**Приложение 5**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное**

**образовательное учреждение высшего образования**

**«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

|  |
| --- |
|  |

**Аннотации рабочих программ дисциплин**

Уровень высшего образования

***Подготовка кадров высшей квалификации***

Направление подготовки

**03.06.01 – Физика и астрономия**

Направленность образовательной программы

**Физика конденсированного состояния (01.04.07)**

Квалификация

***Исследователь. Преподаватель-исследователь***

Форма обучения

***Очная***

Нижний Новгород

2015

|  |
| --- |
| **История и философия науки** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «История и философия науки» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является обязательной и изучается на 1-ом году обучения, в 1-ом и 2-м семестрах.

В рамках курса анализируется проблема возникновения науки, изучается социальный контекст развития науки, генезис и развитие дисциплинарной структуры научного знания, её современной состояние; изучается тождество и различие естественно-научного, социально-гуманитарного и технического знания, анализируются основные механизмы и современные проблемы научной познавательной деятельности.

Освоение курса истории и философии науки опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Прежде всего, речь идет о способности выделять и анализировать социально-значимые проблемы, владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; об умении самостоятельно формулировать цели и задачи научного исследования в различных областях знания и решать их с помощью современных исследовательских методов с использованием отечественного и зарубежного опыта; об использовании базовых теоретических знаний и практических навыков и умений в научных и научно-прикладных исследованиях.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* научить эффективному использованию современной методологии науки в конкретном научном исследовании;
* выработать у обучающихся осознание органичной связи, существующей между философией и конкретными науками;
* сформировать умение экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую;
* выработать навыки оценки социальных последствий результатов научной деятельности;
* научить использованию в ходе конкретного научного исследования основных механизмов познавательной деятельности.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

* способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)
* способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения (УК-2).
* способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 4 зачётные единицы, всего - 144 часа, из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34 часа занятия лекционного типа, 34 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 36 часов мероприятия текущего контроля успеваемости – т.е. текущий контроль успеваемости осуществляется на семинарских занятиях, 36 часов мероприятия промежуточной аттестации, 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**5. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Общие проблемы истории и философии науки:

Предмет и основные концепции современной философии науки. Наука в культуре современной цивилизации. Возникновение науки и основные стадии её исторической эволюции. Структура научного знания. Динамика науки как процесс порождения научного знания. Научные традиции и научные революции. Типы научной рациональности. Особенности современного этапа развития науки. Перспективы технологической революции. Наука как социальный институт.

Раздел 2. Философские проблемы математических и естественных наук:

Философско-методологические и исторические проблемы математизации знания. Место физики в системе естественно-научного знания. Философско-методологические аспекты понятия сложности. «Коэволюция» вычислительных средств и научных методов. Строение современной химической теории. Соотношение физики и химии. Проблема системной организации в биологии. От биологической эволюционной теории к глобальному эволюционизму.

**6. Форма аттестации.**

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по результатам первого семестра и в виде кандидатского экзамена по годовому курсу.

Зачет выставляется по результатам оценивания эссе. При проверке эссе преподаватель оценивает заинтересованность аспиранта вопросами развития науки и научного познания, способность самостоятельно обозначить точки активного роста нового знания, проблемные ситуации организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие философско-методологические концепции.

Экзаменационная оценка складывается из оценки знаний по общим проблемам истории и философии науки; из оценки степени усвоения курса «История и философия конкретной науки»; третьей составляющей экзаменационной оценки является результат дискуссии и презентации реферата на семинарском занятии и результат собеседования по теме реферата на экзамене. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому применению мировоззренческих, общенаучных и методологических принципов в конкретном научном исследовании (о чем можно судить по представленным презентации и реферату).

**Авторы**: Дорожкин А.М., Кутырёв В.А., Каржина Г.А., Пак Г.С.

|  |
| --- |
| **Язык. Риторика. Лингвопоэтика** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Язык. Риторика. Лингвопоэтика» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 1 году обучения, в 1 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования: дисциплина базируется на общеобразовательной подготовке, полученной выпускниками негуманитарных специальностей по окончании вуза, а также в ходе подготовки к вступительным экзаменам в аспирантуру по истории и методологии науки и по иностранному языку.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Язык. Риторика. Лингвопоэтика», необходимы для выполнения кандидатской диссертации, овладения молодыми исследователями основными принципами научной коммуникации, ведения научной дискуссии и адекватного оформления результатов научной деятельности в избранной ими области. Кроме того, успешное освоение дисциплины обеспечивает расширение общекультурного и научного кругозора, повышение культурного и научного уровня молодых специалистов-физиков.

Общая трудоемкость дисциплины составляет2 зачетные единицы, 72 часа.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Код формируемой компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| УК-2 | З-1: ЗНАТЬ: основные концепции современной философии науки, основные стадии эволюции науки, функции и основания научной картины мира  З-2: ЗНАТЬ: методы научно-исследовательской деятельности  У-1: УМЕТЬ: использовать технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований  В-1: ВЛАДЕТЬ: навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в.т.ч. междисциплинарного характера, возникающих в науке на современном этапе ее развития |
| УК-4 | З-1: ЗНАТЬ: методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках  З-2: ЗНАТЬ: стилистические особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме на государственном и иностранном языках  У-1: УМЕТЬ: следовать основным нормам, принятым в научном общении на государственном и иностранном языках  В-1: ВЛАДЕТЬ: навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках  В-2: ВЛАДЕТЬ: навыками критической оценки эффективности различных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках  В-3: ВЛАДЕТЬ: различными методами, технологиями и типами коммуникаций при осуществлении профессиональной деятельности на государственном и иностранном языках |
| УК-5 | З-1: ЗНАТЬ: содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда  У-1: УМЕТЬ: формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей  У-2: УМЕТЬ: осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом  В-1: ВЛАДЕТЬ: приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач  В-2: ВЛАДЕТЬ: способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития |

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 16 часов –– семинарские занятия, 2 часа –– итоговая аттестация), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание дисциплины**

Раздел 1. Основные принципы устройства и функционирования языка

Язык и мир. Язык и сознание. Язык и знание. Логический анализ языка. Общие вопросы устройства и функционирования естественного языка в когнитивном освещении. Языковая концептуализация мира

Теоретическая семантика. Широкое и узкое понимание значения. Значение и смысл. Теория языкового значения. Значение единиц разных уровней языка. Национальная и культурная обусловленность языковой семантики

Раздел 2. Язык как деятельность. Текст и дискурс

Язык как деятельность. Основы теории речевого воздействия. Лингвистическая прагматика и теория речевых актов. Принцип кооперации, принцип вежливости и постулаты общения. Прагматические ресурсы языка, речи, текста.

Текст и дискурс: общие вопросы. Теории текста в лингвистике. Специфика научного дискурса. Принципы эффективной научной коммуникации. Эффективные речевые стратегии и тактики научной коммуникации.

Раздел 3. Риторическая парадигма лингвистического знания

Риторическая парадигма лингвистического знания. Основы культуры речи. Коммуникативные качества речи. Стилистические тропы и фигуры. Приемы языковой выразительности.

Эристика как искусство спора. Теория аргументации. Искусство полемики. Приемы эмоционального воздействия на аудиторию. Полемические приемы и уловки.

Раздел 4. Лингвопоэтика и креативное использование языка

Приемы языкового манипулирования сознанием. Способы и механизмы психолингвистической защиты от информационно-психологического воздействия

Проблемы линвгокреативности в лингвопоэтике. Специфика художественного высказывания. Креативный потенциал языка. «Языковая игра» в широком и узком смысле.

**5. Аттестация по дисциплине**

Предполагается традиционный зачет по системе «зачет / незачет». Зачет выставляется при успешном прохождении процедур текущего контроля успеваемости и при успешной защите доклада на итоговой зачетной конференции.

**Автор**: докт. филол. наук, профессор Т.Б. Радбиль

|  |
| --- |
| **Концепции гуманитарных и естественных наук** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы**

Дисциплина «Концепции гуманитарных и естественных наук» относится к числу дисциплин по выбору студента и изучается на 1 году обучения, во 2 семестре.

В рамках курса изучаются основные концепции гуманитарных и естественных наук; соотношение между гуманитарными и естественнонаучными методами; особенности гуманитарного и естественнонаучного знания.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции сформированные на предшествующих уровнях образования. Прежде всего, речь идет о способности выделять и анализировать социально-значимые проблемы, владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; об умении самостоятельно формулировать цели и задачи научного исследования в различных областях знания и решать их с помощью современных исследовательских методов с использованием отечественного и зарубежного опыта; об использовании базовых теоретических знаний и практических навыков и умений в научных и научно-прикладных исследованиях.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* сформировать у обучающихся знания об основных концепциях естественных и гуманитарных наук;
* сформировать у обучающихся представления о взаимосвязи естественнонаучного и гуманитарного знания;
* изучить механизмы взаимодействия естественнонаучного и гуманитарного знания в процессе социального развития;
* выработать навыки оценки социальных последствий результатов естественнонаучной и гуманитарной научной деятельности.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

* способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
* способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
* способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5)
* готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

**3. Структура и содержание дисциплины «Концепции гуманитарных и естественных наук»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы - 72 часа, в том числе – 36 часов лекции и 36 часов – самостоятельная работа аспиранта.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1 Введение.

Цели и задачи курса. Место курса в образовательной программе.

Раздел 2. Особенности выдвижения гипотез в гуманитарных и естественных науках.

Место гипотезы в гуманитарном и естественнонаучном знании. Механизмы порождения гипотез в гуманитарных и естественных науках. Особенности гипотез в естественных науках. Особенности гипотез в гуманитарных науках.

Раздел 3. Теории в гуманитарных и естественных науках.

Особенности теоретического знания в гуманитарных и естественных науках. Связь теоретического и эмпирического уровней познания. Механизмы построения теорий в естественных науках. Механизмы построения теорий в гуманитарных науках. Основные теории гуманитарных наук. Основные теории естественных наук.

Раздел 4. Методы исследования в гуманитарных и естественных науках.

Особенности эмпирических методов исследования в естественных науках. Особенности эмпирических методов исследования в гуманитарных науках. Особенности методов теоретического уровня исследования в естественных науках. Особенности методов теоретического уровня исследования в гуманитарных науках. Методы и методология в гуманитарных и естественных науках.

Раздел 5. Модели в гуманитарных и естественных науках.

Место моделей в гуманитарных и естественных науках. Типы моделей. Особенности построения моделей в естественных науках. Особенности построения моделей в гуманитарных науках. Место математических моделей в гуманитарных науках. Особенности построения математических моделей в гуманитарных науках.

Раздел 6. Особенности базовых понятий и концептов гуманитарных и естественных наук

Принципы построения понятий и концептов в рамках теоретического уровня знания. Соотнесение содержания понятий и концептов с эмпирическим уровнем знания. Особенности построения понятий и концептов в естественных науках. Особенности построения понятий и концептов в гуманитарных науках. Понятия и концепты: общее и особенное.

Раздел 7. Законы природы, общества и мышления в гуманитарных и естественных науках

Особенности представлений о законах в современном научном знании. Выявление и построение законов в естественных науках. Выявление и построение законов в гуманитарных науках. Взаимосвязь законов природы, общества и мышления.

Раздел 8. Концепции гуманитарных и естественных наук.

Идеи и принципы как составные элементы концепций. Понятие концепции как узла сети принципов, идей, гипотез, теорий, методов, моделей, понятий и законов. Основные концепции гуманитарных наук. Основные концепции естественных наук.

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация по дисциплине проходит в форме зачета. На зачете проводится устный опрос по тематике лекций и защита подготовленного обучающимся эссе.

**Авторы**: д.ф.-м.н., профессор Чувильдеев В.Н., к.и.н. Масланов Е.В.

|  |
| --- |
| **Современные численные методы в физике наноструктур** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные численные методы в физике наноструктур» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 3-ом году обучения, в 5-ом семестре.

Изучению данной дисциплины предшествует изучение общих и специальных курсов по квантовой физике твёрдого тела, физике низкоразмерных структур, теории систем многих частиц, теории групп, квантовой теории поля, изучаемых в рамках соответствующих программ обучения в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре на предшествующих ступенях высшего профессионального образования.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся должны получить представление о современных аналитических и численных методик моделирования электронных состояний в наномасштабных кристаллах (квантовых ямах, квантовых проволоках, квантовых точках и т.д.), предназначенных для создания оптоэлектронных устройств нового поколения.

В программе курса запланирован цикл лекций, сочетающийся с циклом семинаров с тематическими докладами обучающихся, и с последующим обсуждением по типу научного семинара исследовательского подразделения. По итогам изучения курса обучающиеся должны также овладеть навыками расчёта и умением делать оценки экспериментально и технологически значимых параметров исследуемых структур, в том числе для их последующего использования в наноэлектронике, спинтронике, и системах квантовых вычислений.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целями изучения дисциплины «Современные численные методы в физике наноструктур» является:

* Овладеть основными положениями современных аналитических и численных методик моделирования электронных состояний в наномасштабных кристаллах (квантовых ямах, квантовых проволоках, квантовых точках и т.д.), предназначенных для создания оптоэлектронных устройств нового поколения
* Приобрести практические навыки расчёта основных параметров типичных структур для использования их в экспериментальных и промышленных приложениях, в том числе в качестве устройств хранения и обработки информации в схемах квантовых вычислений.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

* Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1);
* Способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в то числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* Способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* Готовностью организовывать и планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области физики конденсированного состояния, физического материалов и в смежных областях, а также организовывать работу небольших научно-исследовательских групп (научно-исследовательских лабораторий) для решения сложных научных и/или технологических задач инновационного характера (ПК-9).

1. **Структура дисциплины**

Объем дисциплины «Современные численные методы в физике наноструктур» составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (научно-практические занятия), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Численные методы решения уравнения Шредингера.

Дискретное уравнение Шредингера (проведение параллелей между непрерывным и дискретным подходом на основе базовых задач квантовой механики). Расчет собственных функций и собственных значений.

Раздел 2. Моделирование физических процессов в наноструктурах

Задача рассеяния. Квантовая динамика. Применение развитых методов для моделирование конкретных структур (квантовых точек, квантовых ям, квантовых проволок).

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация проводится в форме зачета, в ходе которого обучаемые должны представить развёрнутый ответ каждый из двух вопросов, содержащиеся в перечне контрольных вопросов.

**Автор**: д.ф.-м.н., профессор Сатанин А.М.

|  |
| --- |
| **Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» относится к числу общепрофессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 2-ом году обучения, в 4-ом семестре.

Изучению данной дисциплины предшествует изучение общих и специальных курсов по квантовой физике твёрдого тела, физике низкоразмерных структур, теории систем многих частиц, теории групп, квантовой теории поля, изучаемых в рамках соответствующих программ обучения в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре на предшествующих ступенях высшего профессионального образования.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся должны получить представление о современном состоянии исследований в области оптики объемных полупроводников и полупроводниковых наноструктур. Обучающийся должен освоить основные методы расчёта физических характеристик таких объектов, в том числе способы нахождения квантовых состояний, спиновой поляризации, релаксационных и оптических параметров. По итогам изучения курса обучающиеся должны также овладеть навыками расчёта и умением делать оценки экспериментально и технологически значимых параметров исследуемых структур, в том числе для их последующего использования в наноэлектронике, спинтронике, и системах квантовых вычислений.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целями изучения дисциплины «Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» являются:

* Владение основными положениями современной квантовой теории объемных полупроводников и полупроводниковых структур, а также понимание физических механизмов протекания в них оптических явлений;
* Освоение аспирантами методов расчёта характерных времен излучательных и безызлучательных переходов, происходящих в полупроводниках;
* Выработка у аспирантов практических навыков моделирования кинетики люминесценции в реальных полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах аналитическими и численными методами.

Выпускник, освоивший программу данной дисциплины, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

* Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
* Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1);
* Способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в то числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* Способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* Готовностью организовывать и планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области физики конденсированного состояния, физического материалов и в смежных областях, а также организовывать работу небольших научно-исследовательских групп (научно-исследовательских лабораторий) для решения сложных научных и/или технологических задач инновационного характера (ПК-9).

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» составляет 3 зачётные единицы, всего - 108 часов, из которых 36 часов – занятия лекционного типа, 18 часов – практические занятия, 36 часов – промежуточная и итоговая аттестация, 18 часов – самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом

Экранирование электромагнитного поля в твердых телах. Формула Линдхарда. Временная дисперсия диэлектрической проницаемости. Коэффициент поглощения электромагнитной волны. Соотношения Крамерса-Кронига. Микроскопический подход. Гамильтониан системы. Вероятность (скорость) межзонного электронного перехода в единицу времени. Правила отбора по квазиимпульсу. Поглощение волны. Расчет диэлектрической функции. Коэффициент поглощения электромагнитной энергии полупроводником. Сила осциллятора. Излучение электромагнитной волны. Связь между вероятностью излучения и коэффициентом поглощения.

Раздел 2. Поглощение света прямозонными полупроводниками

Использование «Золотого правила Ферми» для расчета вероятности поглощения света. Коэффициент поглощения электромагнитной волны в случае прямых межзонных переходов. Зависимость коэффициента поглощения от частоты поглощенного света – пороговый характер поглощения.

Раздел 3. Электрон-фононное взаимодействие

Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические моды. Квантование колебаний решетки – фононы. Взаимодействие электронов с колебаниями решетки: модели жестких и деформированных ионов.

Раздел 4. Поглощение света непрямозонными полупроводниками

Расчет вероятности электронно-дырочного перехода с участием фононов в кремнии и германии. Теория возмущений второго порядка для таких переходов. Типы промежуточных состояний. Коэффициент поглощения света в непрямозонном полупроводнике – зависимость от частоты поглощенного света.

Раздел 5. Оптические переходы в квантовых ямах и точках

Электронные спектры и волновые функции в квантовых структурах – эффект размерного квантования. Энергетические подзоны и минизоны. Приближение огибающей. Межзонные и внутризонные переходы. Вычисление коэффициента поглощения электромагнитной волны в квантовых ямах, сверхрешетках и квантовых точках.

1. **Аттестация по дисциплине технологии**

Занятия по дисциплине «Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» проходят в лекционной форме и в форме практических занятий, а также в форме самостоятельной работы обучаемых.

Итоговая аттестация проводится в форме устного экзамена, в ходе которого обучаемые должны представить развёрнутый ответ на три вопроса, содержащиеся в перечне контрольных вопросов.

**Авторы**: д.ф.-м.н., доцент, Бурдов В.А., д.ф.-м.н. профессор, Сатанин А.М.

|  |
| --- |
| **Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 2-ом году обучения, в 3-м семестре.

Изучению данной дисциплины предшествует изучение общих и специальных курсов по квантовой физике твёрдого тела, физике низкоразмерных структур, теории систем многих частиц, теории групп, квантовой теории поля, изучаемых в рамках соответствующих программ обучения в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре на предшествующих ступенях высшего профессионального образования.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся должны получить представление о современных задачах физики низкоразмерных систем, в которых рассматриваются полупроводниковые решеточные структуры, в газе носителей которых имеет место сильное спин-орбитальное взаимодействие. Обучающийся должен освоить основные методы расчёта квантовых состояний, спиновой поляризации, транспортных и оптических характеристик электронного газа. В программе курса запланирован цикл лекций, сочетающийся с циклом семинаров с тематическими докладами обучающихся, и с последующим обсуждением по типу научного семинара исследовательского подразделения. По итогам изучения курса обучающиеся должны также овладеть навыками расчёта и умением делать оценки экспериментально значимых параметров исследуемых структур, в том числе для их последующего использования в наноэлектронике, спинтронике, и системах квантовых вычислений.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целями изучения дисциплины «Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле» являются:

* Овладеть основными положениями современной квантовой теории полупроводниковых сверхрешеток с сильным спин-орбитальным взаимодействием, помещенных в квантующее магнитное поле.
* Освоить методы расчёта квантовых состояний, спиновой поляризации, транспортных и оптических характеристик в изучаемых структурах.
* Приобрести практические навыки расчёта основных параметров типичных структур для использования их в экспериментальных и промышленных приложениях, в том числе в качестве устройств типа спинового клапана и спинового фильтра.
* Освоить методы расчёта электронных состояний, магнитотранспортных и магнитооптических свойств двумерных полупроводниковых решеточных структур.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

* Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физики полупроводников и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1);
* Способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в то числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* Способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* Готовностью организовывать и планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области физики конденсированного состояния, физического материалов и в смежных областях, а также организовывать работу небольших научно-исследовательских групп (научно-исследовательских лабораторий) для решения сложных научных и/или технологических задач инновационного характера (ПК-9).

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле» составляет 3 зачётные единицы, всего - 108 часов, из которых 90 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (научно-практические занятия), 36 часов мероприятия промежуточной аттестации, 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Методы расчета электронных состояний в двоякопериодических полупроводниковых сверхрешетках в перпендикулярном магнитном поле

Квантование Ландау поперечного движения электрона в магнитном поле. Методы расчета зонной структуры полупроводников. Искусственные кристаллы – сверхрешетки и методы их формирования. Спектры носителей в сверхрешетках в магнитном поле, классификация состояний. Магнитные блоховские подзоны. Спин-орбитальное взаимодействие как источник новых эффектов в полупроводниковых структурах.

Раздел 2. Магнитотранспорт в двумерных сверхрешетках n-типа в магнитных полях. Квантовый целочисленный эффект Холла

Продольный транспорт в магнитном поле. Вольт-амперные характеристики. Квантование кондактанса в условиях КЦЭХ, влияние топологических характеристик магнитных подзон на законы квантования кондактанса. Роль спин-орбитального взаимодействия.

Раздел 3. Магнитооптические эффекты в двумерном электронном газе сверхрешетки. Влияние спин-орбитального взаимодействия на течение магнитооптических эффектов Керра и Фарадея

Спектры поглощения электромагнитного излучения газом носителей в магнитном поле. Правила отбора для переходов, теоретико-групповой анализ квантовых состояний. Переходы в спектре магнитных подзон для волн различной поляризации. Магнитный круговой дихроизм. Течение полярного эффекта Керра и Фарадея. Связь со спиновой поляризацией квантовых состояний.

**5. Аттестация по дисциплине**

Занятия по дисциплине «Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле» проходят в лекционной форме и в форме практических занятий, а также в форме самостоятельной работы обучаемых.

Аттестация проводится в форме устного экзамена, в ходе которого обучаемые должны представить развёрнутый ответ на вопрос, содержащийся в перечне контрольных вопросов по дисциплине «Двумерный электронный газ в квантующем магнитном поле»:

**Авторы**: к.ф.-м.н. доцент, Перов А.А., д.ф.-м.н. профессор Сатанин А.М.

|  |
| --- |
| **Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 3-ом году обучения, в 6-ом семестре.

Изучению данной дисциплины предшествует изучение общих и специальных курсов по квантовой физике твёрдого тела, физике низкоразмерных структур, теории систем многих частиц, теории групп, квантовой теории поля, изучаемых в рамках соответствующих программ обучения в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре на предшествующих ступенях высшего профессионального образования.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся должны получить представление о современных задачах физики конденсированного состояния, в которых рассматриваются полупроводниковые структуры с сильным спин-орбитальным взаимодействием, а также графен, и структуры, принадлежащие к классу топологических изоляторов. Обучающийся должен освоить основные методы расчёта физических характеристик таких структур, в том числе способы нахождения квантовых состояний, спиновой поляризации, релаксационных, транспортных и оптических параметров. В программе курса запланирован цикл лекций, сочетающийся с циклом семинаров с тематическими докладами обучающихся, и с последующим обсуждением по типу научного семинара исследовательского подразделения. По итогам изучения курса обучающиеся должны также овладеть навыками расчёта и умением делать оценки экспериментально и технологически значимых параметров исследуемых структур, в том числе для их последующего использования в наноэлектронике, спинтронике, и системах квантовых вычислений.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целями изучения дисциплины «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» является:

* Овладеть основными положениями современной квантовой теории полупроводниковых структур с сильным спин-орбитальным взаимодействием, в частности, структур, принадлежащих к классу топологических изоляторов.
* Освоить методы расчёта квантовых состояний, спиновой поляризации, а также релаксационных, транспортных и оптических характеристик в изучаемых структурах.
* Приобрести практические навыки расчёта основных параметров типичных структур для использования их в экспериментальных и промышленных приложениях, в том числе в качестве устройств хранения и обработки информации в схемах квантовых вычислений.
* Познакомиться с физическими свойствами двумерной формы углерода- графена, как кандидата в материалы для приборов микро- и наноэлектроники.
* Освоить методы расчёта электронных и транспортных свойств состояний графена и других двумерных структур, квазичастицы в которых описываются релятивистским уравнением Дирака.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

* Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1);
* Способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в то числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* Способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* Готовностью организовывать и планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области физики конденсированного состояния, физического материалов и в смежных областях, а также организовывать работу небольших научно-исследовательских групп (научно-исследовательских лабораторий) для решения сложных научных и/или технологических задач инновационного характера (ПК-9).

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (научно-практические занятия), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Элементы спинтроники и физики топологических изоляторов

Спин-орбитальное взаимодействие как источник новых эффектов в полупроводниковых структурах. Основные механизмы энергетической и спиновой релаксации. Принципы работы некоторых устройств спинтроники. Элементы теории топологических изоляторов. Обзор основных эффектов и приложений топологических изоляторов.

Раздел 2. Электронные и транспортные свойства графеновых структур и материалов с дираковским спектром

Электронная структура графена. Уравнение Дирака для электронов в графене. Парадокс Клейна и особенности туннелирования в графене. Электронные состояния в графеновых нанолентах. Квантование Ландау для безмассовых Дираковских фермионов.

**5. Аттестация по дисциплине**

Занятия по дисциплине «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» проходят в лекционной форме и в форме практических занятий, а также в форме самостоятельной работы обучаемых.

В ходе изучения дисциплины аспиранты подготавливают и представляют в форме защиты доклада презентации по индивидуальным заданиям, отвечающие основным разделам дисциплины.

Итоговая аттестация проводится в форме зачета, в ходе которого обучаемые должны представить развёрнутый ответ каждый из двух вопросов, содержащиеся в перечне контрольных вопросов.

**Авторы**: к.ф.-м.н. доцент, Хомицкий Д.В., к.ф.-м.н. доцент, Максимова Г.М., д.ф.-м.н. профессор Сатанин А.М.

|  |
| --- |
| **Современные методы рентгеновской оптики** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направленности «Физика конденсированного состояния» и преподается на 2м году обучения, в 3м семестре.

Для усвоения данного курса необходимо освоить некоторые модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра по направлению Физика: общая физика (оптика); математические дисциплины в объёме, преподаваемом на физическом факультете университета (математический анализ, векторная и тензорная алгебра); физика анизотропных сред; кристаллография. Данный курс является традиционным компонентом фундаментального классического образования физика-кристаллографа.

Актуальность курса связана с возрастающим прикладным значением исследований в области адаптивной рентгеновской оптики и применении рентгенооптических элементов в схемах фокусировки рентгеновского излучения, формирования пространственной структуры рентгеновских пучков, в топографии для изучения дефектной структуры поверхности кристалла, и т. д., что связано с развитием рентгеновской микроскопии.

В результате изучения дисциплины студент должен **знать:**

* фундаментальные особенности дифракции рентгеновских лучей на кристаллах с разной степенью совершенства;
* влияние внешних воздействий на параметры дифракционных максимумов кристаллов;
* способы формирования пространственной структуры рентгеновских пучков и их управления их сходимостью;
* способы управления дисперсионными свойствами кристаллов;
* основы зеркальной, преломляющей, Френелевской и Брэгг-Френелевской фокусирующей оптики.

**Иметь навыки:**

* расшифровки дифрактограмм, качественного и количественного рентгеновского фазового анализа двухфазных кристаллических систем, определения размеров ОКР и микронапряжений в кристаллах по ширине дифракционной линии;
* планирования и проведения исследований и экспериментов с использованием РФА поликристаллов;
* переносить полученных знания о РФА поликристаллов на смежные предметные области и к использованию этих знаний для создания новых объектов техники и технологии и для инновационной деятельности.

**Владеть:**

* комплексом современных компьютерных программ основных методов рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа;
* методами поиска информации в базах дифракционных и структурных данных.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Целью освоения курса «Современные методы рентгеновской оптики» является:

* изучение одного из важных разделов прикладной оптики посвященной процессам распространения рентгеновских лучей в средах, разработке элементов для рентгеновских приборов;
* ознакомить студентов с одним из научных направлений кафедры КЭФ, связанным с исследованиями в области рентгеновской дифракционной оптики;
* научить эффективно использовать знания современной физики и математических методов в конкретном научном исследовании;
* выработать у обучающихся осознание органичной связи, существующей между физикой и смежными естественными науками (химией, биологией и т.п.);
* сформировать умение экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую.

Курс включает в себя такие вопросы, как дифракция рентгеновских лучей в кристаллах, амплитудная модуляция рентгеновских пучков и формирование их пространственной структуры, фокусировка рентгеновского излучения, управления сходимостью рентгеновских пучков, френелевская и брэгг-френелевская оптика, рентгеновские зеркала, капиллярная оптика, преломляющая оптика

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

* способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения (УК-2)
* способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5)
* способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 26 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия практического типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 26 часов мероприятия аттестации, 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Брэгг-Френелевские линзы на кристаллах и на многослойных рентгеновских зеркалах. Зонные пластинки скользящего падения. Капиллярная оптика.

Брэгг-Френелевские линзы (БФЛ) на кристаллах. БФЛ с фазосдвигающим слоем. Проблемы и перспективы. Фокусировка зонными пластинками скользящего падения. Фокусировка рентгеновского излучения с использованием капиллярной оптики.

Раздел 2. Фокусировка рентгеновского излучения преломляющими линзами. Оптика скользящего падения. Многослойная рентгеновская оптика.

Брэгг-Френелевские линзы (БФЛ) на кристаллах. БФЛ с фазосдвигающим слоем. Проблемы и перспективы. Фокусировка зонными пластинками скользящего падения. Фокусировка рентгеновского излучения с использованием капиллярной оптики.

Раздел 3. Влияние внешних воздействий на параметры дифракционных максимумов кристаллов. Способы формирования пространственной структуры рентгеновских пучков.

Принципы формирования рентгеновских изображений (РИ) воздействием оптического изображения на дифрагирующие кристаллы и от чего зависит разрешающая способность РИ?

Раздел 4. Управление сходимостью рентгеновских пучков с использованием теплового воздействия света на поверхность кристалла. Управление дисперсионными свойствами кристаллов.

Управление сходимостью рентгеновских пучков с использованием теплового воздействия света на поверхность кристалла. Управление дисперсионными свойствами кристаллов.

Раздел 5. Методы рентгеновской рефлектометрии и высокоразрешающей дифрактометрии в исследовании эпитаксиальных слоев.

Физические основы рентгеновской рефлектометрии и дифрактометрии в исследовании эпитаксиальных слоев.

Раздел 6. Физические принципы генерирования характеристического рентгеновского излучения

Физические механизмы возникновения тормозного и характеристического рентгеновского излучения при электронном, ионном и синхротронном возбуждении в материальных средах. Поглощение падающего излучения. Ионизация внутренних электронных оболочек.

Раздел 7. Аппаратура для рентгеновского фазового анализа.

Источники рентгеновского излучения. Детекторы рентгеновских лучей Подготовка образцов для рентгеновского фазового анализа. Рентгеооптические схемы и элементы.

Раздел 8. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов

Основные характеристики рентгеновского фазового анализа, чувствительность метода. Индицирование рентгенограмм. Погрешности метода

Раздел 9. Методы количественного анализа многофазных поликристаллических материалов.

Методы внутреннего стандарта, корундовых чисел, разбавления. Достоверность количественного фазового анализа. Основные погрешности метода.

**5. Аттестация по дисциплине**

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме, далее излагаемый на лекциях теоретический материал частично закрепляется и отрабатывается в ходе выполнения лабораторного практикума. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. В ходе семестра осуществляется подготовка реферата.

В ходе лабораторного практикума применяется компьютерная техника и программное обеспечение аппарата D8 Discover.

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета (зачет с оценкой).

Оценка складывается из оценки знаний по общим вопросам рентгеновской оптики, физики рентгеновских лучей; из оценки степени усвоения методики рентгеновского фазового и количественного анализа; третьей составляющей зачета является результат дискуссии и презентации реферата на семинарском занятии и результат собеседования по теме реферата на зачете.

Автор: в.н.с. НИФТИ ННГУ, д.ф.-м.н. Трушин В.Н.

|  |
| --- |
| **Современные методы рентгеновского флуоресцентного элементного анализа** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные методы рентгеновского флуоресцентного элементного анализа» относится к числу профессиональных дисциплин, является вариативной и изучается на 3-ом году обучения, в 6-м семестре.

В рамках курса изучаются физические принципы генерирования и регистрации рентгеновских лучей, основные закономерности взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и возникающие вторичные эффекты, методы элементного анализа на базе спектрометрии рентгеновского флуоресцентного излучения, осваиваются методики рентгеновского флуоресцентного элементного анализа (РФЭА) в различных материальных средах, способы расчета концентраций примесей в образцах сложного химического состава.

Освоение курса рентгеновского флуоресцентного элементного анализа опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. В первую очередь, речь идет о способности использовать базовые законы физики, проводить анализ реальных физических систем, владеть основными методами высшей математики, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; об умении самостоятельно формулировать цели и задачи конкретного научного исследования в различных областях прикладной физики и решать их с помощью современных исследовательских методов с использованием отечественного и зарубежного опыта.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* + научить эффективно использовать знания современной физики и математических методов в конкретном научном исследовании;
  + выработать у обучающихся осознание органичной связи, существующей между физикой и смежными естественными науками (химией, биологией и т.п.);
  + сформировать умение экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую;

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

Способность самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1)

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия практического типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Физические принципы генерирования характеристического рентгеновского излучения

Физические механизмы возникновения тормозного и характеристического рентгеновского излучения при электронном, ионном и синхротронном возбуждении в материальных средах.

Флуоресцентный метод возбуждения характеристического рентгеновского излучения.

Образование вторичного характеристического рентгеновского излучения при воздействии жестких рентгеновских лучей на исследуемое вещество. Конкурентные процессы рентгеновской флуоресценции и эффекта Оже.

Раздел 2. Методы спектрометрии рентгеновских лучей

Ионизационный и сцинтилляционный методы измерения энергии рентгеновских фотонов. Дифракция Фраунгофера рентгеновских лучей на монокристаллах.

Раздел 3. Аппаратура для рентгеновского флуоресцентного элементного анализа

Вакуумные электронные трубки. Источники высокого стабилизированного напряжения. Системы охлаждения. Спектрометрические блоки. Детекторы рентгеновских лучей. Системы подачи образцов.

Раздел 4. Пробоподготовка образцов для рентгено-флуоресцентного элементного анализа

Очистка и измельчение исследуемых твердых образцов. Использование кювет для элементного анализа жидких материалов.

Раздел 5. Зависимость концентрации исследуемого химических элементов от интенсивности спектральных линий характеристического рентгеновского излучения

Поглощение падающего излучения. Ионизация внутренних электронных оболочек. Альтернативные радиационные переходы. Поглощение флуоресцентного излучения. Угловые зависимости регистрируемой интенсивности.

Раздел 6. Вторичные эффекты при флуоресцентном методе возбуждения характеристического рентгеновского излучения

Каскадные радиационные переходы. Вторичная флуоресценция. Возбуждение фотоэлектронами и электронами Оже. Эффект краёв поглощения.

Раздел 7. Учет влияния примесей на расчет концентраций химических элементов

Генерирование характеристических спектральных линий примесных химических элементов. Селективное поглощение. Нелинейные зависимости интенсивности аналитических линий от концентрации элементов. Перекрытие спектральных линий.

Раздел 8. Влияние размера исследуемого образца на интенсивность спектральных линий

Неоднородное распределение химических элементов в исследуемом образце. Рентгеновская флуоресценция в мелкодисперсных порошковых материалах. Особенности рентгеновской флуоресценции в микрозернистых металлах.

**5. Аттестация по дисциплине**

В ходе семестра осуществляется подготовка реферата. Тема реферата формулируется на консультации аспиранта со своим научным руководителем, рассматривается и утверждается руководителем практических занятий, который также осуществляет постоянное консультирование в ходе подготовки реферата.

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по семестровому курсу.

Оценка складывается из оценки знаний по общим вопросам физики рентгеновских лучей; из оценки степени усвоения методики рентгеновского флуоресцентного элементного анализа; третьей составляющей экзаменационной оценки является результат дискуссии и презентации реферата на семинарском занятии и результат собеседования по теме реферата на экзамене. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому применению в конкретном научном исследовании (о чем можно судить по представленным презентации и реферату).

**Автор**: к.ф.-м.н., доцент Фаддеев М.А.

|  |
| --- |
| **Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии» будет полезна аспирантам, область научных интересов которых включает изучение атомной структуры кристаллов. Данный курс будет интересен как химикам, занимающимися синтезом и описанием новых органических, металлорганических и неорганических кристаллов, так и физикам, изучающим структурнозависимые физические свойства кристаллов. Курс предполагает углубленное изучение теории симметрии кристаллов и кристаллохимии. Дополнение классической теории симметрии понятием «псевдосимметрия» позволяет существенно обогатить исследовательский инструментарий кристаллохимического описания атомной структуры кристалла. Таким образом, дисциплину «Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии» можно рассматривать как продолжение курсов «Кристаллография» и «Кристаллохимия».

Освоение курса «Теория псевдосимметрии» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Прежде всего, речь идет об освоении основных методов исследования атомной структуры кристалла, способах и средствах получения, хранения, переработки кристаллографической информации. У обучаемых формируется умение самостоятельно формулировать цели и задачи научного исследования, решать поставленные задачи с помощью современных исследовательских методов с использованием отечественного и зарубежного опыта. Приобретается опыт использования базовых теоретических знаний и практических навыков и умений в научных и научно-прикладных исследованиях.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

• научить эффективно использовать знания современной физики и математических методов в конкретном научном исследовании;

• выработать у обучающихся осознание органичной связи, существующей между физикой и смежными естественными науками (химией, биологией и т.п.);

• сформировать умение экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую;

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

* Способность самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1)

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 3 зачётные единицы, всего - 108 часа, из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (34 часа занятия лекционного типа, 34 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Теория симметрии (введение); группы симметрии разной размерности; точечная симметрия; решетки Браве; пространственная симметрия кристаллов; псевдосимметрия кристаллов; виды псевдосимметрии кристаллов; методы количественного описания псевдосимметрии кристаллов; влияние псевдосимметрии кристалла на дифракционную картину; особенности рентгеноструктурного анализа псевдосимметричных кристаллов; псевдосимметрия и физические свойства кристалла.

Раздел 2. Программное обеспечение ЭВМ, используемое для исследования псевдосимметрии кристаллов

**5. Аттестация по дисциплине**

Контроль успеваемости аспиранта предполагается вести на основе письменных отчетов о проделанной работе. В течение периода бучения аспиранту предлагается выполнить ряд самостоятельных практических заданий по теме курса. По каждому заданию аспирант пишет отчет.

Итоговая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по практической части курса и экзамена по теоретической.

Зачет выставляется по результатам оценки письменных отчетов. При оценке отчета учитывается оформление, обоснованность выбора методов исследования, глубина, проведенного исследования, сделанные выводы.

Автор: к.ф.-м.н., доцент Сомов Н.В.

|  |
| --- |
| **Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов» направлена на формирование общепрофессиональных компетенций, является курсом по выбору в программе аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленности «Физика конденсированного состояния», и изучается на 4-ом году обучения во 7 семестре.

Освоение дисциплины «Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов» опирается на знания, умения, навыки и компетенции в области общей физики, сформированные на предшествующих уровнях образования, и направлено на углубление теоретических знаний и совершенствование практических навыков и умений в научных и научно-прикладных исследованиях.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Цель обучения по дисциплине: Практическое освоение ряда базовых методов оптической спектроскопии, основанное на:

1. изучении принципов и теоретических основ оптической спектроскопии;
2. изучении аппаратурной и приборной базы оптической спектроскопии;
3. практическом изучении методических особенностей исследований свойств твердотельных структур и объёмных материалов на базе ряда распространённых методов оптической спектроскопии.

Дисциплина направлена в большей степени на практическое освоение ряда распространённых методов оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов (диэлектрические или полупроводниковые кристаллы, различные материалы на их основе, твердотельные наноструктуры, содержащие квантовые ямы или квантовые точки, нанокластеры, и .т.п.). Рассматриваются принципы работы и основные характеристики компонентов оптических спектроскопических систем (источников и детекторов излучения, спектральных приборов), а также способы сбора и анализа данных в ходе спектроскопических измерений. Осваивается ряд методов оптической спектроскопии твердых тел и твердотельных наноструктур, в частности, методы измерения спектров пропускания и фотолюминесценции, фотоэлектрических спектров полупроводниковых квантоворазмерных гетеронаноструктур, спектров второй оптической гармоники нелинейно-оптических кристаллов, основы фурье-спектроскопии.

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

* способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и современного аналитического и измерительного оборудования (ОПК-1).

Задачей дисциплины «Методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленности «Физика конденсированного состояния» является формирование у выпускников аспирантуры углубленных (по сравнению с уровнем специалиста и магистра) знаний, умений, навыков и компетенций в следующих профессиональных областях:

*в области фундаментальных знаний:*

* углубленные фундаментальные знания в области оптики и оптических свойств материалов.

*с научно-практической точки зрения:*

* использование в своей профессиональной области ряда базовых апробированных методов оптической спектроскопии материалов и соответствующего современного исследовательского оборудования;
* разработка новых методик исследования оптических свойств материалов.

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 10 часов - занятия лекционного типа, 18 часов - занятия лабораторного типа (научно-практические занятия, лабораторные работы), 36 часов - самостоятельная работа обучающегося, 2 часа - аттестация по дисциплине (зачет).

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Принципы и теоретические основы оптической спектроскопии

Электромагнитное излучение и шкала электромагнитных волн. Оптическое излучение. Законы теплового излучения. Равновесное тепловое излучение. Оптические спектры излучения атомов. Взаимодействие излучения с веществом: оптические свойства диэлектриков, металлов, полупроводников, твердотельных наноструктур. Отражение, поглощение, люминесценция, фотоэффект, рамановское рассеяние и другие эффекты взаимодействия излучения с веществом. Принципиальные методы исследования спектрального состава излучения. Общие принципиальные характеристики спектральных приборов. Базы данных длин волн спектральных линий химических элементов.

Раздел 2. Аппаратурная и приборная база оптической спектроскопии

Характеристики некоторых оптических сред и материалов. Просветляющие и зеркальные покрытия. Фильтрация и модуляция излучения. Источники теплового излучения. Источники нетеплового излучения (газоразрядные, светодиодные, лазерные и др.). Приёмники оптического излучения. Матричные приёмники излучения. Особенности спектральных приборов различных типов. Диспергирующие и недиспергирующие спектральные приборы, эшелле-спектрометры, интерференционнные спектральные приборы, фурье-спектрометры. Щелевые и бесщелевые спектрометры. Оптика диспергирующих призм и дифракционных решёток, их основные особенности, типы и характеристики. Монохроматоры, спектрометры, спектрографы. Электронное измерительное оборудование, используемое в оптической спектроскопии. Метод синхронного детектирования слабых сигналов, синхронные усилители. Сопряжение спектральной установки с компьютером, оцифровка, визуализация, анализ и обработка спектральных данных.

Раздел 3. Основные практические методы оптической спектроскопии и их особенности

Калибровка спектров по интенсивности и калибровка спектральных приборов по длинам волн. Измерение спектров пропускания (поглощения) и отражения с помощью спектрометров на основе дифракционных решёток и с помощью фурье-спектрометров. Измерение спектров фотолюминесценции и электролюминесценции. Спектральные исследования твердых тел при низких температурах (образец в криостате). Фотолюминесцентная спектроскопия полупроводников и квантово-размерных структур. Абсорбционная и фототермоионизационная спектроскопия фотоактивных примесей в полупроводниках. Методы фотоэлектрической спектроскопии квантово-размерных гетеронаноструктур. Спектроскопия поверхностной (конденсаторной) фотоэдс. Фотоэлектрическая спектроскопия в p-i-n диоде. Фотоэлектрическая спектроскопия на контактах полупроводника с металлом (барьер Шоттки) и электролитом. Спектроскопия барьерной фотопроводимости. Экспериментальная методика оценки квадратичной нелинейной восприимчивости на порошковых образцах нелинейно-оптических кристаллов.

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по семестровому курсу.

Зачет выставляется по совокупности данных о посещаемости лекций и лабораторных занятий, результатам опросов по различным разделам дисциплины и отчетам по лабораторным работам, а также по результатам защиты реферата.

Тема реферата формулируется на консультации аспиранта со своим научным руководителем, рассматривается и утверждается руководителем практических занятий, который также осуществляет постоянное консультирование в ходе подготовки реферата.

Авторы: Марычев М.О., к.ф.-м.н., доцент; Горшков А.П., к. ф.-м. н., доцент.

|  |
| --- |
| **Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (Flux метод)** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (flux метод)» относится к числу профессиональных дисциплин, является вариативной и изучается на 2-м году обучения, в 5-ом семестре.

В рамках курса изучаются как теоретические основы метода, так и проводятся лабораторные занятия, в ходе которых с обучающемся отрабатываются способы самостоятельного определения оптимальных условий выращивания для конкретного эксперимента.

Освоение курса истории и философии науки опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. В первую очередь, речь идет о способности использовать базовые законы физики, проводить анализ реальных физических систем, владеть основными методами высшей математики, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; об умении самостоятельно формулировать цели и задачи конкретного научного исследования в различных областях прикладной физики и решать их с помощью современных исследовательских методов с использованием отечественного и зарубежного опыта.

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* научить эффективно использовать знания современной физики и математических методов в конкретном научном исследовании;
* сформировать умение экстраполировать методы научного познания из одной области научного познания в другую;
* научить определять область применения метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов (flux метод);
* научить выращивать кристаллы flux методом как способом спонтанной кристаллизации, так и на затравочный кристалл;
* научить подбирать условия для повышения качества выращиваемых кристаллов.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

* способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

* + способностью осваивать новое исследовательское, контрольно-измерительное и технологическое оборудование для получения и испытания материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области, в том числе – способностью осуществлять разработку новых методик аттестации структуры и свойств материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области (ПК-5);
  + готовностью разрабатывать научно-техническую документацию различного уровня сложности, а также способностью осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области (ПК-6).

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия практического типа (лабораторные работы), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Высокотемпературные методы выращивания кристаллов

Обзор высокотемпературных методов выращивания кристаллов. Зарождение, становление и современное состояние.

Раздел 2. Область применения метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов (flux метод)

Место метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов (flux метод) среди всех высокотемпературных методов выращивания. Преимущества и недостатки flux метода. Критерии выбора метода для выращивания кристаллов.

Раздел 3. Подготовка шихты для выращивания кристаллов flux методом на примере кристалла семейства KTP (KTiOPO4)

Теоретические основы выбора компонент шихты. Методики расчёта состава шихты. Методики смешивания и наплавления компонент при подготовке шихты. Подготовки шихты для выращивания кристалла семейства KTP.

Раздел 4. Выращивание кристаллов методом способом спонтанной кристаллизации

Теоретические основы выращивания кристаллов flux методом способом спонтанной кристаллизации. Методики создания условий, необходимых для выращивания. Выращивание кристалла семейства KTP flux методом способом спонтанной кристаллизации.

Раздел 5. Оптимизация использования материальных ресурсов при выращивании кристаллов flux методом

Принципы, позволяющие оптимизировать использование материальных ресурсов при выращивании кристаллов flux методом

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по семестровому курсу.

Зачет выставляется по результатам оценивания отчётов по лабораторным работам, выполненным в семестре; оценки знаний аспиранта по общим вопросам выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов; третьей составляющей является оценка степени усвоения методики выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов. При проверке отчётов преподаватель оценивает способность аспиранта самостоятельно проводить научные исследования, способность обрабатывать, критически анализировать и сравнивать получаемые научные результаты.

Процедура зачетного испытания предусматривает ответ аспиранта по вопросам зачётного билета, который заслушивает преподаватель.

Текущий контроль знаний происходит в ходе выполнения лабораторных работ, по результатам которых аспиранты готовят отчёт.

**Автор**: Иванов В.А., к.ф.-м.н., доцент

|  |
| --- |
| **Современные вычислительные методы в задачах электромагнитной совместимости** |

(название дисциплины)

**1.** **Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные вычислительные методы в задачах электромагнитной совместимости» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на втором году обучения, в третьем семестре. Дисциплина предполагает изучение современных численных методов моделирования распространения электромагнитных волн, освоение методов представления результатов моделирования и их анализа, а также Изучение и моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с метаматериалами.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Необходимо владеть методами построения дискретных моделей физических систем. Уметь составлять и отлаживать сложные программы на одном из современных алгоритмических языков. Уметь графически представлять на компьютере результаты моделирования во времени. Знать основы электродинамики, в особенности, законы излучения, поглощения и распространения электромагнитных волн.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Код формируемой компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ОПК-1 | **Знать**  З1 Знать общие принципы проведения научно-исследовательской деятельности в области вычислительной физики.  З2 Знать общие принципы и методы построения математических и дискретных моделей физических систем.  З3 Знать общие подходы и парадигмы построения компьютерных программ моделирования.  **Уметь**  У1 Уметь планировать и проводить компьютерные эксперименты.  У2 Уметь представлять и анализировать результаты компьютерного эксперимента.  **Владеть**  В1 Владеть навыками работы с источниками информации для выбора наиболее современного подхода к исследованию.  В2 Владеть навыками работы со сложными структурами данных. |
| ОПК-2 | **Знать**  З1 Знать основы построения моделей физических систем.  З2 Знать источники ошибок вычисления при компьютерном моделировании.  З3 Знать методы решения уравнений математической физики при помощи компьютера.  **Уметь**  У1 Уметь строить физические, математические и дискретные модели физических систем.  **Владетть**  В1 Владеть общими и специальными методами решения уравнений математической физики на компьютере.  В1 Владеть навыками работы с источниками информации с целью обновления собственных знаний. |
| ПК-1 | **Знать**  З1 Знать методы построения моделей сложных физических систем.  З2 Знать особенности проведения компьютерного эксперимента в зависимости от типа модели.  **Уметь**  У1 Уметь находить параметры исследуемых систем в литературе и глобальной сети.  У2 Уметь отыскивать экспериментальные или теоретические данные для проверки правильности результатов моделирования.  **Владеть**  В1 Владеть навыками отладки и верификации компьютерных программ, моделирующих физическую систему. |
| ПК-4 | **Знать**  З1 Знать методы моделирования распространения электромагнитных волн в специальных средах (метаматериалах).  З2 Знать методы моделирования распространения волн в средах с дисперсией, анизотропией и нелинейных средах.  **Уметь**  У1 Уметь реализовывать сложные алгоритмы распространения волн в средах с дисперсией.  У2 Уметь создавать структуры данных для проведения моделирования в средах с дисперсией и нелинейностью.  **Владеть**  В1 Владеть численными методами решения волновых уравнений для сред с дисперсией и нелинейностью.  В2 Владеть методами проведения параллельных вычислений. |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы - всего 108 часов, из которых 54 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (практические занятия, компьютерное моделирование), 36 часов мероприятия контроля успеваемости, 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание дисциплины**

Раздел 1. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения. Задачи вычислительной электродинамики. Обзор методов вычислительной электродинамики

В разделе приводятся необходимые сведения из электродинамики: уравнения Максвелла, материальные уравнения, связывающие векторы электрической и магнитной индукции с соответствующими напряжённостями полей. Приводится перечень задач, которые решает вычислительная электродинамика и методов решения.

Раздел 2. Метод конечных разностей во временной области. Структура данных. Ячейка Йи.

В разделе описывается один из самых популярных методов моделирования в электродинамике – метод FTDT. Приводится схема дискретизации пространства и времени для решения задачи, предложенная Кевином Йи в 1966 году. Приводится нотации для описания электрического и магнитного поля. Даётся схема проведения вычислений. Анализируется проблема устойчивости разностной схемы.

Раздел 3. Условия на внешней границе области моделирования. Условия Мура и Беренджера. Конволюционные граничные условия.

Данный раздел посвящён методам задания граничных условий на внешней границе области моделирования. Показывается необходимость таких условий. Представлены условия Мура (ABC) и условия Беренджера (PML). Приводится схема реализации условий Беренджера. Представлены более современные конволюционные граничные условия.

Раздел 4. Источники электромагнитного излучения в методе FDTD. Внешние и внутренние источники.

В разделе приведены два типа источников излучения, которые используются при FDTD – моделировании: внутренниеисточники, которые моделируют излучение, возникающее при работе электронных приборов, и внешние источники, чаще всего плоские волны, пиходящие из-за пределов области моделирования. Описаны «мягкие» и «жёсткие» типы внутренних источников. Приводится схема TFSF для моделирования внешнего источника.

Раздел 5. Моделирование распространения электромагнитных волн в средах с дисперсией.

В данном разделе приводятся основы теории дисперсии электромагнитных волн. Рассматриваются методы модификации алгоритма FDTD для моделирования сред с дисперсией: метода конволюционного интерала, метода вспомогательных уравнений и метода Z – преобразований. Анализируются численные схемы реализации этих методов для модели Друде и Лоренца.

Раздел 6. Повышение эффективности работы программы по методу FDTD. Параллельные вычисления. Оптимизация структур данных для повышения скорости вычислений.

Раздел содержит оценки скорости работы алгоритма. Показано как можно увеличить скорость за счёт проведения «предварительных» вычислений и хранения данных. Показана возможность параллельных вычислений, приводящих к значительному увеличению эффективности расчёта. Описываютс подходы к предствавлению результатов моделирования средствами компьютерной графики.

**5. Аттестация по дисциплине**

Итоговая аттестация – экзамен, включающий в себя ответ на контрольные вопросы по основным темам дисциплины.

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме самостоятельной работы студентов. Практические занятия проводятся в компьютерном классе, используются элементы технологии дифференцированного обучения. Промежуточный контроль – выполнение заданий по моделированию распространения волн в различных условиях и исследованию характеристик алгоритмов.

Лекционный курс включает как классические, так и современные (проблемные, модульные, интерактивные) формы проведения занятий с разбором конкретных ситуаций.

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала вместе с соответствующими разделами учебных и учебно-методических пособий, в том числе с использованием систем компьютерной графики и электронных образовательных ресурсов. Одной из основных задач самостоятельной работы является подготовка к выполнению моделирующих компьютерных программ.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя текущие отчеты по заданиям (компьютерное моделирование), обсуждение полученных результатов с преподавателем.

Автор: ассистент Сёмин Ю.А.

|  |
| --- |
| **Современные методы определения местоположения источников излучения** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные методы определения местоположения источников излучения» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 3 году обучения, в 6 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования

* Математика (математический анализ, линейная алгебра, векторный и тензорный анализ, теория вероятностей и математическая статистика);
* Физика (электричество и магнетизм, колебания и волны);
* Информационные технологии;
* Радиотехника и электроника;
* Специальные главы математики;
* Информационные системы обработки многомерных данных.

Данная дисциплина имеет логическую и содержательно-методическую взаимосвязь с другими дисциплинами подготовки в аспирантуре, в частности с дисциплиной «Современные информационно-оптимальные методы и модели в задачах обработки сигналов и изображений».

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углубленных знаний в области цифровых методов обработки сигналов и определения их параметров в сложных условиях распространения, позволяющих формировать оптимальные оценки навигационных параметров и на основе полученных оценок решать задачи определения местоположения источника излучения. Основное внимание уделяется оптимальным методам обработки и точностным характеристикам результатов решения задач местоопределения.

Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

|  |  |
| --- | --- |
| **Код формируемой компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ОПК-1 | Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий  *З1 Знать* современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.  *З2 Знать* цифровые методы обработки сигналов и определения их параметров в сложных условиях распространения.  *У1 Уметь* выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования  *У2 Уметь* формировать оптимальные оценки навигационных параметров, ина основе полученных оценок решать задачи определения местоположения источника излучения.  *В1 Владеть* навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз банных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.  *В2 Владеть* навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов.  *В3 Владеть* современными технологиями и методами обработки экспериментальных данных. |
| ПК-1 | Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики и в смежных областях (информационных технологий в физике)  *З1 Знать* современное состояние науки в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях.  *З2 Знать* современное состояние и проблемы в области обнаружения и определения навигационных параметров сигналов с неизвестными параметрами в условиях сильных искажений сигнала.  *У1 Уметь* анализироватьвлияние на решаемые задачи среды распространения сигналов, эффекта Доплера, широкополосного кодирования и низкого отношения сигнал/шум.  *В1 Владеть* методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности (научной специальности).  *В2 Владеть* навыкамианализа научной и технической литературы в области применения современных информационных технологий для решения поставленных задач. |
| ПК-3 | Способностью использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов и систем.  *З1 Знать* основные алгоритмы реализацииметодов решения задач определения местоположения источников излучения сигналов с использованием современных цифровых систем обработки.  *У1 Уметь* проводить численное моделирование и анализ полученных результатов.  *В1 Владеть* навыками проведения численного анализа точностных характеристик методов определения местоположения источников излучения. |

1. **Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часов, из которых 36 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов научно-практических занятий (компьютерное моделирование)), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание дисциплины**

Раздел 1. Методы определения местоположения, основанные на различных навигационных параметрах

Основные понятия и определения. Принципы и основы построения радионавигационных систем, Физические основы радиообнаружения и определения местоположения объектов. Радионавигационные параметры. Позиционные методы определения местоположения объектов.

Оптимальные алгоритмы оценивания параметров на основе амплитудных, фазовых и временных измерений.

Основные системы для получения и радионавигационной информации. Амплитудные, фазовые и временные измерения. Методы измерения дальности и скорости. Методы измерения угловых координат. Методы измерения взаимных временных задержек распространения сигналов.

Раздел 2. Особенности обработки сигналов в условиях сильных искажений. Алгоритмы компенсации влияния эффекта Доплера.

Характеристики сигналов и помех. Влияние флуктуаций амплитуды и фазового фронта сигнала. Влияние эффекта Доплера на радионавигационные параметры. Алгоритмы компенсации влияния эффекта Доплера. Функция неопределенности.

Раздел 3. Особенности обработки широкополосных и сверхширокополосных сигналов

Общие сведения о разрешении и распознавании и сигналов. Простые и сложные сигналы. Искажения спектров сигналов, вызванные влиянием эффекта Доплера. Влияние на функцию неопределенности.

Раздел 4. Методы решения задач определения местоположения в условиях недостаточной информации

Особенности методов пассивной пеленгации. Математические основы решения задач в условиях недостаточной информации. Оптимальные и квазиоптимальные методы.

Раздел 5. Методы повышения вычислительной эффективности алгоритмов обнаружения и определения параметров сигналов в задачах оценивания местоположения источника излучения

Оценка вычислительной эффективности алгоритмов обнаружения и определения параметров сигналов. Повышение вычислительной эффективности алгоритмов вычисления функции неопределенности. Вычисление функции неопределенности сверхширокополосных сигналов в условиях влияния эффекта Доплера. Параллельные алгоритмы.

Раздел 6. Методы оценивания точности результатов. Требования к характеристикам систем местоопределения для обеспечения заданной точности

Аналитические и статистические оценки точности систем местоопределения. Статистическая оптимизация точностных характеристик.

**5. Аттестация по дисциплине**

Итоговая аттестация – зачет, включающий в себя ответ на контрольные вопросы по ключевым разделам темы, а также предоставление результатов моделирования.

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме самостоятельной работы студентов. Практические занятия проводятся в компьютерном классе, используются элементы технологии дифференцированного обучения. Промежуточный контроль – выполнение заданий по моделированию сигналов, методов их обработки и исследованию характеристик алгоритмов обработки. Лекционный курс включает как классические, так и современные (проблемные, модульные, интерактивные) формы проведения занятий с разбором конкретных ситуаций.

Одной из основных задач самостоятельной работы является подготовка к выполнению моделирующих компьютерных программ.

Автор: д.ф.-м.н., проф. Морозов О.А.

|  |
| --- |
| **Современные информационно-оптимальные методы и модели в задачах обработки сигналов и изображений** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные информационно-оптимальные методы и модели в задачах обработки сигналов и изображений» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 2 году обучения, в 4 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования

* Математика (математический анализ, линейная алгебра, векторный и тензорный анализ, теория вероятностей и математическая статистика);
* Информатика (численные методы);
* Информационные технологии;
* Радиотехника и электроника;
* Информационные системы обработки многомерных данных.

Данная дисциплина имеет логическую и содержательно-методическую взаимосвязь с другими дисциплинами подготовки в аспирантуре, в частности с дисциплиной «Информационные системы обработки многомерных данных».

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углубленных знаний в области современных методов и программных средств обработки сигналов и изображений, получаемых в ходе проведения физического эксперимента, включая разделы, относящиеся моделям, методам и средствам их обработки при наличии различных типов искажений, шумов и помех, интерпретации и представления результатов. Основное внимание уделяется моделям и методам обработки на основе оптимальных и информационно-оптимальных функционалов и критериев.

Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

|  |  |
| --- | --- |
| **Код формируемой компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ОПК-1 | *З1 Знать* современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.  *З2 Знать* цифровые методы обработки сигналов и изображений, методам и средствам их обработки при наличии различных типов искажений, шумов и помех.  *У1 Уметь* выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.  *У2 Уметь* применятьмодели и методы обработки на основе оптимальных и информационно-оптимальных функционалов и критериев.  *В1 Владеть* навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз банных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.  *В2 Владеть* навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов.  *В3 Владеть* современными технологиями и методами обработки экспериментальных данных. |
| ОПК-2 | *З1 Знать* нормативно-правовые основы преподавательской деятельности в системе высшего образования.  *У1 Уметь* осуществлять отбор и использовать оптимальные методы преподавания.  *В1 Владеть* технологией проектирования образовательного процесса на уровне высшего образования. |
| ПК-1 | *З1 Знать* современное состояние науки в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения информационных технологиях.  *З2 Знать* современное состояние и проблемы в области оптимальных методов обработки сигналов и изображений.  *У1 Уметь* применятьметоды решения задач обработки данных с использованием информационно-оптимальных подходов, современные алгоритмы цифровой обработки многомерных данных различной природы.  *В1 Владеть* методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности (научной специальности).  *В2 Владеть* навыкамианализа научной и технической литературы в области применения современных информационных технологий для решения поставленных задач. |
| ПК-3 | *З1 Знать* технологии регистрации и обработки одномерных и многомерных данных, виды и модели искажений сигналов и изображений.  *У1 Уметь* проводить численное моделирование и анализ полученных результатов.  *В1 Владеть* навыками проведения численного анализа количественных и качественных характеристик методов цифровой обработки сигналов и изображений. |
| ПК-7 | *З1 Знать* основные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области.  *У1 Уметь* проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы.  *В1 Владеть* навыками проведения анализа современной научной литературы, выявления оптимальных методов обработки данных в области информационных технологий в физике. |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов научно-практических занятий (компьютерное моделирование)), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание дисциплины**

Раздел 1. Виды многомерных сигналов и систем. Специфика задач обработки многомерных данных.

Основные понятия и определения. Модели принятия решений в задачах обнаружения и оценивания параметров. Прямые и обратные задачи обработки сигналов и изображений.

Раздел 2. Линейные модели и алгоритмы обработки сигналов и изображений.

Специфика цифровой обработки, характеристики линейных систем обработки данных. Фильтрация и предварительная обработка данных. Авторегрессионные модели сигналов и случайных процессов.

Раздел 3. Линейная и нелинейная цифровая фильтрация.

Линейное предсказание на основе решения задачи на собственные числа автокорреляционной матрицы. Применение субоптимальных цифровых фильтров при обработке ФМн и ЧМн сигналов. Нейросетевые алгоритмы в обработке сигналов.

Раздел 4. Нелинейные методы решения обратных задач реконструкции сигналов и изображений.

Определение временной задержки на основе метода адаптивной нелинейной фильтрации сигналов. Методы обработки данных, основанные на анализе эволюции топологии поверхности тел.

Раздел 5. Информационные функционалы, применение к задачам обработки, улучшения качества и реконструкции многомерных данных.

Математические основы решения задач в условиях недостаточной информации. Информационные функционалы, метод максимальной энтропии. Информационно-оптимальный подход к синтезу фильтров. Применение принципа максимальной энтропии в итерационных алгоритмах реконструкции изображений.

Раздел 6. Методы цифрового нелинейного спектрального оценивания сигналов и изображений с использованием информационно-оптимальных подходов.

Спектральная оценка методом максимальной энтропии на основе прямого вычисления множителей Лагранжа (метод инверсии). Аналитическое выражение для оценки спектров сигналов на основе байесовского подхода.

Раздел 7. Применение методов нелинейного спектрального оценивания к обработке сигналов.

Оценивание параметров на основе нелинейного спектрального анализа. Формирование приемных диаграмм направленности антенных систем. Построение функции неопределенности на основе нелинейного спектрального преобразования. Реализация метода максимальной энтропии в задачах обращения свертки

**5. Аттестация по дисциплине**

Итоговая аттестация – экзамен, включающий в себя ответы на контрольные вопросы по основным разделам дисциплины.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе контрольных вопросов и задачи на применение информационно-оптимальных подходок к определению характеристик сигналов и изображений. При проведении экзамена учитываются результаты выполнения практических заданий.

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме самостоятельной работы студентов. Практические занятия проводятся в компьютерном классе, используются элементы технологии дифференцированного обучения. Промежуточный контроль – выполнение заданий по моделированию сигналов, методов их обработки и исследованию характеристик алгоритмов обработки. Лекционный курс включает как классические, так и современные (проблемные, модульные, интерактивные) формы проведения занятий с разбором конкретных ситуаций.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе контрольных вопросов и задачи на применение информационно-оптимальных подходок к определению характеристик сигналов и изображений. При проведении экзамена учитываются результаты выполнения практических заданий.

Автор: д.ф.-м.н., профессор Морозов О.А.

|  |
| --- |
| **Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» относится к числу профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 3-ом году обучения, в 5-м (нечетном) семестре.

В рамках курса изучаются специальные разделы физики металлов, сплавов и керамик, а также фундаментальные и научно-инженерные основы новых технологий получения и обработки наноструктурированных и ультрамелкозернистых материалов (металлов, сплавов, керамик и композитов на их основе) – метода равноканального углового прессования металлов и сплавов, электроимпульсного плазменного спекания нано- и ультрамелкозернистых керамик, послойного лазерного сплавления миниатюрных металлических изделий, сверхпластической штамповки изделий сложной формы из ультрамелкозернистых материалов, ротационной ковки, высокоскоростной диффузионной сварки и др.

Освоение дисциплины «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования, в первую очередь – в рамках курсов «Физика твердого тела», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Физические основы прочности и пластичности» и «Инженерный язык материаловедения».

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* сформировать углубленные знания в отдельных разделах физики металлов, сплавов и керамик (теории дефектов, физики прочности и пластичности, а также теории диффузионно-контролируемых процессов);
* научить эффективному использованию знаний в области теории дефектов и диффузионно-контролируемых процессов в металлах, сплавах и керамиках для решения практических задач по выбору оптимальных режимов получения и обработки перспективных конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками;
* научить эффективному решению типовых и нестандартных научно-практических задач по разработке новых конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками;
* выработать навыки эффективной практической работы в современным технологическим и исследовательским оборудованием мирового уровня;
* выработать навыки анализа экспериментальных результатов, получаемых с использованием сложного технологического и исследовательского оборудования мирового уровня;
* выработать навыки по разработке технологической документации различного уровня сложности (карты технологических процессов, технологические инструкции, технологические регламенты и др.), описывающих ключевые технологические процессы и операции получения и обработки перспективных конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

* способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)
* способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* способность самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* способность осваивать и внедрять новое исследовательское, контрольно-измерительное и технологическое оборудование для получения и испытания материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области, в том числе – способностью осуществлять разработку и внедрение новых методик аттестации структуры и свойств материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области (ПК-5);
* готовность разрабатывать научно-техническую документацию различного уровня сложности, а также способностью осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области (ПК-6).

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» составляет 2 зачётные единицы (з.е.), всего - 72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов практических занятий (лабораторных работ) и 36 часов на самостоятельную работу обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Физика и технология получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов методами интенсивного пластического деформирования

Физика процессов фрагментации (измельчения) зеренной структуры металлов и сплавов при интенсивной пластической деформации. Расчет и построение карт механизмов деформации ультрамелкозернистых металлов и сплавов. Технологии получения ультрамелкозернистных металлов и сплавов методами интенсивного пластического деформирования – их недостатки и преимущества. Возможности технологии равноканального углового прессования («Equal Channel Angular Pressing»). Выполнение лабораторной работы по выбранной тематике.

Раздел 2. Физика и технология электроимпульсного плазменного спекания наноструктурированных керамик

Физика процессов спекания металлических и керамических материалов. Влияние процессов зернограничной диффузии на кинетику спекания нано- и ультрамелкозернистых материалов. Расчет карт механизмов спекания. Анализ влияния параметров спекания на параметры структуры и свойства нано- и ультрамелкозернистых материалов. Ключевые технологии спекания нано- и ультрамелкозернистых материалов. Их принципиальные отличия, преимущества и недостатки. Возможности технологии «Spark Plasma Sintering». Выполнение лабораторной работы по выбранной тематике.

Раздел 3. Физика и технология послойного лазерного сплавления металлических изделий сложной формы

Физика процесса послойного лазерного сплавления / спекания металлических и керамических материалов. Расчет и построение карт механизмов сплавления металлических материалов. Ключевые способы получения изделий сложной формы с использованием метода послойного лазерного сплавления. Возможности технологии «Selective Laser Melting». Выполнение лабораторной работы по выбранной тематике.

Раздел 4. Физика и технология сверхпластической штамповки изделий сложной формы из ультрамелкозернистых сплавов

Физика процессов сверхпластической деформации. Деформационно-стимулированный рост зерен и разрушение при сверхпластической деформации. Расчет и построение карт механизмов сверхпластической деформации. Отличие в механизмах сверхпластической деформации мелкозернистых и наноструктурированных сплавов. Выполнение лабораторной работы по выбранной тематике.

**5. Аттестация по дисциплине**

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» аспиранты готовят реферат, зачет / незачет которого является одним из ключевых оснований для зачёта.

о итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» аспиранты готовят отчет по практической работе, зачет которой является одним из ключевых оснований для получения зачета по дисциплине.

Оценка за реферат и оценка за отчет по практической работе образуют систему (фонд) оценочных средств сформированности соответствующих компетенций дисциплины «Физическое материаловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов».

Авторы: Нохрин А.В. (д.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ), Болдин М.С. (зав. лаб. НИФТИ ННГУ), Чувильдеев В.Н. (д.ф.-м.н., проф. и.о. директора НИФТИ ННГУ), Лопатин Ю.Г. (к.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ), Грязнов М.Ю. (к.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ)

|  |
| --- |
| **Междисциплинарные проблемы в науках о материалах** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы**

Дисциплина «Междисциплинарные проблемы в науках о материалах» относится к числу общеобразовательных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на 1-ом году обучения, во 2-м семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования при изучении дисциплин «Химия», «Физика твердого тела», «Механика твердого тела», «Химия твердого тела», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Физические основы прочности и пластичности».

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

Формирование необходимых компетенций в области использования междисциплинарного языка материаловедения.

Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

|  |  |
| --- | --- |
| **Код формируемой компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций** |
| *УК-1*  способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | *Знать* современные методы и подходы к критическому анализу актуального научного информационного контента с целью выявления перспективных направлений и прорывных работ в междисциплинарной области современного материаловедения (Materials Science and Engineering (MSE))  *Уметь* выявлять алгоритмы и подходы к решению исследовательских задач на основе анализа работ, содержащих новые идеи и технические решения в междисциплинарной области MSE.  *Владеть* навыками анализа и синтеза больших объемов плохоструктурированной информации, методами работ с банками данных и приемами формирования банков знаний в междисциплинарной области MSE. |
| УК-2  способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки | *Знать* базовые подходы к проведению комплексных исследований и разработке междисциплинарных проектов с использованием опыта, описанного в литературе по истории и методологии науки.  *Уметь* формировать планы комплексных исследований, в том числе междисциплинарных, включающие учет необходимых интеллектуальных и материальных ресурсов.  *Владеть* навыками управления исследовательскими проектамив междисциплинарной области MSE. |
| УК-5  способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития | *Знать* современные методы планирования исследовательской работы.  *Знать* основные литературные источники, освоение которых необходимо для профессионального и личностного развития.  *Уметь* планировать личную исследовательскую работу и применять полученные знания для решения междисциплинарных задач в области MSE.  *Владеть* навыками эффективного тайм-менеджмента. |
| УК-6  готовность реализовывать инновационные проекты в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях | *Знать* методы, приемы, подходы к внедрению научных результатов в междисциплинарной области MSE на высокотехнологичных предприятиях.  *Уметь* преобразовывать фундаментальные научные результаты и результаты экспериментальных и теоретических исследований в практические рекомендации, пригодные для использования на производстве.  *Владеть* навыками решения актуальных практических производственных задач с использованием современных методов MSE*.* |
| ОПК-1  способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | *Знать* теоретические основыMSE.  *Знать* теоретические основы проектирования новых материалов.  Знать характерные особенности методов и границы применимости физики, химии и механики твердого тела.  *Знать* базовые подходы к решению актуальных практических задач, связанных соптимизациейинженерных, технологических и эксплуатационных свойств материалов.  *Уметь* применять теоретические знания в области физики металлов, сплавов и керамик и физики спекания для построения карт эксплуатационных, технологических и инженерных свойств материалов.  *Уметь* применять знания в области интегрированного языка материаловедения для решения актуальных задач в сфере разработки и оптимизации материалов для различных видов промышленности.  *Уметь* строить модели, позволяющие описывать изменение параметров инженерных, технологических и эксплуатационных свойств в процессе обработки и эксплуатации.  *Уметь* выделять ключевые направления и задачи в области материаловедения для создания новых перспективных проектов, базирующихся на интегрированном языке материаловедения  *Владеть* навыками решения практических задач в области оптимизации инженерных, технологических и эксплуатационных свойств с использованием интегрированного языка материаловедения – языка карт.  *Владеть* навыками интеграции результатов, полученных с помощью применения отдельных методов физики, химии и механики твердого тела для системного описания процессов, протекающих в материалах во время обработки и эксплуатации.  *Владеть* навыками применениятеоретических знаний в области физики металлов, сплавов и керамик и физики спекания для решения актуальных задач, связанных с оптимизацией инженерных, технологических и эксплуатационных свойств.  *Владеть* навыками использования результатов, полученных на современном исследовательском (аналитическом) и технологическом оборудовании, для построения карт эксплуатационных, технологических и инженерных свойств материалов. |
| ПК-1 | *Знать* современные подходы к постановке научно-исследовательских задач в междисциплинарной области современного материаловедения (МВ) с учетом дальнейшего применения полученных результатов к разработке научно-технических решений для использования в практической деятельности.  *Уметь* применять современные подходы к постановке задач для решения конкретных проблем в области МВ.  *Уметь* использовать базы данных и открытые источники литературы для формирования целостной картины современного состояния исследований и разработок в предметной области и смежных областях.  *Владеть* навыками постановки исследовательских задач в области МВ и смежных областях.  *Владеть* навыками применения базовых методов поиска информации в базах данных и открытых источниках литературы. |
| ПК-2 | *Знать* методы теоретических и экспериментальных исследований в области МВ и смежных областях.  *Уметь* применять современные методы исследования и интегрировать информацию, полученную с использованием экспериментальных и теоретических методов.  *Владеть* навыками анализа и синтеза результатов, полученных,с помощью применения современных экспериментальных методов физики, химии и механики твердого тела для системного описания процессов, протекающих в материалах во время обработки и эксплуатации. |
| ПК-3 | *Знать* основные методыобработки экспериментальных данных в области химии, физики и механики твердого тела.  *Уметь* использовать методы обработки экспериментальные данных и численного моделирования физических процессов, с учетом их особенностей и ограничений для решения актуальных практических задач в междисциплинарной области МВ.  *Владеть* навыкамиприменения программных пакетов для моделирования сложных физических процессов (на примере программного пакета ANSYS). |
| ПК-4 | *Знать* основные подходы к разработке интегрированных моделей (с применением методов химии, физики и механики твердого тела), позволяющих описывать инженерные, технологические и эксплуатационные свойства материалов.  *Уметь* строить модели, позволяющие описывать изменение параметров инженерных, технологических и эксплуатационных свойств в процессе обработки и эксплуатации.  *Владеть* навыками использования моделей сложных физических процессов для создания карт инженерных, физических и эксплуатационных свойств.  *Владеть* навыками использования моделей сложных физических процессов для разработки новых материалов и методов их получения. |
| ПК-9 | *Знать* современные методы планирования исследовательской и опытно-конструкторской работы.  *Знать* базовые подходы к решению актуальных практических задач, связанных соптимизациейинженерных, технологических и эксплуатационных свойств материалов.  *Уметь* выделять ключевые направления и задачи в области материаловедения для создания новых перспективных проектов, базирующихся на интегрированном языке материаловедения  *Владеть* навыками организации научно-исследовательских проектов в междисциплинарной области МВ. |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия практическо-семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание дисциплины**

Раздел 1. Становление современного материаловедения (Materials Science and Engineering (MSE)). Язык современного материаловедения

Предмет изучения и основные концепции современного материаловедения. Краткая история науки материаловедение. Обзор основных задач, решаемых с помощью методов MSE. Язык карт инженерных, технологических и эксплуатационных свойств.

Раздел 2. Язык, границы применимости и проблемы физики твердого тела в MSE.

Базовые понятия и методы физики твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место физики твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов физики твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения.

Раздел 3. Язык, границы применимости и проблемы химии твердого тела в MSE.

Базовые понятия и методы химии твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место химии твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов химии твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения.

Раздел 4. Язык, границы применимости и проблемы механики твердого тела в MSE

Базовые понятия и методы механики твердого тела, используемые в современном материаловедении. Место механики твердого тела в MSE. Проблемы применения языка и методов механики твердого тела при решении актуальных задач современного материаловедения.

Раздел 5. Подходы к описанию междисциплинарных проблем в MSE на стыке физики, механики и химии материалов

Проблема языка современного материаловедения. Подходы к решению междисциплинарных проблем в MSE.

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация по дисциплине проходит в виде экзамена в конце семестра обучения. Оценка выставляется по результатам оценивания двух рефератов. Экзамен проходит в форме собеседования по содержанию реферата. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому применению полученных знаний, умений и навыков.

По итогам лекций и практических занятий аспиранты готовят рефераты (всего два), выполненных с использованием полученных знаний и навыков, тема которых связана непосредственно с проблемами современного материаловедения.

Авторы д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н., к.ф.-м.н., доцент Берендеев Н.Н., д.х.н., проф. Орлова А.И., д.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ Нохрин А.В.

|  |
| --- |
| **Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки** |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки» относится к числу профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 2-м году обучения, в 4-ом (четном) семестре.

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углублённых знаний в области теории дефектов кристаллической решётки, определяющих структурно-чувствительные свойства твёрдых тел, изучение закономерностей эволюции дефектной структуры материалов при термо-механических воздействиях и различные аспекты влияния дефектов на механическое поведение металлов и сплавов. В рамках курса изучаются специальные разделы дискретной и континуальной теории дислокаций и дисклинаций и физики границ зёрен, Особое внимание уделено анализу коллективных эффектов в ансамблях дефектов, изложению основ теории дисклинаций, анализу кинетических аспектов формирования разориентированных структур при пластической деформации металлов и сплавов, а также современных представлений о структуре и свойствах неравновесных межкристаллитных границ и процессах, происходящих на границах зёрен при пластической деформации поликристаллических твёрдых тел.

Освоение дисциплины «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетк» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования, в первую очередь – в рамках курсов «Физика твердого тела», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Физические основы прочности и пластичности» и «Инженерный язык материаловедения».

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

**Цели курса**

* Познакомить аспирантов с базовыми представлениями, методами и приложениями современной теории дефектов идефектной структуры твёрдых тел, раскрыть качественные и количественные закономерности, связывающие структурно-чувствительные свойства твёрдых тел с их кристаллической и дефектной структурой,
* Научить аспирантов использовать полученные знания для решения конкретных задач физического материаловедения и физики твёрдого тела. Познакомить с новейшими достижениями теории дефектов и проблемами, возникающими при описании ансамблей сильно взаимодействующих дефектов.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

* способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям теории дефектов кристаллического строения твёрдых тел и физики границ зёрен, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-4);
* способность самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических явлений (например, физические модели явления фрагментации, структурной сверхпластичности, модели эволюции структуры материалов при внешних воздействиях и др.), обусловленных поведением дефектов кристаллического строения твёрдых тел, которые, в том числе, могут быть использованы при разработке новых технологических процессов получения и обработки перспективных конструкционных материалов (ПК-5);
* Способность осуществлять преподавательскую деятельность в части проведения семинарских, практических и лабораторных занятий для студентов по профилю научной направленности, а также в рамках программ повышения квалификации для технических специалистов по профилю научной направленности - в области физики границ зерен и в смежных областях (физики прочности и пластичности, теории процессов рекристаллизации и др.) (ПК-8)

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Физическое металловедение и новые технологии получения нано- и ультрамелкозернистых материалов» составляет 3 зачётные единицы (з.е.), всего - 108 часов, из которых 36 часов занятия лекционного типа, 18 часов практических занятий (лабораторных работ) и 18 часов на самостоятельную работу обучающегося.

В таблице 2 приведено распределение учебной нагрузки по основным разделам (модулям) дисциплины.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Теория дислокаций: современное состояние и проблемы.

Кристаллогеометрия, упругие поля и энергия дислокаций, силы действующие на дислокации, взаимодействие дислокаций. Тонкая структура ядра дислокации. Первичный и вторичный рельеф Пайерлса. Частичные дислокации и дефекты упаковки. Кинетические свойства дислокаций. Консервативное и неконсервативное движение дислокаций. Взаимодействие дислокаций с атомами примеси. Системы дислокаций. Коллективные эффекты в системах сильно взаимодействующих дислокаций, эффекты экранирования. Континуальная теория дислокаций. Роль дислокаций в пластической деформации и разрушении материалов.

Раздел 2. Дисклинации в физике прочности и пластичности.

Классификация. Упругие поля и энергия дисклинаций. Силы действующие на дисклинации, взаимодействие дисклинаций. Системы дисклинаций. Взаимодействие дисклинаций с дислокациями. Эффекты экранирования упругих полей дисклинаций системами дислокаций.

Раздел 3. Структура и свойства равновесных и неравновесных границ зёрен

Термодинамика границ зерен. Геометрическая теория специальных границ. Вспомогательные решетки. Дефекты на границах зерен. Взаимодействие специальных и обычных границ зерен с дислокациями. Кинетические свойства границ зерен (зернограничная диффузия, миграция и проскальзывание). Неравновесные границы зерен. Границы деформационного происхождения. Роль границ в пластической деформации и разрушении поликристаллов.

Раздел 4. Модели эволюции дефектной структуры при внешних воздействиях

Физические модели эволюции структуры материалов в процессе пластической деформации в различных условиях нагружения. Фрагментация материалов.

**5. Аттестация по дисциплине**

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде экзамена. Допуск к экзамену осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки» аспиранты готовят реферат, зачет / незачет которого является одним из ключевых оснований для зачёта. Защита реферата сопровождается презентацией и дискуссией, модератором которой является преподаватель.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетки» аспиранты готовят отчет по практической работе, зачет которой является одним из ключевых оснований для допуска к экзамену по дисциплине.

Процедура экзаменационного испытания предусматривает ответ аспиранта по вопросам экзаменационного билета, который заслушивает экзаменатор или экзаменационная комиссия. После сообщения аспиранта и ответов на заданные вопросы, экзаменатор принимает решение об оценке, вносимой в протокол.

Автор: Перевезенцев В.Н., д.ф.-м.н., проф.

|  |
| --- |
| **Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» относится к числу профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 3-м году обучения, в 6-ом (четном) семестре.

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углублённых знаний в области теории диффузии и диффузионно-контролируемых процессов в твёрдых телах, и изучение закономерностей поведения материалов при повышенных температурах. Особое внимание уделено анализу самодиффузии и гетеродиффузии по внутренним границам раздела материала (межзёренным и межфазным границам), влиянию степени неравновесности границ на диффузионные процессы, а также рассмотрению кинетики и особенностей протекания диффузионно-контролируемых структурно-фазовых превращений в ультра-мелкозернистых и нанокристаллических материалах.

Освоение дисциплины «Актуальные проблемы теории дефектов кристаллической решетк» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования, в первую очередь – в рамках курсов «Физика твердого тела», «Физика металлов, сплавов и керамик», «Физические основы прочности и пластичности» и «Инженерный язык материаловедения», а также на в рамках курса «Актуальные проблемы теории дефектов» (2 год обучения, 4 семестр аспирантуры).

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

**Цель курса -** познакомить аспирантов с современными представлениями о роли диффузионных процессов в формировании структуры и свойств твёрдых тел, понятиями, методами и приложениями современной теории диффузии и диффузионных фазовых превращений в кристаллических твёрдых телах, а также раскрыть качественные и количественные закономерности, связывающие температурно-зависящие физико-механические свойства твёрдых тел с развитой удельной поверхностью межкристаллитных границ с кинетикой диффузионно-контролируемых процессов.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ПК-1 | ЗНАТЬ  - принципы планирования научной работы и постановки сложных экспериментальных задач, а также самостоятельной работы по изучению наноструктурированных конструкционных металлов и сплавов;  УМЕТЬ  - эффективно осуществлять самостоятельную научную работу, в том числе самостоятельную экспериментальную деятельность, а также изучение литературы, в области наноструктурированных металлов и сплавов;  - самостоятельно решать нестандартные научные задачи, приводящие к получению принципиально новых знаний в области разработки и изучения наноструктурированных металлов и сплавов;  ВЛАДЕТЬ  - навыками организации самостоятельной научно-исследовательской работы (в том числе экспериментального характера) в научно-исследовательской организации в области области разработки и изучения наноструктурированных металлов и сплавов. |
| ПК-4 | Знать  - современные подходы к общему анализу процессов перестройки дефектной структуры , протекающих в кристаллических твёрдых телах под воздействием внешних физических полей;  - основные физические модели, описывающие основные закономерности эволюции дефектной структуры конструкционных металлов и сплавов с различным типом кристаллической решётки и особенности их механического поведения при различных условиях и схемах нагружения;  Уметь  - использовать фундаментальные знания, полученные в ходе освоения курса и выполнения своей научно-исследовательской работы, для разработки физических моделей процессов, протекающих в субмикро- и нанокристаллических материалах с сильно-неравновесной структурой, , а также для поиска новых подходов к описанию особенностей их механического поведения (эволюции структуры и реологии пластического течения)  Владеть  -методами анализа дефектной структуры материалов, методами структурно-кинетического подхода к описанию закономерностей пластической деформации и разрушения твёрдых тел. |
| ПК-5 | Знать:  - современные методы аттестации дефектной структуры материалов, в том числе проблемы описания и экспериментальной аттестации отдельных границ и ансамблей границ зёрен в ультрамелкозернистых материалах, проблемы получения и анализа спектров разориентировок в материалах , подвергнутых большим пластическим деформациям.  Уметь:  - использовать полученные знания для разработки новых более адекватных методик анализа и описания структуры субмикро и нанокристаллических материалов металлов и сплавов, полученных методами интенсивной пластической деформации  Владеть:  -навыками анализа и аттестации дефектной структуры, анализа структурно-чувствительных свойств новых перспективных конструкционных металлов и сплавов (в том числе субмикро- и – нанокристаллических). |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» составляет 2 зачётные единицы (з.е.), всего - 72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов практических занятий и лабораторных работ, а также 36 часов - на самостоятельную работу обучающегося.

В таблице 2 приведено распределение учебной нагрузки по основным разделам (модулям) дисциплины.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Диффузия в монокристаллических металлах и сплавах

Макроскопическая теория диффузии. Микроскопические модели диффузии. Самодиффузия в чистых металлах. Самодиффузия и диффузия растворённых элементов в разбавленных сплавах. Диффузия в концентрированных сплавах. Диффузия по ядрам дислокаций. Диффузионные фазовые превращения в твёрдых телах.

Раздел 2. Закономерности и модели процесса зернограничной диффузии в поликристаллах

Феноменологические модели зернограничной диффузии. Классификация режимов зернограничной диффузии по Харрисону. Обобщённые классификации режимов зернограничной диффузии для неподвижных и движущихся границ. Диффузия в движущейся границе зерна. Диаграмма Кана-Баллуффи. Микроскопические теории зернограничной диффузии. Диффузия по неравновесным границам.

Раздел 3. Диффузионно-контролируемые процессы на границах зёрен

Возврат дефектной структуры границ зёрен. Активированная диффузией ползучесть наноструктурных материалов. Активированная диффузией сверхпластичность ультра-мелеозернистых металлов и сплавов. Особенности протекания диффузионных фазовых превращений в наноструктурных материалах.

**5. Аттестация по дисциплине**

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета. Допуск к экзамену осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» аспиранты готовят реферат, зачет / незачет которого является одним из ключевых оснований для зачёта.

Примеры тем рефератов соответствуют разделам изучаемой дисцпилины (см. табл. 3).

По итогам изучений отдельных разделов 2 и 3 дисциплины «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» аспиранты готовят отчет по практической (лабораторной) работе, зачет которой является одним из ключевых оснований для получения зачета по дисциплине в целом.

Общая аттестация по дисциплине проходит в виде зачета. Допуск к экзамену осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по практической работе.

**Автор**: Перевезенцев В.Н., д.ф.-м.н., проф.

|  |
| --- |
| **Современные методы математического моделирования в механике сплошных сред и физическом материаловедении** |

(название дисциплины)

* + - 1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные методы математического моделирования в механике сплошных сред и физическом материаловедении» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 4-ом году обучения, во 7-м семестре.

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углубленных знаний в области механики сплошных сред, необходимых для корректного и инновационного описания задач физического материаловедения, и на развитие навыков применения математического и численного моделирования при решении задач, возникающих во время описания поведения перспективных конструкционных материалов, с учетом эксплуатационных характеристик и условий эксплуатации.

Освоение курса математического моделирования в механике сплошных сред опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Прежде всего, речь идет о знании базовых сведений о законах механики твердого тела, а также сведения о закономерностях механического поведения различных материалов в различных условиях.

* + - 1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* + научить формулировать математические постановки задач механики сплошных сред требуемые при корректном описании перспективных материалов в рамках физического материаловедения;
  + научить корректно переходить от математических постановок задач к постановкам задач в рамках численного моделирования, с умением выбрать адекватную численную методику решения рассматриваемой задачи;
  + научить проводить численное и компьютерное моделирование процессов при различных деформационных и температурных нагрузках;
  + выработать навыки выбора оптимального инструмента для численного моделирования исследуемой задачи механики сплошных сред.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

* способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2).
* способностью использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов, в том числе – в области наноматериалов и нанотехнологий (ПК-3).
* способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4).

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.)), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Основные соотношения в механике сплошных сред

Теория напряжений: компоненты напряжений, напряженное состояние в точке тела, дифференциальные уравнения равновесия, тензор и девиатор напряжений, наибольшие касательные напряжения, октаэдрические напряжения.

Теория деформаций: деформированное состояние в точке тела, однородная деформация, бесконечно малая деформация, конечная деформация без вращения, условия совместности деформаций, тензор и девиатор деформаций, объемная деформация и октаэдрическая деформация, интенсивность деформаций, направляющий тензор деформаций, приращения деформаций, скорости деформаций.

Раздел 2. Методы численного моделирования задач механики сплошных сред

Обобщенное понятие конечного элемента, прямые методы построения конечных элементов, вариационные методы построения конечных элементов, функции формы конечного элемента, криволинейные изопараметрические элементы, численное интегрирование

Раздел 3. Теория упругости изотропных и анизотропных тел

Зависимости между напряжениями и деформациями для упругого изотропного тела; условия начала пластичности для изотропного тела условие начала пластичности Треска, условие начала пластичности Мизеса; условия начала пластичности для анизотропного тела: квадратичное условие пластичности Мизеса, условие пластичности Хилла.

Подходы к численному моделированию с использованием метода конечных элементов задач теории упругости изотропных и анизотропных тел.

Раздел 4. Теория пластичности

Основные законы теории пластичности: поверхность пластичности, нагружение и разгрузка, постулат Друкера, ассоциированный закон течения; теория течения; теория малых упругопластических деформаций, теорема о простом нагружении; теория пластичности изотропного материала с анизотропным упрочнением, случай комбинированного упрочнения; теория пластичности ортотропного материала с изотропным упрочнением.

Подходы к численному моделированию с использованием метода конечных элементов задач теории пластичности.

Раздел 5. Связанные термоупругие и термопластические задачи

Соотношения термоупргости, смешенные начально-краевые задачи, соотношения термопластичности. Подходы к численному моделированию с использованием метода конечных элементов связанных задач

Раздел 6. Динамические задачи

Постановки динамических задач теории упругости и теории пластичности, начально-краевые условия влияние затухания в системе на ход процесса, волновые явления.

Подходы к численному моделированию с использованием метода конечных элементов динамических задач

**5. Аттестация по дисциплине**

Аттестация по дисциплине проходит в виде текущего контроля успеваемости по результатам выполнения домашних заданий и выполнения лабораторных работ и итогового зачета (зачет с оценкой) по курсу.

Программа зачета, состоит из двух разделов:

1) Методы численного моделирования задач механики сплошных сред;

2) Математические модели в механике сплошных сред.

В процессе обучения на семинарских занятиях получают контрольные задачи для лучшего усвоение и проверки навыков, полученных во время семинарских занятий.

По результатам лабораторных занятий аспиранты выполняют рад лабораторных работ. Результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ, представляются в виде презентаций, сопровождающихся дискуссией, модератором которой является преподаватель.

Оценка складывается из оценки знаний методам численного моделирования задач механики сплошных сред; из оценки степени усвоения различных видов математических моделей в механике сплошных сред; третьей составляющей оценки является результат дискуссии и презентации лабораторных работ на семинарских и лабораторных занятиях. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому применению навыков построение и реализации математических моделей механики сплошных сред при описании поведения материалов при научных и практических исследованиях. (о чем можно судить по представленным презентациям лабораторных работ).

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

|  |
| --- |
| **Специальные разделы физики конденсированного состояния** |

(название дисциплины)

**1. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Специальные разделы физики конденсированного состояния» относится к числу профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы ННГУ, структурно состоит из 5 частей (разделов), которые могут изучатся независимот друг от друга в 3-7 семестрах.

В рамках курса изучаются специальные разделы (дополнительные главы) физики конденсированного состояния, направленные на формирование более широкого (по сравнению с уровнями бакалавра и магистра физики) и углубленного перечня знаний, умений и навыков в следующих областях, смежных с базовым курсом физика конденсированного состояния:

* актуальные проблемы физики полупроводников, современной электроники, наноэлектроники, спинтроники, нанофотоники и др.;
* современные методы теоретической и прикладной физики твердого тела, в том числе кристаллофизики, физики полупроводников, теоретической (в том числе - математической) физики, физического материаловедения и др.;
* современные методы обработки информации в физических исследованиях и др.

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является формирование углубленных знаний у аспирантов физического факультета ННГУ в отдельных разделах физики конденсированного состояния и в смежных областях, в том числе в таких областях как:

1. актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники;
2. современные проблемы спинтроники;
3. физика полупроводников и твердотельная электроника;
4. нанофотоника, наноэлектроника, электроника СВЧ;
5. физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности;
6. радиационная стойость изделий микроэлектроники;
7. методы обработки информации в физических исследованиях и др.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

* способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);

Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| ПК-2 | ЗНАТЬ:  - базовые подходы и принципы обработки физической информации;  *-* физические основы основных процессов в области физики конденсированного состояния и в смежных областях (физики полупроводников, нано- и оптоэлектроники, спинтроники и др.), на основе которых основана работа современных изделий электроники различного функционального назначения;  *-* основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития смежных с физикой конденсированного состояния областях науки и техики (электроника, нано- и микроэлектроника, спинтроника физика полупроводников, теоретическая и математическая физика, кристаллофизика и др.),  - основные методы, методики исследования и специфику определения ключевых параметров и характеристик твердотельных нано- и микроструктуры;  - основные технологические приемы и физические принципы в области создания материалов и наноструктур различного функционального назначения, а также новых приборов и конструкций, работающих на этих материалах и структурах.  УМЕТЬ:  - оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований; предлагать новые области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в областях, смежных с физикой конденсированного состояния (электроника и наноэлектроника, спитроника, информационные технологии в физических исследованиях и моделировании и др.);  - разрабатывать новые модели (в том числе методы моделирования) сложных физических процессов в области физики физики конденсированного состояния и в смежных областях;  - самостоятельно планировать и проводить физические эксперименты в области нано- и микроструктур различного функционального назначения и анализировать их результаты, в том числе – с использованием современных информационных технологий и новых методом моделирования;  - делать количественные оценки важнейших параметров материалов, структур, изделий и приборов, работающих на основе современных и базовых принципах (процессах) физики конденсированного состояния и смежных разделов физики;  - количественно оценивать возможности используемого технологического и контрольно-измерительного оборудования, в том числе – мирового уровня;  - выполнять предварительные расчеты и количественные оценки физических величин и параметров, необходимых для проведения физического эксперимента;  - корректно выбирать и осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование, необходимое для проведения исследований и разработки новых материалов, структур, изделий и приборов;  - разрабатывать новые модели физических процессов в области физики конденсированного состояния и в смежных областях физики, лежащих в основе новых технологических процессов и методов моделирования.  ВЛАДЕТЬ:  - современной научной терминологией и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях физики конденсированного состояния и смежных областях науки и техники (электроники, микро - и наноэлектроники, спинтроники, теоретической и прикладной физики);  - навыками по применению контрольно-измерительного оборудования для регистрации данных сложных физических экспериментов, в том числе – междисциплинарного характера;  - методами сбора, обработки и анализа информации с использованием современных методов документирования экспериментальных данных различного типа;  - навыками работы со сложным исследовательским, технологическим и контрольно-измерительным оборудованием для изучения и получения нано- и микроструктур, изделий и приборов различного функционального назначения;  - методами обработки экспериментальных данных и/или методами численного моделирования физических и технологических процессов в нано- и микроструктурах различного функционального назначения. |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Специальные разделы физики конденсированного состояния» составляет 10 зачетных единиц - по 2 зачётные единицы (з.е.) в течение каждого семестра (72 часа, из которых 18 часов занятия лекционного типа, 18 часов практических занятий (лабораторных работ) и 36 часов на самостоятельную работу обучающегося).

**4. Содержание разделов дисциплины**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование раздела** | **Содержание раздела**  **(направления)[[1]](#footnote-1)(** |
| 1 | Специальные разделы физики конденсированного состояния. Раздел 1 | 1.1 Актуальные проблемы твердотельной электроники  Современные полупроводниковые диоды и их технологии.  Современные биполярные транзисторы и их технологии.  Современные полевые транзисторы и их технологии.  Современные полупроводниковые приборы на квантовых эффектах и их технологии. |
| *или* |
| 1.2 Современные проблемы и направления физики полупроводников  Феноменологическая теория электронных явлений на поверхности полупроводников.  Физические явления на поверхности и их использование для определения параметров поверхности.  Диффузионные фазовые превращения в твердом теле.  Квантовые размерные эффекты на поверхности полупроводника.  Идеальная и реальная поверхность полупроводника.  Феноменологическая теория МДП-структуры, анализ результатов измерений, полевые транзисторы и МДП- диоды с пониженной размерностью.  Неравновесная емкость МДП-структуры.  Гистерезисные явления в МДП-структурах |
| *или* |
| 1.3 Современные методы расчета твердотельных активных элементов  Введение. Общий подход в анализе твердотельных схем и электрических цепей. Условие квазистационарности. Выделение сосредоточенных элементов: емкость, индуктивность, резистор.  Применение преобразования Лапласа для анализа линейных схем. Обобщение законов Ома и Кирхгофа.  Многополюсники. Соотношение между числом полюсов и уравнений для многополюсника. Линеаризация двух- и трехполюсников. Матрицы линейного трехполюсника. Системы параметров трехполюсника. Эквивалентные схемы.  Преобразование трехполюсников.  Примеры важных трехполюсников. Электронная лампа и полевой транзистор как линейный усилитель. Биполярный транзистор как линейный усилитель. Операционный усилитель.  Общие свойства электрических цепей.  Обратная связь.  Основные классы линейных интегральных схем. Особенности планарных биполярных структур для линейных интегральных схем. Примеры типичных интегральных структур. Полевые и униполярные транзисторы в интегральных схемах. |
| 2 | Специальные разделы физики конденсированного состояния. Раздел 2 | 2.1 Актуальные проблемы современной наноэлектроники  Введение. Основные параметры качества и тенденции развития элементов наноэлектроники. Проблемы, связанные с проектированием и моделированием элементов и приборов наноструктур.  Параметры быстродействия, усиления, энергии переключения транзисторов. Параметры быстродействия биполярных транзисторов (БТ), усиление на высоких частотах, усиление по мощности, время задержки переключения. Параметры быстродействия полевых транзисторов (ПТ), усиление на высоких частотах, максимальная частота генерации, время задержки переключения. ПТ и БТ как вентили логических схем. Время задержки и энергия переключения.  Принципиальные физические и технологические ограничения. Горизонтальные или планарные ограничения. Вертикальные ограничения. Физические ограничения.  Гетероструктурные транзисторы. Гетероструктурные ПТ. Селективное легирование. 2D- электронный газ. Реализации ГСЛ-ПТ. Гетероструктурные БТ. Транзисторы на горячих электронах.  Аналоговые транзисторы со статической индукцией, проницаемой базой, с металлической базой.  Транзисторы на квантовых эффектах. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Транзисторы с квантовой структурой двойного барьера (ДБКС). ПТ с резонансным туннелированием. Структуры со сверхрешёткой. Эффект Ааронова-Бома. Транзисторы с квантовой интерференцией электронных волн.  Физические основы дискретного туннелирования. Реализация одноэлектронных схем. Атомный уровень одноэлектроники.  Получение углеродных нанотрубок (УНТ). УНТ как квантовые проволоки, проводимость УНТ. Манипуляции с УНТ в атомно-силовом микроскопе. ПТ на УНТ.  Спиновые инжекция и аккумуляция. Гигантское магнитосопротивление. Спиновый клапан. Спиновый транзистор на горячих электронах.  Стационарный и не стационарный эффекты Джозефсона. СКВИД. Электроника на основе переходов Джозефсона. Максимальное быстродействие. |
| *или* |
| 2.2 Современные методы обработки информации в физических исследованиях  Понятие информации. Качественная мера информации.  Связь информации и энтропии.  Избыточность информации, ценность информации.  Статистическая обработка экспериментальных данных. Функция распределения вероятности, её свойства. Нормальное распределение. Применение нормального распределения.  Распределение Стьюдента. Применение распределения Стьюдента.  Распределение Фишера. Применение распределения Фишера.  Распределение χ2.Оценка статистических гипотез.  Функция правдоподобия. Оценка доверительных интервалов.  Метод наименьших квадратов. Основные свойства метода наименьших квадратов.  Применение ортогональных полиномов в методе наименьших квадратов.  Применение сингулярного разложения матрицы плана в методе наименьших квадратов.  Нелинейные модели. Минимизация целевой функции методом случайного поиска. Равномерно распределённые псевдослучайные точки в многомерном пространстве. Λπτ поиск.  Анализ динамических процессов. Аппроксимация данных сплайнами. Простой кубический сплайн с непрерывной первой производной. Кубический сплайн с непрерывной второй производной. Сглаживающий сплайн.  Численный Фурье-анализ.  Краевой эффект для непериодических разрывных функций, его устранение.  Особенности численного Фурье-анализа.  Алгоритм быстрого Фурье-преобразования.  Предсказание случайных процессов.  Некорректные задачи. Примеры некорректных задач. Метод регуляризации Тихонова. Алгоритм реализации метода регуляризации.  Экспертные оценки и экспертные системы. Проведение простых экспертиз. Проведение сложных экспертиз. Организация и планирование расписания работ. Теорема Байеса. Байесовский подход для построения экспертных систем. Структура данных и принципы работы экспертной системы. |
| *или* |
| 2.3 Современная методы и технологии мехатроники и микроэлектромеханики |
| Введение. Мехатронные системы. Актюаторы. Сенсоры.  Масштабирование мехатронных систем.  Механические свойства твердых тел.  Законы классической электромеханики.  Разработка и моделирование мехатронных и микроэлектромеханических систем. |
| 3 | Специальные разделы физики конденсированного состояния. Раздел 3 | 3.1 Оптические явления в системах пониженной размерности и современные методы нанофотоники |
| Классические гетеропереходы и гетероструктуры.  Квантово-размерные гетеронаноструктуры (КРС).  Оптические явления в КРС.  Спонтанное и стимулированное излучение КРС.  Фотоэлектронные явления в КРС. |
| *или* |
| 3.2 Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники |
| Введение. Кремний – основа электроники и наноэлектроники.  Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.  Структура кремния.  Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.  КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.  Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.  Эволюция интегральных схем. Закон Мура. |
| *или* |
| 3.3 Физические основы современной микро- и наносистемной техники  Введение. Актуальность и тенденции развития технологии микро- и наноэлектроники. Общие принципы планарной технологии полупроводниковых приборов.  Основные физико-химические методы получения материалов. Основы процессов разделения и очистки. Механическая и химическая обработка.  Технология получения эпитаксиальных слоев. Основы технологии диэлектрических защитных пленок.  Физико-химические основы литографии.  Ионно-плазменное травление органических и неорганических покрытий. Получение нанообъектов ионным травлением.  Основы диффузионного легирования полупроводников и диэлектриков.  Основы легирования методом ионной имплантации.  Металлизация. Элементы тонкопленочной технологии.  Основы технологии сборки. Микросварка. Герметизация.  Физико-химические методы формирования наноструктур.  Физические процессы в технологии тонких пленок. Вакуумное испарение.  Методы ионного распыления.  Технологические приемы формирования пассивных и активных приборов оптоэлектроники по пленочной технологии. |
| 4 | Специальные разделы физики конденсированного состояния. Раздел 4 | 4.1 Современные приборы и устройства СВЧ электроники  Введение. Особенности конструирования приборов и схем СВЧ-электроники.  Основы вакуумной СВЧ- электроники.  Основные приборы вакуумной СВЧ-электроники. Усилители и генераторы СВЧ.  Волноводные передающие линии в СВЧ-диапазоне.  Фильтры, фазовращатели, циркуляторы СВЧ.  Методы анализа СВЧ-приборов и передающих линий.  Основы твердотельной СВЧ- электроники.  Полосковые и микрополосковые передающие линии. Создание интегральных схем.  СВЧ электроника на основе гетероструктур. Транзисторы с высокой подвижностью.  Элементы СВЧ-тракта. Направленные ответвители. Антенны.  Квантовая СВЧ-электроника |
| *или* |
| 4.2 Программная среда LabView в сложных физических исследованиях |
| Введение в LabVIEW. Специфика программной среды LabVIEW.  Понятие виртуального прибора(ВП). Создание ВП. Объединение данных. Отладка ВП. Разработка модульных приложений. Сбор данных. Управление приборами. Анализ и сохранение результатов измерений. Стандартные методы и образцы проектирования. Создание и самостоятельное использование приложений |
| 5 | Специальные разделы физики конденсированного состояния. Раздел 5 | 5.1 Радиационная стойкость изделий микроэлектроники  Виды ИИ, методы моделирования и имитации. Взаимодействие ИИИ с ПП структурами и материалами ЭТ. Эффекты смещения и ионизации. Эффекты полной поглощённой дозы (TID) в современных КМОП технологиях. Релаксационные процессы в твёрдотельных полупроводниковых приборах при воздействии импульсного ионизирующего излучения. Обеспечение стойкости ЭКБ к воздействию факторов космического пространства. Расчётные оценки радиационной стойкости ЭКБ. Перенос электрического заряда в структурах МОП. Методические основы экспериментальных методов подтверждения радиационной стойкости ЭКБ. Дозиметрия ионизирующих излучений. Проблемы обеспечения высоких сроков активного существования радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов в условиях воздействия естественных ионизирующих излучений космического пространства. Современная система оценки и контроля радиационной стойкости изделий микроэлектроники иностранного производства и опыт её реализации.  *или*  5.2 Современные технологии спинтроники  Понятие спина электрона. Эффекты с участием спина. Магнетизм атомов  Магнитные характеристики материалов. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.  Разбавленные магнитные полупроводники. Магнетизм наночастиц.  Аномальный и спиновый эффекты Холла.  Оптическая ориентация.  Спиновая инжекция.  Механизмы спиновой релаксации.  Спиновый клапан.  Приборы спинтроники (спиновые транзистор, светодиод). |

**5. Аттестация по дисциплине**

Оценка за реферат, оценка за отчет по лабораторной работе, а также ответы по экзаменационным и контрольным вопросам дисциплины «Специальные разделы физики конденсированного состояния», образуют систему (фонд) оценочных средств сформированности соответствующих компетенций.

Аттестация по разделам 1 и 2 дисциплины проходит в виде устного экзамена, по разделам 3-5 – в форме зачета.

Допуск к экзамену или итоговому зачету по разделу дисциплины осуществляется на основании оценивания (по системе «зачет – незачет») результатов защиты рефератов и отчетов по лабораторной (практической) работе.

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме, в форме практических занятий (решение задач), в форме лабораторных занятий, а также в форме самостоятельной работы студентов. На лекциях студенты знакомятся с основными представлениями, моделями и теориями физики конденсированного состояния. На практических занятиях они приобретают навыки математического описания конкретных эффектов и явлений, учатся количественно оценивать важные физические параметры. В ходе лабораторных занятий студенты осваивают экспериментальные методы исследования свойств вещества в конденсированном состоянии.

Оценочными средствами для контроля текущей успеваемости являются текущие оценки в ходе регулярной и равномерной для каждой группы студентов работы на практических и лабораторных занятиях и индивидуальные оценки после выполнения всего цикла решения задач и лабораторных работ.

В качестве промежуточного контроля предусмотрен коллоквиум в середине семестра и контрольная работа по решению задач.

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Специальные разделы физики конденсированного состояния» аспиранты проходят собеседование с преподавателем, который оценивает степень усвоения материала.

Перед прохождением собеседования аспиранту рекомендуется подготовить реферат по одному из разделов изучаемой дисцпилины (см. п.4).

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Специальные разделы физики конденсированного состояния» аспиранты готовят отчет по практической (лабораторной) работе.

Авторы: Нохрин А.В. (д.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ), Чувильдеев В.Н. (д.ф.-м.н., проф., и.о. директора НИФТИ ННГУ, зав. кафедрой ФМВ), Карзанов В.В. (к.ф.-м.н., доц.), Демидов Е.С. (д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой ЭТТ), Планкина С.М. (к.ф.-м.н., доц.), Павлов Д.А. (д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой ФПиО).

|  |
| --- |
| **Физика конденсированного состояния** (кандидатский экзамен) |

(название дисциплины)

1. **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» относится к числу обязательных профессиональных дисциплин, входит в состав вариативной части основной профессиональной образовательной программы и изучается на 4-ом году обучения, в 7-м (нечетном) семестре.

В рамках курса аспирантом самостоятельно изучаются базовые разделы физики конденсированного состояния, а также самостоятельно получаются дополнительные знания, умения и навыки по дополнительным разделам физики конденсированного состояния и в смежных областях. Окончание обучения по данной дисциплине заканчивается кандидатским экзаменом по специальности (специальной дисциплине) «Физика конденсированного состояния». Получение аспирантом знания, умения и навыки должны соответствовать паспорту специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденного ВАК Минобрнауки РФ.

Освоение дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования (бакалавриат, магистратура) в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения, а также на знания, умения и навыки, полученные аспирантом при изучении ряда курсов вариативной части настоящей ОПОП (в первую очередь – курса «Специальные разделы физики конденсированного состояния»).

**2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)**

Целью курса является:

* формирование у аспирантов углубленного понимания основных физических явлений и специфики применения физических законов для их описания в веществе, находящемся в конденсированном состоянии;
* формирование представлений о практической значимости разнообразных свойств конденсированного состояния вещества;
* формирование углубленных знаний в отдельных разделах физики конденсированного состояния;
* научить эффективному использованию фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния для решения практических задач;
* научить эффективному решению типовых и нестандартных научно-практических задач в области физики конденсированного состояния и физическом материаловедении;

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими компетенциями:

* Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1)
* способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)
* способность самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
* способность современные методы обработки экспериментальных данных и/или методы численного моделирования сложных физических процессов, в том числе – в области наноматериалов и нанотехнологий (ПК-3);
* способность самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
* способность осваивать и внедрять новое исследовательское, контрольно-измерительное и технологическое оборудование для получения и испытания материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области, в том числе – способностью осуществлять разработку и внедрение новых методик аттестации структуры и свойств материалов (в том числе - наноматериалов) в соответствующей профессиональной области (ПК-5);
* готовность разрабатывать научно-техническую документацию различного уровня сложности, а также способностью осуществлять документирование результатов экспериментальных и теоретических исследований в соответствующей профессиональной области (ПК-6).

**Таблица 1. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции** | **Планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций** |
| УК-1 | Знать современные научные достижения (в том числе – методы их оценки) в области физики конденсированного состояния и в смежных областях.  Уметь использовать фундаментальные знания в области физики конденсированного состояния для решения стандартных и нестандартных задач в своей профессиональной области.  Владеть:  - навыками анализа ключевых методологических проблем в области физики конденсированного состояния и в смежных областях, в том числе – возникающих при решении конкретных практических задач;  - навыками критического анализа и оценки современных научных достижений в области физики конденсированного состояния и в смежных (в том числе – междисциплинарных) областях. |
| ОПК-1 | Знать современные способы использования информационных технологий в области физики конденсированного состояния.  Уметь выбирать и применять в своей профессиональной деятельности ключевые экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования физики конденсированного состояния и смежных научных дисциплин.  Владеть:  - навыками поиска и критического анализа информации по тематике проводимых исследований – в области физики конденсированного состояния и в смежных областях;  - навыками представления результатов своей профессиональной деятельности в области физики конденсированного состояния и в смежных областях. |
| ПК-1 | Знать приниципы организации самостоятельной работы по изучению базовых и углубленных разделов физики конденсированного состояния и в смежных областях.  Уметь самостоятельно решать стандартные и нестандартные задачи в области физики конденсированного состояния и в смежных областях.  Владеть навыками организации самостоятельной работы по изучению базовых и углубленных разделов физики конденсированного состояния и в смежных областях. |
| ПК-2 | Знать современное состояние науки в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях.  Уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях. |
| ПК-3 | Знать требования к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования физических процессов.  Уметь корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных физических процессов в своей профессиональной области.  Владеть:  - современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов. |
| ПК-4 | Знать физико-химические основы явлений и закономерностей (в том числе – междисциплинарного характера) в области физики конденсированного состояния, которые могут быть проложены в основу перспективных технологических процессов получения и обработки конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов и нанотехнологий)  Уметь использовать фундаментальные и/или практические результаты в области физики конденсированного состояния для решения конкретных практических задач по разработке основ новых технологических процессов, разработке рекомендаций по выбору и обработке новых конструкционных и многофункциональных материалов и др. |
| ПК-5 | Знать физические основы работы оборудования и новых методик контроля структуры и свойств материалов (в том числе – наноматериалов)  Уметь использовать современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований в области физики конденсированного состояния для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.  Владеть навыками работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня) |
| ПК-6 | Знать основные требования внутренних руководящих документов организации (ННГУ), предъявляемые к формам и содержанию отчетной документации различного уровня сложности, описывающих результаты проделанной самостоятельной работы по изучению ключевых разделов физики конденсированного состояния.  Уметь осуществлять документирование результатов самостоятельной работы по изучению ключевых разделов физики конденсированного состояния.  Владеть навыками разработки, согласования и утверждения документации различного уровня сложности (рефераты и отчеты о проделанной самостоятельной работе) |

**3. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» составляет 2 зачётные единицы (з.е.), всего - 72 часа, из которых 36 часов - на самостоятельную работу обучающегося и 36 часов – на промежуточную аттестацию (кандидатский экзамен по специальности (специальной дисциплине) «Физика конденсированного состояния»), в том числе – 16 часов на консультации по ключевым разделам темы.

**4. Содержание разделов дисциплины**

Раздел 1. Силы связи в твердых телах

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

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита СаТЮ3.

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

Раздел 2. Симметрия твердых тел. Дифракция в кристаллах

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

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Раздел 3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Раздел 4. Колебания решетки. Тепловые свойства твердых тел

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана- Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Раздел 5. Электронные свойства твердых тел

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

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

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Раздел 6. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

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

Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Раздел 7. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

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

Раздел 8. Сверхпроводимость

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

**5. Аттетсация по дисциплине**

Общее оценивание результатов освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» проводится на основании кандидатского экзамена по специальности, общие требования к которому установлены Приказом Минобрнауки России от 28.03.2014 г. №247 (зарегистрировано в Минюсте России от 05.06.2014 №32577).

Содержание и темы экзаменационных вопросов соответствуют основным разделам паспорта специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», утвержденного ВАК Минобрнауки РФ.

Экзаменационная оценка складывается из оценки знаний и степени усвоения курса «Физика конденсированного состояния». Третьей составляющей экзаменационной оценки является результат дискуссии с членами экзаменационной комисии. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому использованию полученных знаний, умений и навыков.

Процедура экзаменационного испытания предусматривает ответ аспиранта по вопросам экзаменационного билета, который заслушивает комиссия. После сообщения аспиранта и ответов на заданные вопросы, комиссия обсуждает качество ответа и принимает решение об оценке, вносимой в протокол (Форма протокола устанавливается локальными нормативными документами ННГУ).

По итогам изучений отдельных разделов дисциплины «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» аспиранты готовят реферат. Темы рефератов соответствуют основным разделам дисциплины.

Авторы: д.ф.-м.н., зав. лаб. НИФТИ ННГУ Нохрин А.В., д.ф.-м.н., проф., директор НИФТИ ННГУ Чувильдеев В.Н., к.ф.-м.н., доц. Карзанов В.В.

1. (\*) В каждом из семестров аспирант должен выбрать **только один** из разделом программы (курса) для изучения. [↑](#footnote-ref-1)