

# **Аннотации рабочих программ дисциплин по направлению подготовки 22.06.01–Технологии материалов (специальность 05.16.01–Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов)**

## **Б1. Базовая часть**

### **Б1.Б.1 История и философия науки**

Настоящая программа философской части кандидатского экзамена по курсу "История и философия науки" предназначена для аспирантов и соискателей всех научных специальностей. Она представляет собой введение в общую проблематику философии науки. Наука рассматривается в широком социокультурном контексте и в ее историческом развитии. Особое внимание уделяется проблемам кризиса современной техногенной цивилизации и глобальным тенденциям смены научной картины мира, типов научной рациональности, системам ценностей, на которые ориентируются ученые. Программа ориентирована на анализ основных мировоззренческих и методологических проблем, возникающих в науке на современном этапе ее развития и получение представления о тенденциях исторического развития науки.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-2, УК-5, УК-6
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-4, ОПК-16, ОПК-19

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен.

## **Б1.Б.2 Иностранный язык (английский язык)**

Цели дисциплины: достижение практического владения иностранным языком, позволяющего использовать его в научной работе; подготовка к сдаче кандидатского минимума по иностранному языку.

Задачи дисциплины: практическое владение иностранным языком в рамках данного курса предполагает формирование и развитие таких навыков и умений в различных видах речевой коммуникации, которые дают возможность:

- свободно читать оригинальную научную литературу на иностранном языке;
- оформлять извлеченную из иностранных источников информацию в виде перевода или резюме;
- делать сообщения и доклады на иностранном языке на темы, связанные с научной работой аспиранта (экстерна);
- вести беседу по специальности на иностранном языке.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 5 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен.

## **Б1.В Вариативная часть**

### **Б1.В.ОД Обязательные дисциплины**

#### **Б1.В.ОД.7 Физика конденсированного состояния**

**Цель дисциплины:** дать студентам целостное представление о физике конденсированного состояния и на этой основе познакомить с современным состоянием области, с новыми физическими концепциями, с перспективами их применения, а также познакомить с основными текущими проблемами.

**Задачи дисциплины:**

- ознакомить с базисными теоретическими концепциями, с основными моделями и методами исследования в физике конденсированного состояния;
- обеспечить студентам понимание общих проблем и освоение основных методов физики конденсированного состояния, развить навыки самостоятельного изучения проблем;
- ознакомить с перспективными направлениями исследований в физике конденсированного состояния, с потенциально возможными практическими реализациями фундаментальных физических результатов.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Типы связи: ионная, металлическая, ковалентная, водородная и молекулярная связи.
- 2 Структура твердых тел.
- 3 Структура кристаллов: 2D и 3D решетки Браве.
- 4 Колебания решетки, фононы, фононная теплоемкость и теплопроводность кристаллов.
- 5 Квантовая механика частицы в периодическом потенциале, теорема Блоха, функции Блоха и Ваннье, квазиимпульс, плотность состояний, метод почти свободных электронов и метод сильной связи.
- 6 Метод эффективной массы для описания движения электронов во внешних полях, влияние дефектов на электронный спектр кристаллов, поверхностные состояния.
- 7 Спин-орбитальное взаимодействие, его влияние на электронный спектр, уравнение Дирака. Топологические свойства зонной структуры и топологические изоляторы.
- 8 Динамика Блоховских электронов.
- 9 Электронный транспорт, уравнение Больцмана, метод функций Грина.
- 10 Много частичные системы, метод вторичного квантования, фермионы и бозоны.
- 11 Классификация фаз в физике конденсированного состояния.
- 12 Магнетизм атомов и молекул.
- 13 Магнитные свойства металлов, диамагнетизм, парамагнетизм, модель Хаббарда, спиновый лед и спиновая жидкость, магнитные монополи в спиновом льде.
- 14 Сверхпроводимость.
- 15 Эффект Холла.
- 16 Конденсация Бозе-Эйнштейна, незапутанные и запутанные много частичные состояния.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-6, ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.1 Магнитные свойства твердых тел**

**Целью** дисциплины является изложение основ физики магнитных явлений в конденсированных средах. Наряду с традиционными разделами физики магнитных явлений в курсе затрагиваются современные проблемы (такие как обменная анизотропия в обменно-связанных гетероструктурах, доменная структура и процессы перемагничивания в квазидвумерных наномагнетиках).

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Спин и спиновый магнитный момент электрона.
- 2 Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
- 3 Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса.
- 4 Парамагнетизм Ланжевена. Парамагнетизм ионов группы железа и редких земель.
- 5 Замораживание орбитальных моментов в кристаллическом поле.
- 6 Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
- 7 Ферромагнетизм, антиферромагнетизм.
- 8 Природа ферромагнетизма. Роль обменного взаимодействия.
- 9 Теория технической кривой намагничивания.
- 10 Основные типы взаимодействий в ферромагнитном кристалле. Энергия магнитной анизотропии, магнитострикция.
- 11 Ферромагнитные домены.
- 12 Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
- 13 Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков.
- 14 Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
- 15 Спиновые волны, магноны. Энергетический спектр магнетиков.
- 16 Магнитные гетероструктуры, доменная структура и процессы перемагничивания в квазидвумерных наномагнетиках

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.2 Дифракционные методы исследования структуры и состава материалов.**

**Целью курса является** научить слушателей основам физики дифракции, основным методам структурного анализа материалов, обучить постановке и проведению исследований структуры и состава материалов дифракционными методами исследований, научить обработке получаемых из эксперимента данных.

**Задачи:** свободно владеть основами методами физики дифракции, основами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии, основами теории симметрии и кристаллографии, основными определениями и терминологией в области дифракционных методов рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Основные понятия симметрии кристаллов
- 2 Дифракционные методы исследования структуры материалов
- 3 Основы динамической теории рассеяния
- 4 Определение симметрии, параметров решетки и структуры кристаллов методами РСА
- 5 Интегральные рентгеновские методы исследования дефектов в кристаллах
- 6 Рентгеновская дифракционная топография
- 7 Электронная микроскопия высокого разрешения
- 8 Основы растровой электронной микроскопии (РЭМ)
- 9 Методы исследования поверхности материала
- 10 Инженерные основы вакуумной техники

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-3, УК-6
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9, ОПК-19
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

## **Б1.В.ОД.6 Физика дефектов**

**Целью** дисциплины является изложение основ физики дефектов кристаллического строения. Наряду с традиционными разделами физики дефектов кристаллического строения в курсе затрагиваются современные проблемы (такие как фазовые превращения на двумерных дефектах).

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

#### **1 Точечные дефекты**

Вакансии. Атомы внедрения межузельные атомы. Их образование и движение. Дефекты Френкеля и Шоттки. Реакции точечных дефектов, электронные свойства точечных дефектов.

#### **2 Линейные дефекты**

Дислокации. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Переползание и скольжение. Взаимодействие дислокаций между собой и с примесями. Пластическая деформация как результат движения дислокации. Процессы размножения дислокаций, источники дислокаций. Подвижность дислокации. Механизмы движения.

#### **3 Двумерные дефекты. Внешние поверхности.**

Ограничение – потеря огранки внешних поверхностей с изменением температуры. Метод диаграмм Вульфа. Связь с барьером Пайерлса (огранка в металлах, полупроводниках, диэлектриках). Ребра первого и второго рода между гранями и неограниченными поверхностями. Модели Андреева и Покровского-Талапова. Реконструкция чистых поверхностей. Адсорбция на внешних поверхностях (однослойная и многослойная).

#### **4 Двумерные дефекты. Внутренние границы раздела**

Вспомогательные решетки: решетка совпадающих узлов, полная решетка наложений, решетка зернограницных сдвигов, 0-решетка. Идеальные и неидеальные решетки. Малоугловые и высокоугловые (большеугловые) границы зерен. Слияние ядер решеточных дислокаций. Зернограницные дислокации. Ограничение – потеря огранки границ зерен с изменением температуры. Отличие от ограничения – потери огранки внешних поверхностей. Внутренние границы раздела в двух- и многокомпонентных системах. Адсорбция на границах зерен и межфазных границах. Переходы смачивания первого и второго рода. Переход от двумерных дефектов к трехмерным.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9, ОПК-17
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

### **Б1.В.ОД.3 Фазовые превращения**

**Целью** дисциплины является изложение основ теории фазовых превращений. Наряду с традиционными разделами в курсе затрагиваются современные проблемы (такие как фазовые превращения и их кинетика в неравновесных системах: аморфных и нанокристаллических).

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

#### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Введение.
- 2 Фазовые переходы первого рода. Фазовые переходы второго рода
- 3 Диффузионные фазовые превращения в твердом теле.
- 4 Превращения типа зарождение –рост. Теория зарождения. Гомогенное зарождение.
- 5 Превращения типа зарождение –рост.  
Гетерогенное зарождение. Нестационарное зарождение.
- 6 Непрерывные выделения: Спинодальный распад, непрерывное упорядочение.
- 7 Влияние энергии деформации на нестабильность структуры.
- 8 Роль структуры поверхности раздела в процессах роста.
- 9 Конкурентный рост – коалесценция по Оствальду.
- 10 Рост выделений, контролируемый объемной диффузией.
- 11 Бездиффузионные фазовые превращения.
- 12 Механические эффекты в упругих неупругих мартенситных превращениях.
- 13 Формирование структуры сильно неравновесных систем (аморфных, квазикристаллических и нанокристаллических).  
Аморфные сплавы.
- 14 Эволюция сильно неравновесных систем при внешних воздействиях.  
Образование нанокристаллических структур. Стабильность структуры нанокристаллических систем.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-5, ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.4 Фазовые диаграммы многокомпонентных систем**

**Целью** дисциплины является изложение основ применения термодинамики к построению фазовых диаграмм бинарных и многокомпонентных систем. Наряду с традиционными разделами в курсе затрагиваются современные проблемы (такие как фазовая диаграмма системы железо-углерод, фазы и структурные составляющие сталей, фазовые превращения в системах металл-газ).

**Задачи:** овладеть набором понятий и определений в рамках данного курса, освоить основные правила и закономерности в построении фазовых диаграмм бинарных и многокомпонентных систем, привить учащимся навыки самостоятельной работы с учебными пособиями и монографической учебной литературой.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Основные понятия, используемые при изучении фазовых равновесий.**  
Фазы, независимые компоненты, стабильные и метастабильные равновесия. Правило фаз Гиббса. Условия равновесия фаз на T-P-x и T-V-x диаграммах.
- 2 Однокомпонентные системы.**  
Температуры плавления стабильных и метастабильных фаз. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Уравнение Вант-Гоффа для переходов газ – твердое тело. Критическая точка типа жидкость-пар.
- 3 Двухкомпонентные системы.**  
Условия равновесия двух фаз. Метод общей касательной. Правило рычага. Твердые растворы. Энтальпия ( $\Delta H_{см}$ ) и энтропия смешения. Анализ возможных типов диаграмм состояния исходя из взаимного расположения кривых свободной энергии фаз. Системы с неограниченной растворимостью компонентов ( $\Delta H_{см} < 0$ ). Диаграммы типа сигары, кривые плавления с максимумом и минимумом, точки равной концентрации. Расслоение растворов ( $\Delta H_{см} > 0$ ). Основные типы диаграмм систем с различной кристаллической структурой компонентов, промежуточными соединениями и полиморфными модификациями: эвтектические, перитектические, монотектические, синтектические, метатектические, диаграммы с ретроградным плавлением. Фазовая диаграмма системы железо-углерод.
- 4 Трехкомпонентные системы.**  
Концентрационный треугольник Гиббса и его особые сечения. Правило рычага для тройных систем. Системы без твердых растворов. I и II правило Свенсона. Системы с твердыми растворами. Теорема Райнза. Построение конод. Правило креста. Простейшие типы диаграмм состояния.
- 5 Четырехкомпонентные системы.**  
Особые сечения и проекции концентрационного тетраэдра. Изотермические тетраэдры. Правило креста и правило фаз Райнза.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-6
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-1
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.



## **Б1.В.ОД.5 Прикладное материаловедение**

Прикладное материаловедение – область науки и техники, занимающаяся изучением связи между химическим составом, фазовым составом, кристаллической структурой, структурным состоянием и свойствами металлов и сплавов, а также поведением их под влиянием различных внешних воздействий; разработкой физико-химических основ создания новых металлических материалов с заданными свойствами и новых технологических процессов пластической, термической, химико-термической и термомеханической обработки. **Целью** дисциплины является изложение современных представлений о деформации и разрушении твердых тел.

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Тензорные представления о пластической деформации.
- 2 Дислокации в упругой среде, типы дислокаций, напряжения вокруг дислокаций.
- 3 Деформация монокристаллов.
- 4 Деформация поликристаллов. Принцип Мизеса. Кристаллографическая текстура. Связь структуры и механических свойств, соотношение Холла-Петча для чистых металлов. Особая роль границ зерен в процессе деформации и разрушения. Примеси на границах зерен. Зарождение и распространение трещин. Интеркристаллитное и транскристаллитное разрушение.
- 5 Влияние температуры на процессы пластической деформации. Ползучесть. Кратковременная и длительная прочность.
- 6 Технические методы определения механических свойств.
- 7 Прочность и пластичность конструкционных и функциональных материалов.
- 8 Механические свойства металлических сплавов.
- 9 Механические свойства сплавов с дисперсионным упрочнением.
- 10 Механические свойства многофазных сплавов. Естественные и искусственные композиты. Области применения.
- 11 Механические свойства сталей. Типы сталей. Влияние термообработки на свойства сталей

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-3, ОПК-8, ОПК-9, ОПК-11, ОПК-12, ОПК-13
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

## **Б1.В.ОД.8 Педагогика высшей школы**

Целью курса является - теоретическая и методическая подготовка аспирантов к самостоятельной преподавательской деятельности. На основе знаний, полученных в ходе изучения общепрофессиональных дисциплин, сформировать у аспирантов компетенции, позволяющие преподавать дисциплины физического профиля наиболее оптимальным и научно обоснованным образом.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Общие основы педагогики. Объект, предмет, задачи и основные категории педагогики высшей школы
- 2 История развития педагогики высшей школы за рубежом
- 3 История развития педагогики высшей школы в России
- 4 Теоретические основы методики преподавания
- 5 Документальное и методическое обеспечение образовательного процесса. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования
- 6 Основные формы преподавания Принципы, методы и организационные формы обучения в вузе.
- 7 Целостный процесс обучения в высшей школе. Болонский процесс и другие интеграционные процессы в развитии высшего образования.
- 8 Средства преподавания и инновационные образовательные технологии
- 9 Методика руководства учебно-исследовательской работой студента. Воспитательная роль научного руководителя студента

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-17, ОПК-19

Общая трудоемкость дисциплины: 1 зачетная единица.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ДВ Элективный (по выбору) дисциплины**

### **Б1.В.ДВ.1.1 Тепловые свойства твердых тел. Колебания решетки**

Целью курса является изложение теоретических и экспериментальных основ физики динамики решетки, методов термодинамики в физике твердого тела. Наряду с традиционными разделами физики кристаллической решетки в курсе затрагиваются проблемы квантовых кристаллов и квантовых жидкостей, слушатели получают представление о практической термометрии при разных температурах.

**Задачи:** получить представление о современном положении и свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

#### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Дифракция в кристаллах. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Форм-фактор. Температурная зависимость линий отражения.
- 2 Типы связей в кристаллах. Кристаллы инертных газов. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлические кристаллы. Водородные связи.
- 3 Упругие свойства кристаллов. Упругие деформации. Упругие волны в кристаллах. Определение упругих постоянных. Звук в твердых телах.
- 4 Фононы и колебания решетки. Квантовый характер колебаний решетки. Колебания в решетке одинаковых атомов. Решетка с двумя атомами в примитивной ячейке. Локальные фононные колебания.
- 5 Тепловые свойства диэлектриков. Теплоемкость, модель Эйнштейна и Дебая. Ангармонические взаимодействия в кристаллах. Теплоемкость аморфных веществ. Фононы в наноструктурах.
- 6 Экспериментальные методы определения фононного спектра. Рассеяние нейтронов и электромагнитного излучения кристаллом. Взаимодействия излучения с колебаниями решетки, Рамановское рассеяние света.
- 7 Теплопроводность. Фононы и уравнение Больцмана. N и U процессы. Второй звук.
- 8 Теплопроводность идеальных и неидеальных кристаллов, аморфных тел.
- 9 Квантовые кристаллы и жидкости. Параметр де Бюра. Нулевые колебания. Фазовая диаграмма квантовых жидкостей
- 10 Методы получения низких температур. Экспериментальная физика низких температур. Криостаты на откачке паров криогенных жидкостей, криостаты растворения и размагничивания. Pulsetubes.
- 11 Свойства твердых тел при низких температурах. Перенос тепла и теплоизоляция.
- 12 Основы измерения температура и температурные шкалы. Первичные и вторичные температурные шкалы. Реперные точки
- 13 Практические методы измерения температуры.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ДВ.1.2 Экспериментальные методы физики твердого тела**

**Целью** дисциплины является ознакомление студентов с основными спектроскопическими методами, широко используемые в современных экспериментальных исследованиях твердых тел.

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса, понимание основ спектроскопии и характера решаемых экспериментальных задач.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Поляризация диэлектриков: ионная, дипольная, электронная.
- 2 Термодинамика диэлектриков. Дебаевская релаксация.
- 3 Методы исследования диэлектрической проницаемости и проводимости в широком интервале частот.
- 4 Ядерный гамма-резонанс.
- 5 Методика эксперимента. Источники резонансных гамма-квантов. Стандартизация положений резонансных линий. Регистрация мессбауэровских гамма-квантов. Использование эффекта Мессбауэра в физических исследованиях. Методы обработки спектров и получаемая информация.
- 6 Взаимодействие оптического излучения с атомарной и электронной подсистемами.
- 7 Техника инфракрасной спектроскопии: дисперсионные и Фурье-спектрометры.
- 8 Колебательная спектроскопия молекул. Валентные и деформационные колебания.
- 9 Изменения ИК – спектров при переходе к кристаллическим структурам материалов.
- 10 Атомно-силовая спектроскопия. Современные методы зондовой микроскопии/спектроскопии.
- 11 Туннельная микроскопия/спектроскопия. Принцип работы СТМ, атомная и электронная структура поверхности.
- 12 Методики атомно-силовой микроскопии.
- 13 Явление комбинационного рассеяния света (эффект Рамана) – основные представления.
- 14 Резонансное КР света. Электронное КР света.
- 15 Методы КР (Рамановской) спектроскопии
- 16 Механизмы поглощения в полупроводниках и диэлектриках: собственное (фундаментальное) поглощение при межзонных оптических переходах.
- 17 Экситонное поглощение, экситон Ванье-Мотта и экситон Френкеля.
- 18 Люминесценция кристаллов.  
Экситонная люминесценция. Поляритоны. Люминесценция при локализации экситонов и наличии примесей.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9, ОПК-18
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2, ПК-4

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

### **Б1.В.ДВ.1.3 Физика двумерных электронных систем**

**Целью** дисциплины является ознакомление студентов с основными положениями физики низкоразмерных систем, ставшей к настоящему времени одним из магистральных направлений современной физики твердого тела и твердотельной электроники.

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса, умение решать стандартные задачи по физике двумерных электронных систем.

#### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Общие причины специального интереса к низкоразмерным заряженным системам. Примеры 2D заряженных структур: Классические (электроны над гелием), квантовые (гетеро-структуры, МДП-структуры).
- 2 Спектральные характеристики 2D заряженных структур: дискретная часть спектра, подзоны со сплошным спектром, влияние на спектр прижимающего электрического и магнитного полей с разной ориентацией по отношению к плоскости 2D системы.
- 3 Экранирование. Электростатическая структура инверсионных и аккумуляционных слоев. Связь с диэлектрической постоянной слабо проводящих диэлектрических сред, электролитический конденсатор.
- 4 2D плазменные колебания разной природы с участием магнитного поля и без него.
- 5 Элементы 2D транспорта. Рассеяние 2D электронов на различных дефектах, тензоры проводимости и сопротивления. Использование ячеек прямоугольной и Корбино геометрий. Необходимость расчета вольт-амперной характеристики (ВАХ).
- 6 Классические эффекты локализации, двумерные поляроны, кулоновская (вигнеровская) кристаллизация. Фазовый переход Костерлица – Таулеса.
- 7 Квази-одномерные каналы с управляемыми параметрами, квантовые точки. Квантовые компьютеры.
- 8 Перколяционные явления. Сильная и слабая локализация. Скейлинг в трехмерных, двумерных и одномерных системах.
- 9 Целочисленный квантовый эффект Холла (КЭХ). Экспериментальные аспекты и метрологические возможности. Трактовка КЭХ в «однородном» представлении.
- 10 Целочисленный квантовый эффект Холла в регулярно неоднородных 2D системах. Магнитоемкость, транспорт в Корбино и холловских образцах. Пробой в условиях целочисленного КЭХ.
- 11 Поведение замагниченной 2D электронной системы в переменных электрическом и магнитном полях
- 12 Магнитооптика двумерных систем.
- 13 Дробный КЭХ.
- 14 Графен.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-6
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9, ОПК-10
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ДВ.1.4 Физика полупроводников**

**Целью** дисциплины является изложение основ физики полупроводников. Наряду с традиционными разделами физики полупроводников в курсе затрагиваются современные проблемы (такие как поляритоны в объемных полупроводниках и полупроводниковых квазидвумерных наноструктурах).

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Элементы зонной теории полупроводников (полупроводники во внешних полях, неидеальные кристаллы). Средние значения скорости и ускорения электрона, электроны и дырки.
- 2 Закон дисперсии электронов и дырок. Эффективная масса. Примеры зонной структуры полупроводников.
- 3 Метод эффективной массы. Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле (квантовая теория), энергетический спектр электронов и дырок в постоянном электрическом поле (квантовая теория), мелкие примесные уровни.
- 4 Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
- 5 Распределение Гиббса. Определение положения уровня Ферми в собственном полупроводнике и в легированных полупроводниках
- 6 Явления в контактах. Потенциальные барьеры, плотность тока, соотношение Эйнштейна, условия равновесия тел, термоэлектронная работа выхода, контактная разность потенциалов.
- 7 Распределение концентрации электронов и потенциала в слое объемного заряда, длина экранирования, обогащенный и истощенный слой. Выпрямление в контакте металл – полупроводник, p-n-переход.
- 8 Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках.
- 9 Проблемы обоснования зонной теории. Адиабатическое приближение, приближение малых колебаний, метод самосогласованного поля.
- 10 Поляроны, экситоны, экситонные молекулы, ионизация экситонов, электрон-дырочная плазма, электрон-дырочная жидкость.
- 11 Оптические переходы в прямых и непрямых полупроводниках. Межзонное и экситонное поглощение и излучение.
- 12 Усиление и генерация света в активных средах. Стимулированное излучение. Инжекционные полупроводниковые лазеры. Поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором
- 13 Поляритоны в объемных полупроводниках.
- 14 Поляритоны в полупроводниковых микрорезонаторах.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ДВ.1.5 Физика поверхности**

**Целью** дисциплины является изложение базовых знаний о том, как устроены поверхности твердых тел, какими специфическими свойствами они обладают и какие процессы протекают на поверхности. В курсе рассматриваются атомная и электронная структура поверхности, поверхности раздела металл-полупроводник, гетероструктуры, адсорбция, химические реакции и рост пленок, а также основные современные методы исследования поверхности.

**Задачи:** свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Введение. Роль поверхности в различных физико-химических процессах.
- 2 Физика и техника сверхвысокого вакуума.  
Методы получения атомарно-чистой поверхности: термическая десорбция; ионное травление; каталитические реакции; напыление; скол в вакууме.
- 3 Основы двумерной кристаллографии.
- 4 Методы исследования поверхности.
- 5 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия: физические основы метода, особенности эксперимента и оборудование.
- 6 Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия. Исследования с применением синхротронного излучения. Резонансная фотоэмиссия.
- 7 Электронная Оже-спектроскопия.  
Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов.
- 8 Методы и принципы ионной спектроскопии.
- 9 Зондовые методы исследования поверхности.
- 10 Электронная структура и свойства поверхности.
- 11 Электронные и атомные процессы на поверхности твердых тел.
- 12 Диффузия на поверхности твердых тел.
- 13 Рост пленок и структура тонких пленок.
- 14 Формирование наноструктур. Атомное и молекулярное наноманипулирование.

Коды формируемых компетенций: процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальные компетенции (УК): УК-3
- общепрофессиональные компетенции (ОПК): ОПК-9
- профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.