноводное распространение оптического излучения. М.: "Мир", 1989.
28. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: "Мир", 1972.
29. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М.: "Наука", 1986.
30. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: "Наука", 1989.
31. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Физматгиз, 1962.
32. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Физматгиз, 1963.
33. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.

34. Васильев А.Н., Михайлин В.В. Введение в спектроскопию твердого тела. М.: Издательство МГУ, 1987.
35. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения. (Молекулярная люминесценция). М.: Издательство МГУ, 1989.
36. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: "Высшая школа", 1971.
37. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.: Издательство МГУ, 1994.
38. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. Ч.1. Молекулярная спектроскопия. М.: Издательство МГУ, 1994.
39. Тернов И.М., Михайлин В.В. Синхротронное излучение. Теория и эксперимент. М.: Энергоатомиздат, 1986.
40. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
41. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
42. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
43. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.
44. Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения; под ред. В.А. Гергеля. — 2-е изд. — Москва : Физматлит, 2012. — 771 с.
45. Шалимова К.В. Физика полупроводников : учебник СПб.: Лань, 2010 .
46. Матухин В.Л. Физика твердого тела: учебное пособие. — СПб.: Лань, 2010. — 218 с.
47. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учебное пособие. — СПб: Лань, 2010. — 287с.
48. Гинзбург И.Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела: учебное пособие СПб: Лань, 2007.— 537 с.

#### Дополнительная

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М., Наука, 1976.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. М., Наука, 1976.
3. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. М., Наука, 1991.
4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М., Мир. 2007
5. А. А. Абрикосов. Основы теории металлов. М., Наука, 2013
6. Электротехника и основы электроники / О.А.Антонова, О.П.Глудкин, П.Д.Давыдов и др.; Под ред. О.П.Глудкина и Б.П.Соколова. - М.: Высшая школа, 1993.
7. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: компьютеризированный курс. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2005.
8. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов; под ред. А.А. Бритова. – М.: Бином, 2007.
9. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2008.
10. Трубецков Д. И. Линейные колебания и волны: Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по физич. спец. – М.: Физматлит, 2001.

11. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: "Мир", 1970.
12. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: "Высшая школа", 1983.
13. Карлов Н.В.. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988
14. Корниенко Л.С., Наний О.Е. Физика лазеров. Ч.1, 2. М.: Издательство МГУ, 1996.
15. Мэйтленд А., Данн М. Введение в физику лазеров. М.: "Наука". 1978.
16. Ханин Я.И.. Основы динамики лазеров. М., 1999.
17. Ахманов С.А., Высоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М.: "Наука", 1990.
18. Парыгин В.Н., Балакший В.И. Оптическая обработка информации. М.: Издательство МГУ, 1987.
19. Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И. Принципы адаптивной оптики. М.: "Наука", 1985.
20. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 1,2. М.: Мир, 1981.
21. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах, М.: Мир.
22. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. М., Наука, 1991.
23. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М., Мир. 2007

## РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Система канонических уравнений в теоретической механике.
2. Уравнение Гамильтона.
3. Скобки Пуассона, теорема Лиувилля.
4. Уравнение Гамильтона-Якоби, разделение переменных.
5. Действие для электромагнитного поля.
6. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока.
7. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии.
8. Электромагнитные волны. Волновое уравнение.
9. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна.
10. Спектральное разложение.
11. Поляризационные характеристики излучения.
12. Уравнения электромагнитных волн в сплошной среде.
13. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости.
14. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление.
15. Интерференция света. Временная и пространственная когерентность.
16. Интерферометры.
17. Дифракция света. Приближения Френеля и Фраунгофера.
18. Излучение света атомами и молекулами. Ширина линии излучения.
19. Спонтанные и вынужденные переходы. Лазеры.
20. Взаимодействие света и вещества. Законы фотоэффекта.
21. Закон Стефана - Больцмана.
22. Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера.
23. Одномерное движение. Одномерный осциллятор.
24. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция.
25. Прохождение через барьер.
26. Общие свойства движения частицы в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.
27. Спин. Оператор спина. Уравнение Паули.
28. Тонкая структура атомных уровней. Эффект Зеемана.
29. Столкновения частиц. Общая теория.
30. Борновское приближение. Рассеяние заряженных частиц (формула Резерфорда).
31. Нестационарная теория возмущений. вантовые переходы.
32. Золотое правило Ферми. Излучение света атомами и молекулами.
33. Ширина линии излучения. Спонтанные и вынужденные переходы.
34. Электронные состояния. Принцип Франка-Кондона.
35. Электронные колебательные и вращательные спектры.
36. Ядерные силы и их свойства. Статические свойства ядер (размеры и форма, энергия связи, спин и четность состояний, электрический и магнитный моменты).
37. Модели атомных ядер. Капельная, оболочечная, обобщенная модели ядер.
38. Альфа-, бета- и гамма- радиоактивности и их основные закономерности.
39. Распределение Ферми-Дирака. Вырожденный идеальный ферми-газ.
40. Распределение Бозе-Эйнштейна. Вырожденный бозе-газ.
41. Конденсация Бозе-Эйнштейна.

42. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка.
43. Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема
44. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера-Планка.
45. Адиабатическое и одноэлектронное приближение.
46. Вывод уравнения Хартри-Фока с кристаллическим потенциалом. Физический смысл оператора Хартри-Фока. Зонное приближение
47. Трансляционная симметрия кристаллов. Теорема Блоха. Функции Блоха.
48. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
49. Зоны Бриллюэна кубических кристаллов.
50. Периодические граничные условия Борна-Кармана.
51. Уравнение для периодической части функции Блоха.
52. Группа волнового вектора. Метод слабой связи. Метод сильной связи.
53. Эффективная масса квазичастицы.
54. Плотность электронных состояний.
55. Энергия Ферми. Поверхность Ферми. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации носителей заряда (собственный полупроводник).
56. Равновесные концентрации электронов и дырок в зонах (общий случай).
57. Методы расчета электронного спектра.
58. Элементарная теория локальных энергетических уровней. Равновесные концентрации электронов и дырок в зонах (общий случай).
59. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонного приближения.
60. Консервативные колебательные системы. Условия возникновения состояния равновесия. Изохронные и неизохронные колебания.
61. Фазовая плоскость и фазовое пространство. Особые точки в нелинейных системах.
62. Фазовый портрет маятника с затуханием. Особая точка типа «центр».
63. Особая точка типа «седло». Устойчивость стационарных движений.
64. Классические колебательные системы. Качественное рассмотрение колебаний маятника.
65. Нахождение скорости на сепаратрисе колебаний маятника. Солитон.
66. Нелинейный контур без затухания. Колебания в контуре с нелинейной емкостью p-n перехода.
67. Последовательный колебательный контур.
68. Колебания в контуре с нелинейной емкостью с сегнетоэлектрической солью.
69. Диссипативные колебательные системы. Колебательный контур с малым нелинейным затуханием.
70. Линейный контур с постоянным затуханием. Виды трения. Сухое трение. Линейное трение. Квадратичное трение.
71. Вынужденные колебания в нелинейной консервативной системе при гармоническом воздействии.
72. Вынужденные колебания в линейных системах.
73. Методы приближенного рассмотрения колебательных систем.
74. Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью. Метод последовательных приближений.
75. Метод комплексных амплитуд.
76. Метод Льенара.
77. Метод гармонического баланса.
78. Метод медленно меняющихся амплитуд.

79. Метод изоклин.
80. Метод поэтапного рассмотрения.
81. Спектральный анализ периодических и непериодических сигналов.
82. Преобразование Фурье и его основные свойства.
83. Комплексная огибающая, полная фаза и мгновенная частота узкополосного сигнала.
84. Спектральный метод анализа прохождения сигналов через линейные стационарные системы.
85. Простейшие дифференцирующие и интегрирующие цепи.
86. Импульсные характеристики линейных стационарных цепей и их нахождение с помощью операторного метода.
87. Дискретное преобразование Фурье, алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ).
88. Методы синтеза линейных цифровых фильтров.
89. Согласованные фильтры.
90. Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы и способы их описания.
91. Корреляционно-спектральная теория случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина.
92. Вычисление спектральной плотности.
93. Воздействие шумов на линейные системы.
94. Марковские процессы. Уравнение марковского процесса.
95. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова.
96. Понятие «белого» шума. Замена реального случайного процесса марковским процессом.
97. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного нормального случайного процесса.
98. Функция распределения и корреляционная функция огибающей. Функция распределения фазы.
99. Безынерционные и инерционные нелинейные преобразования шумов.
100. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды, ширины и формы спектральной линии.
101. Пуассоновский процесс. Дробовый шум и формула Шоттки.
102. Случайные последовательности импульсов и их спектральная плотность
103. Тепловой шум. Классический и квантовый вариант формулы Найквиста.
104. Интерпретация обработки сигналов и случайных процессов как задача выбора решения. Обнаружение и выделение сигнала.
105. Простая и сложная гипотезы. Пространство наблюдений, сигналов и решений. Байесовские системы.
106. Точечные и интервальные оценки. Эффективные оценки. Неравенство Крамера-Рао.
107. Достаточность и состоятельность оценок.
108. Байесовские оценки. Оценки максимального правдоподобия.
109. Оценки параметров случайных процессов.
110. Понятие о волнах. Примеры волновых движений. Волновое уравнение и его модификации.
111. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Поляризация волн.
112. Энергия электромагнитного поля. Плоские волны.

113. Распространение электромагнитных волн в поглощающих средах.
114. Распространение волн в диспергирующих средах. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
115. Связь между дисперсией и поглощением. Дисперсия электромагнитных волн в неполярных и полярных диэлектриках.
116. Диэлектрическая проницаемость сред со свободными зарядами. Волновой пакет в диспергирующей среде.
117. Распространение волн в анизотропных средах. Тензор диэлектрической проницаемости.
118. Лучевой вектор. Распространение плоских волн в кристаллических средах.
119. Распространение плоских волн в магнитоактивной плазме.
120. Распространение электромагнитных волн в феррите.
121. Гиротропия ионосферы.
122. Распространение волн в нелинейных средах. Уравнения для нелинейных волн.
123. Метод медленно изменяющихся амплитуд. Условие фазового синхронизма. Генерация второй гармоники.
124. Трёхчастотные взаимодействия. Соотношения Мэнли-Роу.
125. Распадная неустойчивость волн. Самовоздействие волн.
126. Теория дифракции. Распространение ограниченных волновых пучков.
127. Метод Кирхгофа и функция Грина в теории дифракции. Угловой спектр плоских волн.
128. Параболическое уравнение в теории дифракции. Дифракция гауссова волнового пучка и сфокусированного пучка.
129. Самовоздействие волновых пучков и волновых пакетов в нелинейных средах.
130. Нелинейная рефракция при безабберационном и абберационном самовоздействии пучков.
131. Волноводное распространение пучков.
132. Самокомпрессия волновых пакетов.
133. Солитоны огибающих.
134. Уравнения Максвелла. Вектор Умова-Пойнтинга.
135. Волновое уравнение. Плоские и сферические волны. Параболическое приближение.
136. Моды свободного пространства. Фазовая и групповая скорости света.
137. Поляризация света. Вектор Джонса. Параметры
138. Стокса. Сфера Пуанкаре. Расчетные методы Джонса и Мюллера. Типы поляризационных устройств.
139. Отражение и преломление света на границе раздела изотропных сред.
140. Формулы Френеля.
141. Полное внутреннее отражение.
142. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
143. Отражение света от поверхности проводника.
144. Глубина проникновения.
145. Распространение света в анизотропных и гиротропных средах.
146. Волновые поверхности в кристаллах.
147. Лучи и волновые нормали.
148. Эллипсоид Френеля.
149. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов.

150. Двойное лучепреломление.
151. Коническая рефракция.
152. Электрооптические эффекты Керра и Поггеля.
153. Оптическая активность.
154. Эффект Фарадея.
155. Опыты Физо и Майкельсона.
156. Продольный и поперечный эффекты Доплера.
157. Асимптотическое решение волнового уравнения.
158. Геометро-оптическое приближение.
159. Уравнение эйконала.
160. Область применения лучевого приближения.
161. Принцип Ферма.
162. Гомоцентрические пучки.
163. Понятие оптического изображения.
164. Параксиальное приближение.
165. Преломление на сферической поверхности.
166. Сферические зеркала и линзы.
167. Образование каустик в оптических системах.
168. Геометрические aberrации третьего и более высоких порядков.
169. Хроматическая aberrация.
170. Типы оптических приборов.
171. Интерференция частично-когерентного излучения.
172. Комплексная степень когерентности.
173. Теорема Ван-Циттерта - Цернике.
174. Двухлучевая и многолучевая интерференция.
175. Сдвиговая и спекл-интерферометрия.
176. Многослойные покрытия.
177. Дифракция. Дифракционные интегралы Кирхгофа - Гюйгенса.
178. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
179. Эффект Тальбо.
180. Влияние дифракции на разрешающую силу систем, образующих изображение.
181. Дифракционная решетка.
182. Параболическая теория дифракции; гауссов пучок.
183. ABCD –метод; комплексный параметр кривизны.
184. Особенности дифракции некогерентного излучения.
185. Основы векторной теории дифракции.
186. Обратные задачи теории дифракции.
187. Синтез оптических элементов.
188. Киноформная оптика.
189. Классическая теория взаимодействия излучения с веществом.
190. Резонансное приближение.
191. Дисперсионные соотношения Крамерса - Кронига.
192. Оптические нутации.
193. Оптический эффект Штарка.
194. Фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность.
195. Солитоны.
196. Релаксационные процессы.

197. Уравнение для матрицы плотности.
198. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей.
199. Эффект насыщения.
200. Законы теплового излучения. Формула Планка.
201. Фотоэффект.
202. Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов.
203. Гамильтониан квантованного поля.
204. Коммутационные соотношения для операторов поля.
205. Однофотонные и многофотонные процессы.
206. Вероятности спонтанных и вынужденных переходов.
207. Коэффициенты Эйнштейна.
208. Квадрупольные и магнито-дипольные переходы.
209. Кооперативные эффекты.
210. Сверхизлучение.
211. Когерентное и комбинационное рассеяния.
212. Нелинейные восприимчивости. Распространение волн в нелинейной среде.
213. Метод медленно меняющихся амплитуд.
214. Условие синхронизма.
215. Генерация оптических гармоник.
216. Трёхволновое взаимодействие.
217. Параметрическое преобразование частоты.
218. Самофокусировка света.
219. Вынужденное и комбинационное рассеяние.
220. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.
221. Четырёхволновое взаимодействие.
222. Обращение волнового фронта.
223. Вещество в сверхсильном световом поле.
224. Временная и пространственная когерентность световых полей; корреляционные функции первого и высших порядков.
225. Спектральное представление. Теорема Винера-Хинчина.
226. Интерферометрия интенсивностей.
227. Опыт Брауна-Твисса.
228. Квантовые свойства световых полей.
229. Фоковское, когерентное и сжатое состояние поля.
230. Распределение Бозе-Эйнштейна. Параметр вырождения поля.
231. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов.
232. Связь статистик фотонов и фотоотчетов, формула Мандела для распределения фотоотчетов.
233. Дробовой шум.
234. Статистические свойства лазерного излучения.
235. Закон Кирхгофа и шумы квантовых усилителей света.
236. Флуктуационно-диссипационная теорема.
237. Корреляционная спектроскопия.
238. Эффекты группировки и антигруппировки фотонов.
239. Спонтанное параметрическое рассеяние света.
240. Бифотоны. Перепутанные состояния света.
241. Оптическая реализация кубитов и их преобразования.
242. Состояния Белла.

243. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.
244. Неравенства Белла.
245. Статистика частично поляризованного излучения. Поляризационная матрица.
246. Распространение волн в случайно неоднородной среде.
247. Корреляционные и структурные функции амплитуды и фазы.
248. Оптические модели атмосферной турбулентности.
249. Рассеяние света в дисперсной среде; уравнение переноса, диффузионное приближение.
250. Рассеяние света в биоткани.
251. Спектры атомов. Систематика спектров многоэлектронных атомов.
252. Типы связей электронов. Определение набора термов. Исходные термы.
253. Мультиплетная структура. Правила отбора. Взаимодействие конфигураций.
254. Спектры молекул. Адиабатическое приближение.
255. Группы симметрии молекул.
256. Колебательные спектры. Классификация нормальных колебаний по типам симметрии.
257. Вырождение. Резонанс Ферми.
258. Правила отбора в колебательных спектрах поглощения и комбинационного рассеяния.
259. Вращательная структура колебательных полос.
260. Электронные спектры молекул. Классификация электронных состояний двухатомных молекул.
261. Принцип Франка-Кондона.
262. Типы связи электронного движения и вращения.
263. Спектроскопия твердого тела. Переходы под действием света в идеальном кристалле.
264. Поглощение в инфракрасной области спектра и взаимодействие света с фононной подсистемой.
265. Переходы в электронной подсистеме.
266. Поглощение света в металлах. Запрещенная зона и область прозрачности в диэлектриках.
267. Экситоны Ванье-Мотта и Френкеля.
268. Область фундаментального поглощения. Переходы с основных уровней.
269. Эффекты Оже и Фано.
270. Эффекты на краях основного поглощения: EXAFS и XANES.
271. Понятие о поляритонах.
272. Спектроскопия дефектных состояний в кристаллах.  
Автолокализация экситонов и дырок в диэлектриках.
273. Вторичные эффекты в кристаллах: люминесценция, фотоэмиссия, дефектообразование под действием света.
274. Люминесценция. Классификация люминесценции по длительности свечения и способу ее возбуждения.
275. Молекулярная и рекомбинационная люминесценция.
276. Закон Стокса-Ломмеля.
277. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции
278. Левшина и универсальное соотношение между ними Степанова.
279. Закон Вавилова.

280. Триплетные состояния молекул и их роль в процессах деградации и миграции энергии электронного возбуждения.
281. Схема Теренина-Льюиса.
282. Тушение (температурное, концентрационное, посторонними веществами) люминесценции.
283. Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Люминесценция молекулярных кристаллов.
284. Теория Давыдова.
285. Кооперативные процессы в люминесценции.
286. Зонная модель люминесценции диэлектриков.
287. Размножение электронных возбуждений в твердом теле. Термовысвечивание и инфракрасная стимуляция.
288. Применение люминесцентных кристаллов в науке, технике и медицине.
289. Источники оптического излучения.
290. Тепловые, газоразрядные и лазерные источники.
291. Синхротронное излучение.
292. Оптические материалы.
293. Характеристики приемников излучения: спектральная и интегральная чувствительность, шумы, инерционность.
294. Приборы с зарядовой связью (ПЗС) - линейки, матрицы.
295. Техника спектроскопии. Светофильтры, призменные и дифракционные спектральные приборы, интерферометры.
296. Фурье-спектроскопия.
297. Основные характеристики приборов: аппаратная функция, разрешение, светосила, дисперсия.
298. Лазерная спектроскопия.
299. Запись и обработка оптической информации. Механизм записи и воспроизведения волновых полей с помощью двумерных и трехмерных голограмм.
300. Цифровые голограммы.
301. Переходные и передаточные функции оптических систем обработки информации.
302. зопланарность. Использование методов Фурье-оптики для оптической фильтрации и распознавания образов.
303. Коррекция и реконструкция изображений.
304. Методы компьютерной оптики.
305. Волоконная оптика. Типы волоконных световодов. Моды оптических волокон.
306. Затухание и дисперсия мод. Направленные ответвители.
307. Волоконные линии связи.
308. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.
309. Принцип работы лазера. Схемы накачки.
310. Теория Лэмба. Эффекты затягивания частоты и выгорания дыр. Лэмбовский провал.
311. Оптические резонаторы. Моды оптических резонаторов. Свойства лазерных пучков.
312. Типы лазеров. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры: лазеры на нейтральных атомах, ионные лазеры, молекулярные лазеры, лазеры на самоограниченных переходах.

313. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на центрах окраски.
314. Режимы работы лазеров. Непрерывные и импульсный режимы.
315. Пичковый режим. Модуляция добротности.
316. Синхронизация мод. Генерация сверхкоротких импульсов.
317. Принципы адаптивной оптики; коррекция волнового фронта лазерных пучков.
318. Экспериментальные обоснования квантовой теории.
319. Математический аппарат квантовой механики.
320. Операторы физических величин. Собственные функции и собственные значения операторов.
321. Состояние физической величины. Значения физических величин. Коммутационные соотношения. Интегралы движения.
322. Стационарные состояния. Спектр системы.
323. Постулаты квантовой механики. Физический смысл волновой функции.
324. Принцип суперпозиции. Принцип неопределенностей.
325. Уравнение Шрёдингера в координатном представлении. Общие свойства одномерного движения. Дискретный спектр. Потенциальные ямы. 326. Одномерный  $\Pi$ -потенциал.
327. Одномерная задача рассеяния. Непрерывный спектр. Потенциальные барьеры. Коэффициент прохождения.
328. Гармонический осциллятор
329. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Орбитальный и спиновый моменты импульса. Матрицы Паули. Полный момент импульса системы
330. Задача двух тел. Центральное-симметричное поле
331. Предмет теории возмущений. Поправки к собственным значениям и волновым функциям в теории возмущений.
332. Вариационный принцип. Квазиклассическое приближение.
333. Квантовая динамика. Нестационарное уравнение Шрёдингера.
334. Переходы в квантово-физических системах. Золотое правило Ферми.
335. Предмет, основные теоретические и экспериментальные методы и проблемы физики твердого тела. Структура твердых тел
336. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка.
337. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы.
338. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брегга.
339. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
340. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии.
341. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации.
342. Вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Переползание и скольжение.
343. Размножение дислокации.
344. Источник Франка-Рида.
345. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

346. Типы химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки. Энергетический спектр кристаллов.
347. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц.
348. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, плазмоны.
349. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс.
350. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия.
351. Плотность состояний.
352. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и , фермионы.
353. Взаимодействие квазичастиц.
354. Колебания решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний.
355. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота.
356. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей.
357. Ангармонизм и тепловое расширение. 358. Электронные состояния в кристаллах.
359. Одноэлектронная модель. Приближение сильной и слабой связи.
360. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ.
361. Электронная теплоемкость. Поверхность Ферми.
362. Тензор эффективных масс.
363. Электроны и дырки.
364. Циклотронная масса.
365. Положение Ферми уровня в невырожденных полупроводниках.
366. Электронные кинетические свойства твердых тел.
367. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность.
368. Времена релаксации.
369. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах.
370. Электрон-фононные столкновения.
371. Нормальные процессы, процессы переброса.
372. Магнитоспротивление и эффект Холла.
373. Металлы с большой длиной пробега электронов. Аномальный скин-эффект.
374. Циклотронный резонанс и размерные эффекты.
375. Проникновение электромагнитного поля в металл.
376. Геликоны.
377. Квантование орбит в магнитном поле.
378. Эффект де-Гааза-ван-Альфена.
379. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий.
380. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы.
381. Температурная зависимость проводимости, p-n переходы.
382. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей.
383. Горячие носители. Эффект Ганна.
384. Механические, оптические, магнитные свойства твердых тел.
385. Тензор упругих постоянных и упругая деформация.
386. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.
387. Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями.
388. Решеточное поглощение. Многофононные процессы.

389. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями.
390. Правила отбора. Междузонные косые и прямые переходы.
391. Экситоны. Люминесценция.
392. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безызлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.
393. Диамагнетизм свободного электронного газа.
394. Спиновый парамагнетизм.
395. Закон Кюри.
396. Ферромагнетизм.
397. Молекулярное поле Вейсса.
398. Обменное взаимодействие.
399. Ферромагнитные домены.
400. Энергия анизотропии. 401. Доменная стенка.
402. Антиферромагнетики.
403. Ферриты.
404. Диэлектрики.
405. Эффективное поле.
406. Электрострикция и пьезоэлектричество.
407. Пирозлектрики и сегнетоэлектрики.
408. Электрический гистерезис, аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов.
409. Молекулярные кристаллы.
410. Термодинамика и фазовые переходы. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода.
411. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы.
412. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз.
413. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений.
414. Диффузионные и бездиффузионные превращения.
415. Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников.
416. Эффект Мейснера.
417. Сверхпроводники I и II рода.
418. Вихри и вихревые структуры.
419. Основы микроскопической и термодинамической теорий.
420. Куперовские пары.
421. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике.
422. Туннельный эффект.
423. Эффект Джозефсона.
424. Экспериментальные методы физики твердого тела
425. Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры.
426. Электронография и электронная микроскопия.
427. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров.
428. Эффект Мёссбауэра.
429. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.
430. Оптические методы исследования: возможности, связанные с использованием лазерных источников света.

431. Размерное квантование. Основные типы наноструктур и их квантово-механические модели.
432. Квантовое ограничение и размерность электронной системы. Элементарные наноструктуры: квантовые ямы, нити, точки, полупроводниковые сверхрешетки.
433. Электронные свойства квантовых низкоразмерных структур.
434. Энергетический спектр и волновые функции электронного газа.
435. Подзоны размерного квантования.
436. Распределение плотности состояний в структурами с квантовыми ямами, в квантовых нитях и точках.
437. Равновесные концентрации электронов в системах пониженной размерности.
438. Энергетический спектр сверхрешетки. Влияние на энергетический спектр магнитного поля.
439. Эффективное понижение размерности системы.
440. Уровни Ландау.
441. Движение электрона в однородном электрическом поле.
442. Блоховские осцилляции.
443. Лестница уровней Штарка.
444. Двумерный электронный газ в МДП структурах.
445. Основные положения теории приповерхностной области пространственного заряда полупроводника Гаретта и Браттейна.
446. Зависимость электростатического потенциала от координаты в режиме сильной инверсии.
447. Условия образования двумерного электронного газа в инверсном слое МДП структуры.
448. Квантово-механическая модель приповерхностной ОПЗ полупроводника.
449. Методы расчета энергетического спектра.
450. Приближение треугольного потенциала.
451. Плотность распределения квантовых состояний.
452. Поверхностная концентрация 2D электронов в подзонах размерного квантования.
453. Зависимость плотности заряда от координаты.
454. Экранирование электрического поля.
455. Кинетические эффекты в двумерных наноструктурах. Время релаксации и подвижность носителей в двумерном электронном газе.
456. Механизмы рассеяния. Кинетические явления в двумерных структурах.
457. Квантование Ландау и осцилляции Ванье-Штарка.
458. Модулированное легирование.
459. Полевые транзисторы на электронах с высокой подвижностью.
460. Баллистический транспорт. Приборы баллистического транспорта.
461. Квантовый эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла.  
Дробный квантовый эффект Холла и его интерпретация.
462. Дробные заряды и промежуточная статистика. Композитные фермионы.
463. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова. ионная и ковалентная связь.
464. Структуры важнейших полупроводников - элементов  $A^{IV}$ ,  $A^{VI}$  и соединений типов  $A^V$ ,  $A^nB^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$ .

465. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура.
466. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле.
467. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
468. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках.
469. Химическая природа и электронные свойства примесей.
470. Точечные, линейные и двумерные дефекты.
471. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.
472. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы).
473. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.
474. Методы легирования полупроводников.
475. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.
476. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла.
477. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.
478. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности.
479. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.
480. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы.
481. Искривление энергетических зон в электрическом поле.
482. Движение электронов и дырок в магнитном поле.
483. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса.
484. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.
485. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках.
486. Доноры и акцепторы.
487. Мелкие и глубокие уровни.
488. Водородоподобные примесные центры.
489. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний.
490. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ.
491. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний.
492. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках.
493. Многозарядные примесные центры.
494. Кинетические коэффициенты - проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС.
495. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла.
496. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.
497. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.

498. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами.
499. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны.
500. Отрицательная дифференциальная проводимость.
501. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.
502. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми.
503. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни.
504. Фотопроводимость.
505. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.
506. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда.
507. Амбиполярная диффузия.
508. Эффект Дембера.
509. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.
510. Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник.
511. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта.
512. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.
513. Энергетическая диаграмма р-п перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в р-п переходе.
514. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов.
515. Варизонные полупроводники.
516. Поверхностные состояния и поверхностные зоны.
517. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности.
518. Поверхностная рекомбинация
519. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.
520. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига.
521. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов.
522. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение.
523. Поглощение света на свободных носителях заряда.
524. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана - Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна - Мандельштама).
525. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
526. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.
527. Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса.
528. Эффект Бурштейна-Мосса.

529. Эффекты Фарадея и Фойгта.
530. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость.
531. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость.
532. Фоторазогрев носителей заряда.
533. Фотоэлектромагнитный эффект.
534. Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников.
535. Идеальное стекло.
536. Гидрированные аморфные полупроводники.
537. Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.
538. Легирование некристаллических полупроводников.
539. Механизмы переноса носителей заряда. Прыжковая проводимость. Закон Мотта.
540. Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.
541. Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос.
542. Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.
543. Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются.
544. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования.
545. Квантовые нити. Квантовые точки.
546. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.
547. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов.
548. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.
549. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза.
550. Общее представление о квантовом эффекте Холла.
551. Вольтамперная характеристика р-п перехода. Приборы с использованием р-п переходов.
552. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор.
553. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник 554. Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью.
555. Шумы в полупроводниковых приборах.
556. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность.
557. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.
558. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.

559. Использование наноструктур в полупроводниковых приборах. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (HEMT).
560. Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками.
561. Резонансное туннелирование в двухбарьернойгетероструктуре и резонансно-туннельный диод. 562. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.

### РАЗДЕЛ 3. ОБРАЗЕЦ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

#### Билет №1 (1.3.3 Теоретическая физика)

1. Уравнения электромагнитных волн в сплошной среде. Уравнения поля в отсутствие дисперсии.
2. Спин. Оператор спина. Уравнение Паули. Тонкая структура атомных уровней. Эффект Зеемана. 3. Энергия Ферми. Поверхность Ферми.

#### Билет №2 (1.3.4 Радиофизика)

1. Методы приближенного рассмотрения колебательных систем. Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью.
2. Уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова. Понятие «белого» шума. 3. Самокомпрессия волновых пакетов. Солитоны огибающих.

#### Билет №3 (1.3.6 Оптика)

1. Оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов. Двойное лучепреломление.
2. Сферические зеркала и линзы.
3. Рассеяние света в дисперсной среде; уравнение переноса, диффузионное приближение.

#### Билет №4 (1.3.8 Физика конденсированного состояния)

1. Предмет теории возмущений. Поправки к собственным значениям и волновым функциям в теории возмущений
2. Распределение плотности состояний в структурах с квантовыми ямами, в квантовых нитях и точках. 3. Колебания решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний.

#### Билет №5 (1.3.11 Физика полупроводников)

1. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура.
2. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах.
3. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор.

#### РАЗДЕЛ 4. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ ПРЕТЕНДЕНТОВ НА ПОСТУПЛЕНИЕ В АСПИРАНТУРУ

Вступительное испытание оценивает знания в области соответствующей научной дисциплины, навыки и способности поступающих, необходимые для обучения по программам аспирантуры, реализуемых группой научных специальностей аспирантуры 1.3 Физические науки. Экзамен включает ответы на три теоретических вопроса по темам программы вступительных испытаний в аспирантуру по соответствующему профилю. Вопросы являются равнозначными по сложности. Уровень знаний поступающего оценивается по 100-балльной системе.

Критерии оценивания результатов ответа по уровням (оценкам)

Оценка	Критерии оценки
91 - 100 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дает развернутый и правильный ответ на поставленные в экзаменационном билете и дополнительные вопросы.</li> <li>2. Излагает материал в логической последовательности, грамотным научным языком.</li> <li>3. Показывает навыки практического использования приобретенных знаний, а также знание источников.</li> </ol>
61 - 90 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дает недостаточно глубокие ответы на поставленные в экзаменационном билете и дополнительные вопросы.</li> <li>2. Допускает несущественные ошибки в изложении теоретического материала, самостоятельно исправленные после дополнительного вопроса экзаменатора.</li> </ol>
30 - 60 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дает ответы, содержащие основную суть, но при этом допускаются существенные ошибки.</li> <li>2. Испытывает затруднения при ответе на вопросы экзаменаторов. Требуется уточняющие и наводящие вопросы.</li> <li>3. Демонстрирует нарушение логики изложения.</li> </ol>
29 баллов и менее	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обнаруживает незнание или непонимание наиболее существенной части вопросов по экзаменационному билету или дополнительным вопросам экзаменатора.</li> <li>2. Допускает существенные ошибки, которые не может исправить с помощью наводящих вопросов экзаменатора.</li> <li>3. Демонстрирует грубое нарушение логики изложения.</li> </ol>