

# Аннотации рабочих программ дисциплин по направлению подготовки 28.04.04 – Наносистемы и наноматериалы (магистратура)

## Б1. Базовая часть

### Б1.Б.1 Английский язык

Автор программы:

Целями освоения дисциплины «Английский язык» являются:

- обеспечить выпускников магистратуры владением иностранным языком как средством делового общения для решения профессиональных задач в соответствии с видами профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС ВО по данному направлению подготовки;
- повышение исходного уровня владения иностранным языком, достигнутого на предыдущей ступени образования, и формирование способности и готовности к межкультурной коммуникации в профессиональной сфере;
- повышение уровня учебной автономии, способности к непрерывному самообразованию, к работе с мультимедийными программами, электронными словарями, иноязычными ресурсами сети Интернет с целью развития умения самостоятельно приобретать знания для осуществления профессиональной коммуникации на иностранном языке.

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетных единиц.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

### Б1.Б.2 Философия и методология научного знания

Автор программы: доцент, к. ф. н., Панов С.В.

Целями освоения дисциплины «Философские вопросы естествознания» являются научить:

- 1) понятиям и общим проблемам философии естествознания, логике исторического развития науки, ее взаимодействия с социокультурным контекстом человеческого бытия;
- 2) дать представление о проблемах кризиса современной техногенной цивилизации и глобальным тенденциям смены научной картины мира, типах научной рациональности, системах ценностей научного творчества;
- 3) сформировать навыки анализа основных мировоззренческих и методологических проблем современной науки и тенденций ее развития.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Предмет и основные концепции современной философии естествознания
- 2 Наука в культуре современной цивилизации
- 3 Возникновение науки и основные стадии её исторической эволюции
- 4 Структура научного знания. Динамика науки как процесс порождения нового знания
- 5 Научные традиции и научные революции. Типы научной рациональности
- 6 Современный этап развития науки. Научно-технический прогресс. Наука как социальный институт
- 7 Философские вопросы математики и физики
- 8 Философские вопросы химии и техники

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

### **Б1.Б.3 Нанотехнологии**

Автор программы: доцент, к. ф.-м. н., Классен Н.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение методов формирования наноструктур, особенностей их физических и химических свойств по сравнению с объемными материалами, наиболее перспективных способов их практических применений, а также обучить принципиально новым подходам к созданию материалов, конструкций, приборов и устройств на основе нанотехнологий.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления применительно к наномасштабным объектам, умения ставить и решать задачи по анализу явлений в наноструктурах и разработке методик, материалов, конструкций, устройств и приборов на основе нанотехнологий.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Предмет «Нанотехнологии» как междисциплинарная область знаний, совмещающая достижения физики конденсированного состояния, физики поверхности, химии коллоидных систем, биофизики, биохимии, оптики и спектроскопии, микроэлектроники. История нанотехнологий и экологическая востребованность перехода от «серых» технологий к «зеленым».
- 2 Два подхода к формированию неорганических наномасштабных структур: сборка от отдельных атомов к молекулам, их кластерам и агломератам и от монолитных макроматериалов диспергированием до отдельных наночастиц. Газофазный и плазмохимический синтез, осаждение из коллоидных растворов, термодиффузия, терморазложение и термовосстановление, механосинтез.
- 3 Детонационный и электровзрывной синтез, синтез оксидов в жидких металлах, самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Использование термодиффузии, электрического взрыва, лазерной абляции, кавитационного диспергирования.
- 4 Получение компактных нанокристаллических материалов. Осаждение на подложку, кристаллизация аморфных сплавов, интенсивная пластическая деформация, превращения порядок – беспорядок, локальное пластическое деформирование приповерхностных слоев.
- 5 Формирование наноразмерных жидких и твердых композиций из неорганических наночастиц, органических и биоорганических мономеров и полимеров. Образование мицелл, глобул, наночепочек, углеродных фуллеренов и нанотрубок как полых, так и с различными видами атомно – молекулярных наполнителей.
- 6 Способы формирования тонких пленок и наночастиц на подложках по типу квантовых ям и квантовых точек. Использование биополимеров как темплатов и стабилизаторов для формирования одномерных, двумерных и трехмерных неорганических наноструктур.
- 7 Оптическая, просвечивающая и сканирующая электронные микроскопии в диагностике наноструктур. Новые виды сканирующей микроскопии (атомно-силовая, туннельная, ближнепольная оптическая). Использование рентгеновской

- дифракции, фотокрреляционной спектроскопии и седиментации для определения размеров наночастиц.
- 8 Особенности термодинамических, химических и механических свойств нанодисперсных частиц, их агломератов и нанозеренных керамик и поликристаллов. Усиление роли поверхностей раздела в наноструктурах. Адсорбция и десорбция. Неравновесность наноструктур и способы их стабилизации.
  - 9 Особенности электронных свойств квантовых точек, одномерных и двумерных наноструктур на основе металлических полупроводниковых и диэлектрических материалов. Плазмонные резонансы, квантовый эффект Холла, линейный закон электронной дисперсии графена.
  - 10 Особенности оптико – спектральных характеристик квантовых точек, квантовых проволок и квантовых ям полупроводниковых и металлических составов. Гигантское комбинационное рассеяние органических молекул, адсорбированных металлическими наночастицами.
  - 11 Синергетическая самоорганизация. Процессы упорядочения наноструктур при формировании коллективов из неорганических и органических нанокомпонентов с помощью лазерного, электрического и акустического воздействий.
  - 12 Особенности нанотехнологий биоморфных систем. Проявления естественных нанотехнологий в биологических структурах растительного и животного происхождения.
  - 13 Формирование наноструктур для электронных и опто-электронных систем методами ионного облучения, рентгеновской и электронно – лучевой литографии, плазмохимической обработки, молекулярно-лучевой эпитаксии
  - 14 Перспективы применения нанотехнологий в электронных и оптоэлектронных схемах, биосенсорике, радиационных детекторах, преобразователях ионизирующих излучений в электричество.
  - 15 Перспективы применения нанотехнологий в несущих конструкциях, установках с высокотемпературными и химически агрессивными средами, инструментальной технике. Повышение эффективности каталитических процессов с использованием наночастиц

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

## **Б1.Б.4 Введение в физику твердого тела**

Автор программы: доцент, к. ф.-м. н., Рыжкин И. А.

**Цель дисциплины:** дать студенту систематические знания основных разделов современной физики твердого тела, познакомить с основными моделями и методами, необходимыми для дальнейшей самостоятельной работы.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи, свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса, а также умения чтения и критического анализа научных публикаций по теме курса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Типы связи конденсированных сред: ионная, металлическая, ковалентная, водородная и молекулярная связи.
- 2 Классификация конденсированных сред по типу порядка: кристаллы, аморфные материалы, жидкости, жидкие кристаллы, квазикристаллы, фуллерены и

- нанотрубки, структуры с топологическим параметром порядка.
- 3 Структура кристаллов: 2D и 3D решетки Браве, трансляционные, точечные и пространственные группы, обратные решетки, рассеяние рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в периодических структурах.
  - 4 Колебания решетки, фононы, фононная теплоемкость и теплопроводность кристаллов. Неустойчивость 1D и 2D решеток. Особенности тепловых свойств аморфных материалов, теория двухуровневых систем.
  - 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, влияние дефектов на электронный спектр, поверхностные состояния. Динамика Блоховских электронов, невзаимодействующие электроны в электрическом и магнитном поле, квантование Ландау.
  - 7 Спин-орбитальное взаимодействие, его влияние на электронный спектр, уравнение Дирака. Топологические свойства зонной структуры и топологические изоляторы.
  - 8 Электронный транспорт, уравнение Больцмана, метод функций Грина, квантовый транспорт в низко размерных и ограниченных системах, баллистический транспорт и локализация.
  - 9 Много частичные системы, метод вторичного квантования, фермионы и бозоны. Сильно коррелированные системы, концепция квазичастиц: фононы, электроны, экситоны, магноны, анионы и другие.
  - 10 Магнетизм атомов и молекул, виды магнитного взаимодействия, ферро-магнетизм, спиновые стекла и спиновый лед, модели Изинга и Гейзенберга, спиновые волны, образование доменов.
  - 11 Магнитные свойства металлов, диамагнетизм, парамагнетизм, модель Хаббарда, спиновый лед и спиновая жидкость, магнитные монополи в спиновом льде.
  - 12 Сверхпроводимость, модель Гинзбурга-Ландау, теория БКШ и метод Боголюбова, два вида сверхпроводников (I и II рода), абрикосовские вихри, эффект Джозефсона.
  - 13 Эффект Холла, квантовый эффект и, дробный квантовый эффект Холла, топологический параметр порядка.
  - 14 Конденсация Бозе-Эйнштейна, незапутанные и запутанные много частичные состояния.

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

## **Б1.В Вариативная часть**

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

#### **Б1.В.ОД.1 Нано-биотехнологии для энергетики, оптоэлектроники и биомедицины**

Автор программы: доцент, к. ф.-м. н., Классен Н.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение методов формирования наноструктур из неорганических и органических компонентов, особенностей физических и химических свойств композиционных нано-биоструктур по сравнению с объемными материалами и наиболее перспективных способов их практических применений, а также

обучить новым подходам к созданию материалов, конструкций, приборов и устройств на основе нано-био-технологий.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления применительно к наномасштабным объектам, умения ставить и решать задачи по анализу явлений в наноструктурах неорганического, органического и смешанного составов и разработке методик, материалов, конструкций, устройств и приборов на основе нано-био-технологий.

#### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Инженерные вызовы 21 века со стороны энергетики, информационной техники, оптоэлектроники и биомедицины. Необходимость увеличения производства электроэнергии. Потребности разработки альтернативных направлений энергетики и повышении экологической чистоты тепловых и атомных электростанций. Ограниченность перспектив полупроводниковой техники. Перспективы фотоэлектрических преобразователей, светодиодов, оптоволоконной связи, и оптоэлектронной вычислительной техники на базе нано-био-технологий. Проблемы биомедицины по части онкологии, борьбы с инфекциями, генетическими заболеваниями, репарации поврежденных органов, экологических опасностей и новые подходы к этим проблемам на базе нано- био-технологий.
- 2 Недостатки тепловой электроэнергетики: низкий КПД, загрязнение атмосферы. Неизбежность использования теплоэнергетики в 21 веке. Пути улучшения параметров теплоэнергетики: повышение температуры в камере сгорания, каталитическая генерация сингаза и двухступенчатое использование тепловой энергии в паровой и газовой турбине; улучшение теплоотдачи в теплообменниках; утилизация углекислого газа с каталитическим синтезом метанола. Возможности решения этих задач с помощью нано-био-технологий.
- 3 Недостатки атомной энергетики: низкий КПД, загрязнение среды радиоактивными отходами, трудоемкость получения обогащенного урана. Роль нано-био-технологий в решении этих проблем. Повышение эффективности теплообмена; прямое преобразование радиации в электричество; разработка радиационно – прочных конструкционных наноматериалов; создание быстродействующих радиационных детекторов для прецизионного регулирования атомных реакторов, совершенствование реакторов на быстрых нейтронах, экранирующая и восстанавливающая защита живых систем от радиационных воздействий.
- 4 Солнечная энергетика как альтернатива тепловой и атомной. Возможности решения проблем снижения ее себестоимости, повышения КПД, ослабления зависимости от сезонных и суточных условий через нано- и био- технологии. Использование особенностей фотоэлектрических процессов в наноструктурах, использование наноструктурных суперконденсаторов и их комбинаций с солнечными батареями, применение органических и биоорганических компонентов в солнечных преобразователях. Повышение радиационной прочности органики наночастицами.
- 5 Перспективы и проблемы термоядерной энергетики. Необходимость разработки нового поколения жаропрочных и радиационно – стойких материалов. Использование наноструктурных материалов для этой цели. Создание наноструктурированных сенсоров для контроля работы термоядерного реактора и его оптимизированного управления. Перспективы создания прямых преобразователей нейтронного потока в электричество на комбинированных структурах из органических молекул и наночастиц.

- 6 Развитие водородной энергетики и возможности повышения ее технико-экономических параметров с помощью нанотехнологий (повышение удельной мощности топливных элементов за счет усиления диффузионных потоков рабочих газов, каталитическая генерация метана и метанола из биокомпонентов и двуокиси углерода на наноструктурах и др.).
- 7 Ограниченность возможностей дальнейшей миниатюризации микроэлектронной техники для неорганических полупроводниках. Принципиальные возможности формирования логических и других компонентов микросхем на органических и биоорганических молекулах. Перспективы перехода от передачи сигналов переносом электрического заряда к оптической связи. Для повышения быстродействия и устранения перегрева. Способы управления фотонными потоками в нано- и биоструктурах с помощью фотонных кристаллов и метаматериалов. Использование этих способов в оптоволоконной связи и компьютерной технике.
- 8 Перспективы использования биомолекулярной элементной базы в вычислительных устройствах. Возможности формирования запоминающих и передающих устройств на ДНК, белках, нейронах и других биокомпонентах.
- 9 Перспективы формирования квантовых компьютеров на неорганических наноструктурах. Использование электронных квантовых точек и квантовых ям, спинтроники, джозефсоновских сверхпроводящих структур. Сопоставление перспектив оптических и квантовых компьютеров на неорганических и биоорганических компонентах.
- 10 Формирование рентгеновской микроскопии неорганических и органических систем на наноструктурах. Возможности отслеживания передачи сигналов по нейронным системам. Перспективы расшифровки принципов работы рецепторных, управляющих и логических нейросистем с помощью рентгеновской, электрической и оптической микроскопии их функционирования. Современные представления о биологических процессах обработки информации. ДНК-компьютинг.
- 11 Актуальность развития биосенсорики биомедицины и экологии путем раннего выявления инфекционных и неинфекционных патогенов в организме и окружающей среде. Развитие биосенсоров на наноструктурах. Использование фотонных и электронных нанорезонаторов для биосенсорики одиночных биомолекул.
- 12 Развитие биомедицины для улучшения качества жизни в 21-м веке. Перспективы подхода к анализу живых организмов как инженерных объектов на основе накопленных знаний о структуре и свойствах нано- и биосистем, прогресса диагностической и компьютерной техники. Возможности преобразования медицины в инженерную науку. Исследования структуры и свойств компонентов живых систем (белков, ДНК, хитозана, неорганических наноконпонентов и др.) как основа биомедицинской инженерии. Прогресс в диагностике живых систем (рентгеноскопия, томография, электроскопия и др.) как следствие получения новых знаний о природе материалов и разработки нано-био-технологий. Перспективы новых методик функциональной диагностики и инженерной терапии живых организмов.
- 13 Развитие материаловедения компонентов живых систем. Кристаллизация белков и

ДНК в композициях с хитозаном и неорганическими наночастицами, Исследования свойств биокomпонентов как фактор прогресса в биомедицине и применений нанобиоструктур в технологиях новых приборов и устройств. Моделирование и изучение организмов как электромеханических систем. Перспективы использования знаний об электромеханических процессах в живых системах для разработки устройств альтернативной энергетики, а также систем переработки и передачи информации.

- 14 Развитие знаний об электрических процессах в живых системах. Новые экспериментальные данные о пьезоэлектрических, сегнетоэлектрических и электропроводящих свойствах ДНК, белков и других биокomпонентов живых систем. Роль электрических процессов в функционировании организма. Низкочастотные электрические резонансы как фактор обмена информацией между удаленными биокomпонентами и способ регулирования их морфологии и структуры. Представление об организме как мультрезонансной системе. Возможности разработки новых диагностических и терапевтических методик на основе низкочастотных электрических резонансов в биокomпонентах организма.
- 15 Исследования возможностей восстановления разрушенных или изношенных биотканей действующего организма управляемым внутритканевым формированием биомолекулярных из композиций биомолекул и наночастиц с помощью регулируемых электрических, акустических и лазерных воздействий (кости, суставы, хрящевые прослойки, мышцы, сухожилия и др.). Перспективы корректирующих оптических и электрических воздействий на нейросистему.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.2 Термодинамика и основы статистической физики**

Автор программы: доцент, д. ф.-м. н., Сеницын В.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение статистической физики вместе с термодинамикой, и обучить соответствующим методам, основанных на статистическом и феноменологическом рассмотрении различных физических явлений, включая наносистемы и системы с низкой размерностью.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи по статистической физике и термодинамике сложных систем, понимание общих термодинамических и статистических закономерностей макроскопических и наносистем, свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Основные положения термодинамики. Первый закон термодинамики, второй закон термодинамики, основное уравнение термодинамики для равновесных процессов, энтропии, парадокс Гиббса.
- 2 Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Пределы применимости второго закона термодинамики. Третий закон термодинамики. Следствия третьего закона термодинамики. Вычисление энтропии и поведение теплоемкостей при  $T \rightarrow 0$  К.
- 3 Термодинамические потенциалы. Преобразование Лежандра. Якобианы.

- Соотношения Максвелла. Термодинамические системы.
- 4 Условия термодинамического равновесия и устойчивости. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Принцип Ле Шателье – Брауна.
  - 5 Термодинамика гальванических и топливных элементов. Охлаждение газа при обратимом и необратимом адиабатных расширениях. Эффект Джоуля—Томсона.
  - 6 Основные уравнения термодинамики для диэлектриков. Уравнения систем в магнитном поле.
  - 7 Равновесие гомогенной системы. Равновесие гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса. Тройная точка. Равновесие бинарных систем. Классификация фазовых переходов. Критические и закритические явления.
  - 8 Термодинамические свойства переохлажденной воды. Теория второй критической точки воды на основе нанокластерной модели. Аномалии удельного объема. Теплоемкости. К.Т.Р. и сжимаемости для переохлажденной воды.
  - 9 Теория Ландау фазовых переходов второго рода. Термодинамический потенциал, энтропия, теплоемкость.
  - 10 Фазовые переходы второго рода в сегнетоэлектриках, суперионные фазовые переходы.
  - 11 Локальное равновесие и основное уравнение термодинамики для неравновесных процессов. Уравнения баланса и законы сохранения. Термодинамика линейных необратимых процессов. Термоэлектрические явления.
  - 12 Распределение Гиббса. Распределение Максвелла. Свободная энергия в распределении Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Статистическое определение температуры наночастиц.
  - 13 Распределение Больцмана, свободная энергия больцмановского идеального газа, статистическое уравнение состояния идеального газа, уравнение Больцмана, кинетическая теория, статистика Больцмана, дефекты решетки.
  - 14 Распределение Ферми, вырожденный электронный газ, теплоёмкость электронного газа. Особенности одномерного и двумерного ферми-газа.
  - 15 Распределение Бозе, вырожденный Бозе-газ, конденсация Бозе – Эйнштейна, теплоёмкость кристаллической решетки, классическая модель для вычисления энергии решетки, модель Эйнштейна, модель Дебая (низкие температуры), флуктуации энергии.

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: экзамен, зачет.

### **Б1.В.ОД.3 Симметрия и физические свойства кристаллов**

Автор программы: д. ф.-м. н., Антонов В.Е.

**Целью** дисциплины является дать слушателям систематическое описание физических свойств кристаллов, допускающих тензорное представление, термодинамических соотношений между этими свойствами и их связи с точечной группой симметрии кристалла.

**Задачи:** владеть и уметь использовать основные определения и закономерности, излагаемые в рамках данного курса, по таким разделам как: пьезоэлектричество, упругость, явления переноса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Принцип Неймана. Точечные группы симметрии. Ограничения, накладываемые трансляционной симметрией на порядок поворотных осей. Стереогрфическая



- проекция. Четыре основных теоремы об умножении операций симметрии. Пример некоммутативности умножения. Теорема Эйлера и вытекающие из нее ограничения на сочетания осей симметрии.
- 2 Кристаллические категории, системы и сингонии. Элементарный параллелепипед, стандартные обозначения и установки. Символы Германа-Могена. Обозначения точечных групп симметрии. Порождающие, координатные и диагональные элементы симметрии. Вывод и описание 32 точечных групп симметрии. Группы Кюри.
  - 3 Скаляры, векторы и тензоры второго ранга. Ортогональные преобразования. Различие между преобразованиями матрицы  $(a_{ij})$  и тензора  $[T_{ij}]$ . Симметричные и антисимметричные тензоры. Характеристическая поверхность второго порядка. Приведение к главным осям.
  - 4 Влияние симметрии кристаллов на их свойства, описываемые тензорами второго ранга. Величина, характеризующая свойство в данном направлении. Физические свойства кристалла и геометрические свойства характеристической поверхности: длина радиус-вектора, свойство радиус-вектора и нормали.
  - 5 Ортогональные преобразования и тензоры второго ранга. Соотношения между направляющими косинусами  $a_{ij}$ . Переходы между правой и левой системой координат и значение детерминанта матрицы преобразования  $|a_{ij}|$ . Векторное произведение. Полярные и аксиальные векторы. Главные оси тензора. Построение окружности Мора: поворот вокруг главных осей, поворот вокруг произвольной оси. Эллипсоид значений тензора.
  - 6 Парамагнитная и диамагнитная восприимчивость. Энергия намагничивания кристалла. Момент сил, действующий на кристалл в однородном магнитном поле. Магнитная восприимчивость порошка.
  - 7 Электрическая поляризация. Различия между электрической поляризацией и намагниченностью. Соотношение между  $D$ ,  $E$  и  $P$  в плоском конденсаторе. Энергия поляризованного кристалла. Электростатическое поле в однородном анизотропном диэлектрике. Пирозлектричество.
  - 8 Тензор напряжений. Понятие напряжения. Доказательство того, что компоненты напряжения  $\sigma_{ij}$  образуют тензор. Поверхность напряжений. Частные формы тензора напряжений. Различие между тензором напряжений и тензорами, описывающими свойства кристалла.
  - 9 Тензор деформаций. Одномерная, двумерная и трехмерная деформация. Особенности однородной трехмерной деформации. Обобщение на случай неоднородной деформации. Деформация и симметрия кристалла. Тепловое расширение.
  - 10 Пьезоэлектричество. Тензоры третьего ранга. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Симметрия тензора пьезоэлектрических модулей и число независимых модулей. Матричные обозначения. Уменьшение числа независимых модулей из-за ограничений, налагаемых симметрией кристалла. Метод Фуми. Характеристические поверхности.
  - 11 Упругость. Тензоры четвертого ранга. Закон Гука. Матричные обозначения. Энергия деформированного кристалла. Дополнительные ограничения, налагаемые симметрией кристалла на упругие константы. Теорема Германа. Соотношения между напряжениями и деформациями для изотропных материалов. Характеристические поверхности и модуль Юнга. Объемная и линейная сжимаемости кристалла. Соотношения между податливостями и жесткостями.
  - 12 Термодинамика равновесных свойств кристаллов. Диаграмма соотношений между тепловыми, электрическими и механическими свойствами кристаллов. Термодинамика тепловых, электрических и упругих свойств. Главные и сопряженные эффекты. Теплота деформации и термические

- напряжения. Соотношения между коэффициентами, измеренными при различных условиях. Первичный и вторичный пирозлектрические эффекты.
- 13 Процессы переноса. Тензор  $[k_{ij}]$  коэффициентов теплопроводности. Тепловой поток через плоскую пластинку, вдоль длинного стержня и от точечного источника. Электропроводность. О симметричности тензора  $[k_{ij}]$ . Термодинамическое рассмотрение. Принцип Онзагера.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.4 Физика металлов и проводящих наноструктур**

Авторы программы: профессор, д. ф.-м. н., Трунин М.Р. и доцент, д. ф.-м. н., Зверев В.Н.

**Цель курса** - познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области, а также будут готовы в последующие семестры прослушать следующие, заложенные в образовательную программу, важные и сложные главы физики твердого тела.

**Задачи дисциплины** – дать студентам необходимые знания по основным разделам данной области знаний, которые охватывает следующие темы: первоначальные теории металлов Друде и Зоммерфельда; электронные энергетические зоны, поверхность Ферми и простейшие способы их расчета; кинетические свойства: электрические и гальваномагнитные явления; процессы рассеяния; поведение металлов в высокочастотных полях; квантовые эффекты в проводимости; квантовый транспорт в низкоразмерных системах, распространение электромагнитных волн в металлах в присутствии магнитного поля.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Общие понятия, лежащие в основе теории металлов. Концепция модели свободных электронов, длина свободного пробега. Предположения теории Друде. Статическая электропроводность металла. Высокочастотная проводимость. Теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца.
- 2 Термодинамические свойства свободного электронного газа. Основное состояние. Применение распределения Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Зоммерфельдовская теория проводимости в металлах.
- 3 Кристаллические решетки. Элементарная ячейка. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Нормальные моды и фононы. Теплоемкость решетки. Модели Дебая и Эйнштейна. Тепловое расширение металлов.
- 4 Зонная теория. Периодический потенциал. Теорема Блоха. Общие свойства энергетического спектра электронов в металле. Электроны в слабом периодическом потенциале.
- 5 Метод сильной связи. Схемы расширенных, приведенных и повторяющихся зон. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Построение поверхности Ферми методом Гаррисона.
- 6 Квазиклассическая модель динамики электронов. Уравнения движения в электрическом и магнитном полях. Электроны и дырки. Эффективная масса. Циклотронная масса. Траектория движения в магнитном поле. Типы траекторий.
- 7 Кинетическое уравнение. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации. Проводимость в постоянном электрическом поле. Сдвиг поверхности Ферми.

- 8 Сечение рассеяния и длина свободного пробега. Рассеяние на нейтральных и заряженных примесях, дислокациях, фонах. Электрон-электронное рассеяние. Комбинация процессов рассеяния.
- 9 Магнитосопротивление. Тензор проводимости в нулевом и первом приближениях. Тензор сопротивления. Эффект Холла. Магнитосопротивление в двухзонной модели. Влияние формы поверхности Ферми на электросопротивление. Роль открытых траекторий.
- 10 Плотность состояний. Влияние размерности системы на плотность состояний. Электроны в сильном магнитном поле. Квазиклассическое квантование. Уровни Ландау. Вырожденность уровней блоховских электронов. Осцилляции термодинамических величин. Эффекты де Гааза-ван Альфена и Шубникова-де Гааза. Квантовый эффект Холла в двумерных системах.
- 11 Нормальный скин-эффект. Граничное условие Леонтовича и поверхностный импеданс металлов. Аномальный скин-эффект. Концепция неэффективности. Формула Чамберса.
- 12 Циклотронный резонанс. Отсечка циклотронных резонансных орбит. Радиочастотные размерные эффекты.
- 13 Скачущие орбиты. Магнитные поверхностные уровни. Интерференционные эффекты в магнитном поле. Квантовые поправки к проводимости. Влияние размерности системы на температурные и магнитопольевые зависимости величин квантовых поправок
- 14 Механизмы затухания электромагнитных волн в металлах. Затухание Ландау. Распространение волн в присутствии магнитного поля. Примеры волн: геликоны, альфеновские и циклотронные волны в металлах. Электромагнитные метаматериалы.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.5 Введение в физику сверхпроводников**

Автор программы: профессор, д. ф.-м. н., Рязанов В.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение основ физики сверхпроводимости. Все полученные в курсе лекций результаты восходят к "первопринципам", так чтобы за выводом возможно было проследить от начала до конца. Вместе с тем, целью выводов часто является качественный результат и оценка по порядку величины, что позволяет избегать сложных теорий и расчетов, необходимых для получения точных результатов. Курс содержит современные материалы, связанные с особенностями сверхпроводимости наноструктур, сверхпроводящим транспортом в гибридных и низкоразмерных структурах.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи по сверхпроводимости, свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 История сверхпроводимости. Классы сверхпроводников. Идеальная проводимость и идеальный диамагнетизм. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Квазиклассическое уравнение сверхпроводимости. Квантование магнитного потока. Градиентная инвариантность уравнений сверхпроводимости.

- 2 Линейная электродинамика сверхпроводников. Уравнения Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля. Кинетическая индуктивность.
- 3 Линейная электродинамика сверхпроводников. Распределение поля и тока в сверхпроводящей пластине, помещенной в магнитное поле. Комплексная проводимость, скин-эффект и поверхностный импеданс сверхпроводника.
- 4 Термодинамика сверхпроводников. Новый тип конденсированного состояния. Свободная энергия, критическое поле, энтропия и теплоемкость. Термодинамика магнитных систем.
- 5 Теория Гинзбурга-Ландау. Комплексный параметр порядка, симметрия параметра порядка. Уравнения Гинзбурга-Ландау. Параметр Гинзбурга-Ландау.
- 6 Применение теории Гинзбурга-Ландау. Эффект близости. Энергия NS-границы (нормальный металл - сверхпроводник). Сверхпроводники I и II рода. Промежуточное состояние в сверхпроводниках I рода. Критические поля и токи тонких пленок.
- 7 Обратимые магнитные свойства сверхпроводников II рода. Первое критическое поле и структура одиночного абрикосовского вихря. Второе и третье критические поля.
- 8 Взаимодействие абрикосовского вихря и сверхпроводящего тока. Соппротивление течения потока, модель Бардина-Стефена.
- 9 Необратимые магнитные свойства сверхпроводников II рода. Проникновение вихрей, поверхностный барьер. Пиннинг и крип абрикосовских вихрей.
- 10 Слабая сверхпроводимость. Виды слабых связей. Эффекты Джозефсона. Генерация электромагнитных волн, ступени Шапиро.
- 11 Нормальное и джозефсоновское туннелирование в сверхпроводящих туннельных переходах. Энергия джозефсоновского перехода. Тепловые и квантовые флуктуации. Макроскопическое квантовое туннелирование в субмикронных структурах.
- 12 Отклик джозефсоновского перехода на магнитное поле. Сверхпроводящие квантовые интерферометры (сквиды). Сквид постоянного тока и высокочастотный сквид. Применения слабой сверхпроводимости.
- 13 Микроскопическая теория сверхпроводимости. Электрон-фононное взаимодействие, изотопический эффект в сверхпроводниках. Модель Бардина-Купера-Шриффера и другие модели сверхпроводимости. Высокотемпературные, органические и тяжелофермионные сверхпроводники.
- 14 Основное состояние сверхпроводника. Электроно- и дырочно-подобные возбуждения, спектр возбуждений в сверхпроводнике. Энергетическая щель в сверхпроводнике. Магнитные возмущения и бесщелевая сверхпроводимость.
- 15 Андреевское отражение нормальных возбуждений на NS-границе, избыточный ток в сверхпроводящих нано-мостиках.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.6 Основы рентгеноструктурного анализа**

Автор программы: к. ф.-м. н., Симонов С.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение основных этапов рентгеноструктурного анализа, показать практическое приложение методов рентгеноструктурного анализа (РСА) в области физики твердого тела и материаловедении.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи в области кристаллографии и рентгендифракционного эксперимента, свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Элементы кристаллографии. Элементарная ячейка. Элементы симметрии и их сочетания. Кристаллографические точечные группы и сингонии. Стереографическая проекция.
- 2 Трансляционные элементы симметрии. Решетки Браве. Матричное представление элементов симметрии. Символика пространственных групп.
- 3 Орбиты точек. Общие и частные положений в кристаллической структуре. Полное описание известной структуры кристалла. Плотнейшие шаровые упаковки. Дефекты упаковки. Кристаллические многогранники. Простые формы фигур.
- 4 Получение рентгеновских лучей и их взаимодействие с веществом. Спектр в рентгеновском диапазоне. Поглощение и рассеяние рентгеновских лучей в веществе. Детекторы рентгеновского излучения.
- 5 Рассеяние свободным электроном. Формула Томсона. Атомная амплитуда рассеяния. Температурный фактор.
- 6 Интенсивность рентгеновских рефлексов. Рассеяние одной элементарной ячейкой. Структурная амплитуда. Погасания.
- 7 Основные дифракционные схемы в представлении обратной решетки: метод Лауэ, метод порошка, метод вращения (качания), дифрактометрия поликристаллического объекта и монокристалла.
- 8 Определение неизвестной структуры. Экспериментальные и расчетные методы определения координат атомов в ячейке. Метод проб и ошибок. Синтез Паттерсона. Синтез Фурье. Прямой метод.
- 9 Задачи анализа металлических систем. Идентификация фазовых областей на диаграммах состояния. Упорядочение твердых растворов. Экспериментальные задачи при исследовании структурных превращений и аperiодических кристаллов.
- 10 Электронография. Принцип и особенности метода дифракции электронов. Области применения.
- 11 Нейтронография. Ядерное рассеяние — принципы применения. Магнитное рассеяние, определение упорядочения магнитных моментов в структуре ферро- и антиферромагнетиков.
- 12 Рентгеновская дифракционная микроскопия. Анализ реальной структуры кристалла. Методы изучения совершенных кристаллов.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.7 Физика частично упорядоченных сред**

Автор программы: д. ф.-м. н., Долганов П.В.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематические знания по физике частично упорядоченных сред, и обучить физическим методам с использованием микроскопического и феноменологического подходов к рассмотрению различных явлений физики частично упорядоченных сред.

**Задачи:** развитие у студентов навыков мышления, основанного на современных физических представлениях, умения анализировать и решать задачи по физике частично

упорядоченных конденсированных сред, свободно владеть основными понятиями, определениями и терминологией в изучаемой области физики.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Типы конденсированных сред. Понятие о частично упорядоченных средах. Типы частично упорядоченных сред, аморфное состояние, жидкие кристаллы, пластические (ротационные) кристаллы, частично упорядоченные полимерные структуры.
- 2 Упорядочение в конденсированном состоянии вещества. Типы упорядочения в неорганических и органических средах. Межатомные и межмолекулярные связи.
- 3 Параметр порядка, способы измерения степени ориентационного упорядочения в органических средах.
- 4 Оптические свойства конденсированных упорядоченных и частично упорядоченных сред. Оптическая индикатриса. Связь оптических свойств среды с симметрией. Оптические методы исследования конденсированных сред.
- 5 Хиральность. Хиральные структуры. Структуры, образованные в результате конкурирующих взаимодействий, фрустрации.
- 6 Поведение жидкокристаллических термотропных и полимерных структур во внешнем поле. Эффект Фредерикса. Электрооптика частично упорядоченных сред. Жидкокристаллический дисплей. Раскрутка спиральных органических структур внешним полем.
- 7 Переходы с изменением структуры в частично упорядоченных средах. Связь симметрии с возможными типами переходов. Пространство параметра порядка. Спонтанное нарушение симметрии. Голдстоуновские моды в различных системах.
- 8 Фазовые переходы I рода в частично упорядоченных средах. «Слабые» фазовые переходы I рода. Модель Ландау – де Жена. Метастабильные состояния. Трикритическая точка. Переходы во внешнем поле. Образование зародышей. Критический радиус.
- 9 Переход нематик – изотропная жидкость. Теория Онсагера. Приближение Флори. Теория самосогласованного поля Майера – Заупе.
- 10 Точечные топологические дефекты. Топологический заряд. Взаимодействие топологических дефектов. Линейные дефекты. Дисклинация. Процесс Вольтерра.  $2\pi$ -стенки,  $\pi$ -стенки. Влияние поляризации жидких кристаллов на конфигурацию дефектов.
- 11 Дислокации в частично упорядоченных средах. TGB-фазы. Структуры с ориентационно упорядоченными связями. Переходы Костерлица-Таулесса, дислокационное плавление.
- 12 Фракталы. Фрактальная размерность полимеров. Биополимеры. Амфифильные молекулы. Мицеллы, лиотропные жидкие кристаллы.
- 13 Влияние поверхности на структуру и фазовые переходы. Системы ограниченной геометрии. Поверхностное и объёмное плавление, поверхностная и объёмная кристаллизация. Послойные переходы утоньшения. Стабильность тонких пленок.
- 14 Фотонные кристаллы. Примеры фотонных кристаллов, фотонные кристаллы в живой природе. Взаимодействие света с пространственно модулированной структурой. Дисперсия фотонов. Запрещенные фотонные зоны.
- 15 Взаимодействие и самоорганизация частиц в частично упорядоченной среде. Топологические диполи и квадруполь. Образование упорядоченных структур из частиц. Управление взаимодействием и самоорганизацией частиц в жидких кристаллах.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.8 Введение в материаловедение. Механические свойства материалов**

Авторы программы: д. т. н., Гнесин Б.А. и к. т. н., Гнесин И.Б.

**Цель** дисциплины: сформировать у студента представления о закономерностях формирования связей состав – структура – механические свойства для материалов на основе металлов и керамических материалов, обучить методам количественной оценки механических свойств материалов, важным для их использования в различных условиях.

**Задачи:** развитие у студентов навыков самостоятельной оценки тех или иных материалов с точки зрения их пригодности для использования в практической и экспериментальной деятельности, знакомство студентов с количественными методиками оценки механических свойств материалов в различных условиях, усвоение студентами основных определений, терминологии и закономерностей, изложенных в рамках данного курса.

### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Механические свойства пластичных и хрупких материалов. Влияние химического и фазового состава, технологии получения и условий эксплуатации в уровне реализуемых свойств. Основные классы материалов, рассматриваемые в курсе: металлы и их сплавы, керметы на основе карбидов тугоплавких металлов и оксидная керамика.
- 2 Механические испытания на растяжение, изгиб и сжатие. Оценка трещиностойкости. Статистическая обработка результатов. Возможности изменения уровня механических свойств материалов с помощью управления их составом и структурой, роль технологии.
- 3 Измерения твердости по Виккерсу, Бринеллю, Роквеллу и микротвердости. Связь микротвердости и износостойкости.
- 4 Влияние параметров структуры и фазового состава материалов на их механические свойства. Механизмы пластической деформации и упрочнения монокристаллов и поликристаллов. Роль фазового состава, наличия дисперсных частиц, твердорастворного упрочнения.
- 5 Параметры состава и структуры поликристаллических материалов, влияние на механические свойства размеров зерна, кристаллографической и металлографической текстуры.
- 6 Высокотемпературная пластическая деформация металлов. Особенности деформации при пониженных температурах. Усталость металлов.
- 7 Порошковый и литейные варианты технологии получения материалов. Некоторые способы выращивания монокристаллов.
- 8 Сплавы системы железо-углерод. Термообработка углеродистых сталей и чугунов.
- 9 Легированные стали: нержавеющие и инструментальные, их термообработка.
- 10 Сплавы на основе меди, их термическая обработка. Сплавы на основе никеля для применения при высоких температурах, их термическая обработка.
- 11 Сплавы на основе алюминия их термическая обработка. Сплавы на основе титана и циркония.
- 12 Сплавы на основе тугоплавких металлов.
- 13 Керметы и твердые сплавы. Минералокерамика.
- 14 Оксидные керамики на основе  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$  и огнеупорные материалы на их основе.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.9 Основы педагогики**

Автор программы: к. п. н., Левченко О.И.

**Цель** дисциплины: приобретение студентами знаний о теоретических основах педагогики, месте педагогики в системе наук, становлении педагогической мысли в историческом аспекте, связи педагогической теории с практикой обучения и воспитания, изучение передового педагогического опыта.

**Задачи:** развитие у студентов навыков постановки и решения задач по организации образовательно-воспитательного процесса, умения анализировать, планировать и оценивать образовательный процесс и его результаты, реализовывать процесс профессионального самообразования.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Общие основы педагогики.  
Предмет педагогики. Категории педагогики. Система педагогических наук. Возникновение и развитие зарубежной и отечественной педагогики. Педагогические течения. Педагогический процесс.
2. Теория воспитания. Воспитание как часть педагогического процесса. Системы воспитания в историческом аспекте. Сущность цели и задачи воспитания. Законы и принципы воспитания. Содержание воспитания. Методы и организационные формы воспитания.
3. Теория образования и обучения (дидактика). Основные категории и задачи дидактики. Обучение, учение, преподавание, образование и самообразование. Организационные формы обучения.  
Педагогические технологии.

Общая трудоемкость дисциплины: 1 зачетная единица.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.10 Спектроскопия и физические свойства дефектных структур в полупроводниках**

Авторы программы: д. ф.-м. н., Штейнман Э.А. и к. ф.-м. н., Терещенко А.Н.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение физических свойств дефектов и дефектных структур в полупроводниках, показать их роль и значимость в интенсивно развивающейся физике низкоразмерных систем, ознакомить с основными спектроскопическими методами их исследования.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, свободное владение основными определениями и терминологией в рамках данного курса.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Точечные дефекты. Вакансии. Атомы внедрения. Их образование и диффузия. Дефекты Френкеля и Шоттки. Реакции точечных дефектов и их комбинации. Электронные свойства точечных дефектов.
- 2 Одномерные, двумерные и трехмерные дефекты. Дисклинации. Дислокационные



- сетки. Поликристаллические структуры. Границы зерен.
- 3 Линейные дефекты. Дислокации. Дислокация как природный нанообъект. Краевые, винтовые и смешанные дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокации. Переползание и скольжение. Взаимодействие дислокаций между собой и с точечными дефектами. Пластическая деформация как результат движения дислокации.
  - 4 Процессы размножения дислокаций, источники дислокаций. Подвижность дислокации. Механизмы движения. Геометрические характеристики дислокации. Упругие поля дислокации. Атомная структура ядер дислокации.
  - 5 Частичные дислокации и дефекты упаковки. Экспериментальные методы изучения дислокации. Влияние дислокации на физические свойства кристаллов (электрические, оптические, тепловые).
  - 6 Электрическая активность дислокаций в германии. Пластически деформированный германий: проводимость свободными носителями тока, фотопроводимость. Статическая дислокационная проводимость в кремнии и германии.
  - 7 Электронные свойства дислокаций в полупроводниковых кристаллах кремния и германия. Электродипольный спиновый резонанс дырок и электронов на дислокациях. Энергетическое положение одномерной зоны.
  - 8 Примесные центры в кремнии: кислород, углерод, азот, водород, бор. Термодоноры. Переходные металлы. Местоположение в кристаллической решетке. Энергетическое положение уровней. Преципитация и геттерирование.
  - 9 Процессы электрон-дырочной рекомбинации в полупроводниках. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Центры рекомбинации и центры прилипания. Рекомбинация электронов и дырок через примесные центры. Оже-рекомбинация.
  - 10 Анизотропия переноса носителей заряда в кристаллах с дислокациями. Рассеяние на дислокациях. Пространственный заряд дислокации. Дислокации и безызлучательная рекомбинация. Дислокации и излучательная рекомбинация.
  - 11 Рекомбинационное излучение, связанное с дислокациями в кремнии и германии. Поляризация и пьезоспектроскопические исследования дислокационной люминесценции. Тонкая структура спектров дислокационной люминесценции в кремнии и германии. Проявление одномерности.
  - 12 Процессы диффузии и рекомбинации носителей заряда в низкоразмерных системах на примере дислокационных структур различной конфигурации. Дислокационная люминесценция в кремнии: природа излучающих центров, перспективы практического использования. Модели излучательной рекомбинации на дислокациях в кремнии. Особенности спектров люминесценции в зависимости от конфигурации дислокационных структур.
  - 13 Температурная зависимость и квантовый выход дислокационной люминесценции в кремнии. Геттерирование примесей дислокациями. Влияние примесей на дислокационную люминесценцию в кремнии и образование комплексов примесь-дислокация.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.11 Магнетизм и магнитные наноматериалы**

Авторы программы: д. ф.-м. н., Успенская Л.С. и к. ф.-м. н., Шашков И.В.

**Цель** дисциплины: овладение научным методом познания, фундаментальными понятиями, законами и теориями физики магнитных явлений, ознакомление с основными экспериментальными методами исследования магнитных характеристик вещества.

**Задачи:** ознакомить магистров с современным содержанием физики магнитных явлений, сформировать основы знаний о природе магнетизма.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Введение. Краткая теория развития магнетизма. Связь между академическими и промышленными исследованиями. Влияние развития науки на эффективность применения магнитных материалов. Сфера применимости магнитных материалов.
- 2 Уравнения Максвелла. Вычисления магнитного поля. Методы создания однородных и градиентных магнитных полей. Масштабы магнитных полей. Магнитостатическая энергия и силы. Размагничивающий фактор.
- 3 Диа- и парамагнетизм. Формула Ланжевена. Диамагнетизм молекул. Парамагнетизм электронов. Закон Кюри.
- 4 Квантовая теория парамагнетизма. Правило Хунда. Внутрикристаллическое поле. Замораживание орбитальных моментов. Ядерный парамагнетизм. Парамагнетизм электронов проводимости.
- 5 Ферромагнетизм. Точка Кюри и обменный интеграл. Температурная зависимость намагниченности насыщения и проницаемости. Коллективные возбуждения, спиновые волны, магноны.
- 6 Магнитный гистерезис, скачки Баркгаузена. Технические магнитные характеристики. Доменная структура и процессы квазистатического намагничивания. Коэрцитивная сила – роль дефектов. Энергии анизотропии, обмена, магнитострикции, магнитостатическая. Связь доменной структуры с размерами, формой кристалла, дефектами.
- 7 Поведение магнитных кристаллов в переменных магнитных полях. Динамика доменных границ. Вихревые токи. Магнитные резонансы.
- 8 Виды магнитных структур: антиферромагнетики, ферромагнетики, спиральная магнитная структура и т.д., спиновое стекло.
- 9 Магнетизм низкоразмерных систем. Характерные масштабы. Тонкие магнитные пленки. Тонкопленочные гетероструктуры. Нанопроволоки. Наночастицы. Объемные наноструктуры.
- 10 Экспериментальные методы измерения магнитных характеристик материалов: намагниченности насыщения, проницаемости, коэрцитивности
- 11 Экспериментальные методы наблюдения магнитной доменной структуры. Биттеровская техника, магнитно-силовая микроскопия, оптические и рентгеновские методы, электронная микроскопия
- 12 Применения объемных магнито-мягких и магнито-жестких материалов
- 13 Спиновая электроника и магнитная запись; криоэлектроника
- 14 Специальные применения – магнитные жидкости, магнитная левитация, магнетизм в биологии и медицине.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б1.В.ОД.12 Введение в физику поверхности**

Автор программы: д. ф.-м. н., Ионов А.М.

**Цель дисциплины:** Изучение основ методов исследования электронной и атомно-кристаллической структуры поверхности и возможности их применения при исследовании новых материалов.

**Задачи:** ознакомить студентов с физическими основами методов исследования поверхности, с инженерными основами вакуумной техники и развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи по физике систем, свободно владеть основными определениями и терминологией в рамках данного курса. Задача курса состоит в изложении 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.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Введение. Роль поверхности в различных физико-химических процессах.
- 2 Физика и техника сверхвысокого вакуума. Особенности газодинамики при низких давлениях. Длина свободного пробега молекул. Степени вакуума. Механические безмасляные насосы - диафрагменные, турбомолекулярные насосы. Пароструйные, магниторазрядные, ионсорбционные, криогенные насосы. Методы измерения давления в вакуумных системах. Основные элементы конструкций вакуумных систем. Материалы, используемые в вакуумной технике. Методы получения атомарно-чистой поверхности: термическая десорбция; ионное травление; каталитические реакции; напыление; скол в вакууме.  
Методы получения атомарно-чистой поверхности: термическая десорбция; ионное травление; каталитические реакции; напыление; скол в вакууме.
- 3 Основы двумерной кристаллографии. Двумерные решетки. Индексы Миллера плоскостей кристалла. Индексы направлений. Описание структуры поверхности. Двумерная обратная решетка. Атомная структура поверхности. Релаксация, реконструкция, их механизмы. Связь физических свойств поверхности с ее структурой. Структурные дефекты поверхности.
- 4 Методы исследования поверхности.  
Дифракционные методы исследования поверхности. Дифракция медленных и быстрых электронов (ДМЭ. ДОБЭ). Рентгеновская дифракция под скользящими углами. Фотоэлектронная дифракция.
- 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. Масс-спектроскопия вторичных ионов: физические основы метода, особенности эксперимента и оборудование. Термодесорбционная спектроскопия.
- 9 Зондовые методы исследования поверхности. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. ИК и рамановская спектроскопия.
- 10 Электронная структура и свойства поверхности.  
Поверхностные электронные состояния. Пространственное распределение потенциала и электронной плотности на поверхности металла, осцилляции Фриделя. Поверхностные плазмоны. Работа выхода и ее составные части. Методы измерения работы выхода.
- 11 Электронные и атомные процессы на поверхности твердых тел.

Адсорбция и десорбция. Гетерогенные системы. Межфазная граница. Явления на границе раздела фаз твердое тело-газ. Физическая и химическая адсорбция. Межмолекулярные взаимодействия при физической адсорбции. Моно-и полимолекулярная адсорбция. Модель адсорбции Ленгмюра. Адсорбционно-десорбционное равновесие. Теплота физической адсорбции. Типы химической связи при хемосорбции. Энергия активации и теплота адсорбции. Диссоциативная адсорбция. Хемосорбция на неоднородной поверхности. Адсорбция. Теория Брунауэра-Эммета-Тейлора. Электронные состояния адатома. Изменение работы выхода при адсорбции, дипольная модель, модель Лэнга. Атомная структура адсорбированного слоя. Взаимодействие адсорбированных частиц. Десорбция, поверхностная диффузия.

- 12 Диффузия на поверхности твердых тел. Основные уравнения диффузии (случайное блуждание и законы Фика). Диффузия отдельного атома и химическая диффузия. Собственная диффузия и диффузия массопереносом. Анизотропия поверхностной диффузии. Атомные механизмы поверхностной диффузии. Экспериментальное изучение поверхностной диффузии.
- 13 Рост и структура тонких пленок. Рост пленок по механизму Фольмера и Вебера. Модели образования зародышей. Кинетика роста изолированного островка и в ансамбле. Кинетика поздних стадий роста пленки. Рост пленок по механизму Франка и Ван дер Мерве. Критическая толщина псевдоморфного слоя и его структура. Механизм релаксации упругих деформаций псевдоморфного слоя. Кинетическая модель слоевого роста. Барьер Швებеля. Структурные превращения при росте пленок по Крастанову и Странскому. Структура пленок. Аморфные, поликристаллические и монокристаллические пленки. Дефекты. Несоответствие решеток на границе раздела. Методы роста тонких пленок в вакууме. Молекулярная и твердофазная эпитаксия.
- 14 Формирование наноструктур. Атомное и молекулярное наноманипулирование.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ОД.13 Теплофизические свойства твердых тел**

Автор программы: д. ф.-м. н., Ефимов В.Б.

**Цель** дисциплины: дать студенту систематическое изложение теоретических и экспериментальных основ физики динамики решетки, методов термодинамики в физике твердого тела, влияние размеров кристаллов и роли поверхностных эффектов на термодинамические свойства наноматериалов. 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, работе с низкотемпературными приборами.

**Задачи:** развитие у студентов навыков физического мышления, умения ставить и решать задачи по проведению исследований теплофизических свойств твердых тел при разных температурах, 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. Поверхностные состояния.
- 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 решетки 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.
  - 6 Фононы в наноструктурах, трехмерные и двухмерные структуры
  - 7 Экспериментальные методы определения фононного спектра. Рассеяние нейтронов и электромагнитного излучения кристаллом. Взаимодействия излучения с колебаниями решетки, Рамановское рассеяние света. Влияние размеров кристаллитов на рассеяние рентгеновского излучения.
  - 8 Теплопроводность. Фононы и уравнение Больцмана. N и U процессы. Второй звук.
  - 9 Теплопроводность идеальных и неидеальных кристаллов, аморфных тел, рассеяние фононов на поверхностях нанокристаллитов.
  - 10 Квантовые кристаллы и жидкости. Параметр де Бюра. Нулевые колебания. Фазовая диаграмма квантовых жидкостей
  - 11 Методы получения низких температур. Экспериментальная физика низких температур. Криостаты на откачке паров криогенных жидкостей, криостаты растворения и размагничивания. Pulsetubes.
  - 12 Свойства твердых тел при низких температурах. Перенос тепла и теплоизоляция.
  - 13 Основы измерения температура и температурные шкалы. Первичные и вторичные температурные шкалы. Реперные точки
  - 14 Практические методы измерения температуры.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

## **Б1.В.ДВ Дисциплины по выбору**

### **1. Гидродинамика и турбулентность**

Автор программы: к. ф.-м. н., Бражников М. Ю.

**Цель** дисциплины: выработать у обучающегося понимание физических явлений, связанных с течением жидкости и газа.

**Задачи:** дать обучающемуся основы гидродинамики и теории слабой волновой турбулентности, развить навыки физического мышления, научить анализу гидродинамических проблем и методам их решения.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Уравнение непрерывности. Уравнения движения идеальной жидкости. Гидростатика. Уравнение Бернулли.
- 2 Потоки энергии и импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальные и несжимаемые течения.
- 3 Потенциальное обтекание тела. Сила сопротивления. Присоединённая масса.
- 4 Вязкая жидкость. Уравнение Навье-Стокса. Закон подобия.
- 5 Течение при малом числе Рейнольдса. Пограничный слой. Сила сопротивления и подъёмная сила.

- 6 Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Устойчивость стационарного движения жидкости.
- 7 Переход к турбулентности. Турбулентный каскад.
- 8 Звуковые волны. Число Маха. Акустическая турбулентность.
- 9 Линейные волны. Гравитационно-капиллярные волны. Вязкое затухание.
- 10 Нелинейные волны. Гамильтонов формализм. Распадная неустойчивость.
- 11 Слабая волновая турбулентность. Статистическое описание. Стационарные спектры.
- 12 Размерные эффекты. Дискретная и кинетическая турбулентности.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## 2. Основы физики полупроводников

Автор программы: член-корр. РАН, д. ф.-м. н., Кулаковский В.Д.

**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 Введение в зонную теорию. 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. Распределение квантовых состояний в зонах, распределение Ферми-Дирака, эффективная плотность состояний в зонах, концентрация носителей в вырожденных и невырожденных полупроводниках, концентрация электронов и дырок на локальных уровнях.
- 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. Время жизни неравновесных электронов и дырок, уравнение непрерывности, фотопроводимость, квазиуровни Ферми.
- 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.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

### **3. Введение в физику двумерных электронных систем**

Автор программы: профессор, д. ф.-м. н., Шикин В.Б.

**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. Магнитоёмкость, 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.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

#### **4. Фазовые диаграммы однокомпонентных и бинарных систем**

Автор программы: д. ф.-м. н., Антонов В.Е.

**Целью** дисциплины является изложение основ применения термодинамики к построению фазовых диаграмм бинарных и однокомпонентных систем.

**Задачи:** овладеть набором понятий и определений в рамках данного курса, освоить основные правила и закономерности в построении фазовых диаграмм бинарных и однокомпонентных 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 Т-Р-х и Т-V-х диаграммах. Изотермические и изобарические сечения. Правило стыка трех граничных линий.
- 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. Правило фаз и поведение изохор на Т-Р диаграммах веществ с положительным и отрицательным объемным эффектом плавления. Приведенное уравнение ван-дер-Ваальса, правило Максвелла, закон соответственных состояний.
- 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. Пути конденсации и кристаллизации.
- 4 Двухкомпонентные системы. Системы с неограниченной растворимостью компонентов ( $\Delta H_{см} < 0$ ). Диаграммы типа сигары, кривые плавления с максимумом и минимумом, точки равной концентрации. Расслоение растворов ( $\Delta H_{см} > 0$ ). Связь критической температуры расслоения с энергией смешения. Пересечение линии испарения с линией критических точек, ретроградная конденсация. Пересечение кривых плавления с куполом расслоения твердых растворов, псевдозвтектические и псевдоперитектические равновесия. Слабые растворы. Фазовые границы вблизи чистого вещества.
- 5 Двухкомпонентные системы. Основные типы диаграмм систем с различной кристаллической структурой компонентов, промежуточными соединениями и полиморфными модификациями: эвтектические, перитектические, монотектические, синтектические, метатектические, диаграммы с ретроградным плавлением.
- 6 Двухкомпонентные системы. Фазовая диаграмма системы железо-углерод. Фазы и структурные составляющие сталей. Основы термической обработки сталей – нормализация, закалка, отпуск, старение. Высоколегированные стали, их маркировка и предназначение.



- 7 Трехкомпонентные системы. Концентрационный треугольник Гиббса и его особые сечения. Правило рычага для тройных систем.
- 8 Трехкомпонентные системы. Системы без твердых растворов. I и II правило Свенсона. Правило касательной. Теорема Алкемаде. Основные типы диаграмм состояния, пути кристаллизации и изотермические сечения: системы с тройной эвтектикой, с тройной перитектикой, с двойной и тройной перитектикой, с двойным соединением, имеющим только тройное поле кристаллизации.
- 9 Трехкомпонентные системы. Системы с твердыми растворами. Теорема Райнза. Построение конод. Правило креста. Ограничения на взаимное расположение границ фазовых областей вблизи точки пересечения на изотермических и политермических разрезах.
- 10 Трехкомпонентные системы. Простейшие типы диаграмм состояния: система с непрерывными жидкими и твердыми растворами, с бинадальной поверхностью, с моновариантным эвтектическим равновесием, с моновариантным перитектическим равновесием, с инвариантным эвтектическим равновесием.
- 11 Четырехкомпонентные системы. Особые сечения и проекции концентрационного тетраэдра. Изотермические тетраэдры. Пример системы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состоянии – изотермические сечения и пути кристаллизации. Геометрические образы равновесий различного числа фаз.
- 12 Четырехкомпонентные системы. Теорема Палатника о соприкосновении областей состояния и ее применение к двух- и трехмерным сечениям диаграмм. Правило креста и правило фаз Райнза как следствия теоремы Палатника.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **5. Электроны в неупорядоченных средах**

Автор программы: доцент, к. ф.-м. н., Храпай В.С.

**Цель курса** - познакомить студентов с основными понятиями и идеями в области электронных свойств разупорядоченных проводников, дать качественное представление о постановке задач и подходах к их решению. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут на базовом уровне понимать текущую научную периодику в этой области, а также будут готовы в последующие семестры прослушать следующие, заложенные в образовательную программу, важные и сложные главы физики твердого тела.

**Задачи дисциплины** – дать студентам необходимые знания по основным разделам данной области знаний, которые охватывает следующие темы: феноменология перехода металл-изолятор; переходы Андерсона и Мотта; квантовые поправки к проводимости в области больших контактансов; плотность состояний и механизмы проводимости в полупроводниках при сильном беспорядке; основы теории протекания; транспорт и

интерференция в одномерных системах; скейлинговая гипотеза и концепция минимальной металлической проводимости; кулоновская блокада.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Переходы металл-изолятор. Переходы под влиянием беспорядка: модель Андерсона и модель структурного беспорядка. Переход Мотта. Минимальная металлическая проводимость.
- 2 Физические аспекты теории перколяции. Аппроксимация эффективной среды. Задачи узлов и связей. Перколяция в системе случайных узлов. Континуальные задачи. Перколяционные пороги и критические индексы.
- 3 Электронная структура примесной зоны в полупроводниках при слабом легировании. Кулоновская щель. Измерение электронного спектра при помощи туннельной спектроскопии.
- 4 Переходы между локализованными состояниями. Разные типы прыжковой проводимости: прыжки на ближайших соседей и с переменной длиной прыжка. Законы Мотта и Шкловского-Эфроса.
- 5 Прыжковая проводимость в образце конечного размера. Существует ли закон Мотта в одномерном случае?
- 6 Слабая локализация и квантовые поправки к проводимости. Оптический аналог слабой локализации. Антилокализация. Частота межэлектронных столкновений в грязном пределе. Эффект Аронова-Альтшулера.
- 7 Скейлинговая гипотеза. Проводимость в критической области вблизи перехода металл-изолятор в трехмерных системах. Квантовый фазовый переход. Двумерные и одномерные системы. Скейлинг и спин-орбитальное взаимодействие.
- 8 Формула Ландауэра для одномерных систем. Локализация и роль корреляций беспорядка в этих системах.
- 9 Роль межэлектронного взаимодействия в одномерных системах. Жидкость Латинжера. Бозонные возбуждения. Туннелирование в жидкость Латинжера.
- 10 Димеризованные металлы. Кулоновская блокада и ее роль при переходах металл-изолятор.
- 11 Упорядоченные системы с большой электронной плотностью. Жидкие металлы. Теория Займана. Химическая локализация.
- 12 Почисленный квантовый эффект Холла. Спектр двумерных электронов в перпендикулярном магнитном поле. Механизм образования плато. Дробный квантовый эффект Холла

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б2.П Производственная практика**

### **Б2.П.1 Практикум по физике твердого тела**

Автор программы: д. ф.-м. н., Зверев В.Н.

Практикум включает ряд задач, выполнение которых позволит студентам освоить некоторые важные методики, используемые в экспериментальной физике твердого тела. Сюда включено ознакомление с пакетом LabView, наиболее часто применяемым в лабораториях для автоматизации эксперимента, задача по фотолинтографии, без которой немислима современная технология изготовления низкоразмерных структур, а также

задачи, позволяющие студентам освоить основы низкотемпературного эксперимента, методики создания высокого давления, работы с низкоразмерными полупроводниковыми структурами. Работы выполняются подгруппами по 3-4 студента.

**Задача лабораторного практикума** - познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что пройдя этот курс и выполнив все задачи практикума, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области, а также легко освоят основные методики физики твердого тела.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Освоение пакета LabView для компьютеризации эксперимента. Организация подключения ПК к экспериментальным приборам. Типы данных используемые в LabVIEW .
- 2 Практическое использование пакета LabVIEW для управления экспериментальной установкой.
- 3 Основы фотолитографии.
- 4 Изготовление методом фотолитографии дифракционной решетки и анализ изготовленной структуры.
- 5 Ознакомление с основными методами создания и измерения высокого давления
- 6 Снятие зависимости смещения температуры Кюри сплава Fe- Ni от величины всестороннего давления.
- 7 Освоение методов получения низких температур и с работой криостата с откачкой паров жидкого гелия.
- 8 Исследование температурной зависимости скорости второго звука.
- 9 Освоение правил работы с криостатом со сверхпроводящим соленоидом.
- 10 Наблюдение квантового эффекта Холла в гетероструктуре на основе GaAs.
- 11 Полупроводниковые квантовые точки.  
Ознакомление с методами синтеза и анализа полупроводниковых квантовых точек.  
Синтез наноразмерных частиц CdTe
- 12 Регистрация спектра поглощения коллоидного раствора; электронно-микроскопическое определение размеров частиц, иммобилизованных на подложке

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## **Б2.П.2 Практикум по вакууму и вакуумной технике**

Автор программы: к. ф.-м. н., Божко С.И.

Практикум включает ряд задач, выполнение которых позволит студентам освоить важные методики, используемые в экспериментальной физике твердого тела. Предметом изучения в практикуме дисциплины являются современные методы получения, измерения и сохранения вакуума. В системе подготовки они должны занимать существенное место, т.к. вакуум является непременным условием функционирования современных физических приборов различного назначения и вакуумных технологических установок. Для изучения дисциплины необходимы знания математики, информатики, физики, физической химии в пределах программ естественно-научного цикла дисциплин.

Работы выполняются подгруппами по 3-4 студента.

**Задача лабораторного практикума** - познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что пройдя этот курс и выполнив все задачи практикума, студенты смогут читать и

понимать текущую научную периодику в этой области, а также легко освоят основные методики физики твердого тела.

#### Краткое содержание дисциплины:

- 1 Основные понятия кинетической теории разреженных газов. Закон распределения молекул по скоростям. Давление газа с точки зрения молекулярно кинетической теории. Закон Дальтона. Единицы давления. Процессы переноса в газах. Виды процессов переноса. Кинетические характеристики молекулярного движения. Поперечное сечение. Средняя длина свободного пробега. Общее уравнение переноса. Теплопроводность. Взаимная и термическая диффузия.
- 2 Течение разреженных газов. Основное уравнение вакуумной техники. Измерение состояния в вакуумной технике. Виды течения. Проводимость элементов вакуумных систем.
- 3 Вакуумные свойства материалов для электронной техники. Процессы поглощения газов металлами, физическая адсорбция, миграция адсорбированных атомов по поверхности, хемосорбция, растворение, окисление, образование газовых включений, газы в металлах, стекле и керамике, обезгаживание
- 4 Конструктивные элементы вакуумных систем. Общие сведения, разъемные и неразъемные соединения, вентили, клапаны, вспомогательное оборудование.
- 5 Откачные вакуумные системы, принципы конструирования и расчета вакуумных систем, особенности вакуумных систем для электронной технологии. Шлюзовые системы в вакуумном оборудовании.
- 6 Физические принципы работы вакуумных насосов. Вакуумные насосы и их классификация. Основные характеристики вакуумных насосов. Объемная откачка. Предварительный вакуум. Вращательные насосы. Рабочие жидкости вакуумных насосов.
- 7 Пароструйная откачка. Диффузионные и бустерные насосы. Рабочие жидкости для пароструйных насосов. Турбомолекулярные насосы. Ионно-сорбционная откачка. Криогенная откачка.
- 8 Измерение вакуума.  
Классификация приборов для измерения низких давлений. Механические манометры. Тепловые и ионизационные манометры. Измерение парциальных давлений. Основные параметры масс-спектрометров. Магнитный, времяпролетный, квадрупольный и монопольный масс-спектрометры.
- 9 Течеискание. Требования к герметичности вакуумных систем. Вакуумметрический, галоидный, масс-спектральный методы течеискания.
- 10 Современные сверхвысоковакуумные технологии в науке и технике. Синтез и анализ объектов и элементов исследования.

Общая трудоемкость дисциплины: 4 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

### **Б2.П.3 Практикум по структурному анализу**

Автор программы: доцент, к. ф.-м. н., Матвеев Д.В.

**Цель** практики: дать студентам основные знания о современных методах анализа структуры веществ и их принципах работы, а также формирование у обучающихся практических навыков использования изучаемых методов, в том числе, освоить основные принципы установления структуры неизвестного материала (включая аморфные

материалы и наноматериалы) посредством комплексного анализа его структурных особенностей.

**Задачи:**

- создание у обучающихся теоретической и практической баз для освоения различных модификаций методов исследования структуры веществ;
- развивать навыки работы студентов с современным оборудованием;
- познакомить студентов с примерами решения типичных задач физики при помощи методов структурного анализа и научить выбору подходящей методики при решении определенных исследовательских задач физики твердого тела и материаловедения.

Краткое содержание дисциплины:

- 1 Дифракционные методы исследования реальной структуры материалов.
- 2 Основы растровой электронной микроскопии (РЭМ).
- 3 Просвечивающая электронная микроскопия. Электронная микроскопия высокого разрешения.

Общая трудоемкость дисциплины: 2 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации: зачет.