**АННОТАЦИЯ**

**рабочей программы дисциплины Б1.В.ОД.1 «Физика конденсированного состояния»**

**Объем трудоемкости:** 3 зачетных единицы (108 часов, из них – 45 аудиторных, 36 часов – контролируемая самостоятельная работа, 27 часов – самостоятельная работа аспирантов).

**Цель дисциплины**:

Учебная дисциплина «Физика конденсированного состояния» ставит своей целью изложение представлений об основных взаимодействиях, ответственных за формирование физических свойств конденсированных сред.

**Задачи дисциплины:**

– формирование систематических знаний по основным разделам физики конденсированного состояния, необходимых для выполнения самостоятельных научных исследований и лабораторного практикума в рамках учебного курса;

– ознакомление с основными методами исследования и расчета физических характеристик твердых тел, изучение физических свойств конденсированных сред на атомно-молекулярном уровне;

– изучение экспериментальных основ физики конденсированного состояния.

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из электродинамики, квантовой механики, статистической физики, теории симметрии, в том числе теории дискретных и непрерывных групп.

**Место дисциплины в структуре ООП ВО**

«Физика конденсированного состояния» является обязательной дисциплиной аспирантуры направления 01.04.07 – "Физика конденсированного состояния". Изучение свойств конденсированных сред базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее

при изучении дисциплин, входящих в цикл общей физики.

**Требования к уровню освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части) | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **знать** | **уметь** | **владеть** |
| 1. | ПК-2 | способность теоретически или экспериментально исследовать природу кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях | основные законы, идеи и принципы теории конденсированного состояния, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование | – осмысливать и интерпретировать основные положения теории конденсированного состояния, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники;  – применять полученные теоретические знания для решения прикладных задач. | четкими представлениями о современных научных концепциях физики конденсированного состояния |

**Основные разделы дисциплины:**

| № раздела | | Наименование разделов | | Количество часов | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего | | Аудиторная  работа | | | | | | Самостоятельная работа | |
| Л | | ПЗ | | КСР | |  | |
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | |
| 1. 1 | | **Основные понятия физики конденсированного состояния.**  Адиабатический принцип Борна-Эренфеста. Кристаллическая структура и ее описание. Симметрия кристалла, точечные и пространственные (федоровские) группы. Классификация решеток Бравэ. Обратная решетка, ее свойства. Особые точки в зоне Бриллюэна, звезда волнового вектора. Связь точечной симметрии элементарной ячейки с физическими свойствами кристалла. | |  | | 2 | | 3 | | 4 | | 3 | |
| 1. 2 | | Динамика кристаллической решетки.  Динамика кристаллической решетки. Квантование колебаний решетки, акустические и оптические фононы. Ангармонизм, диаграммы Фейнмана, описывающие фонон-фононное взаимодействие | |  | | 2 | | 3 | | 4 | | 3 | |
| 1. 3 | | **Электронные состояния в кристалле.**  Электронные волны в кристалле. Уравнение Шредингера для электрона в периодическом потенциале. Эффективная масса. Методы вычисления эффективной массы. Приближение почти свободных электронов и приближение сильной связи. Примеси и примесные уровни, локализация электронов. Квантование системы электронов, электроны и дырки. Статистика носителей заряда. Энергия Ферми, электронная теплоемкость. Кулоновское и обменное взаимодействие в электронно-дырочной системе. Экситоны большого радиуса, их наблюдение в полупроводниках. Экситоны малого радиуса, безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения с помощью экситонов. Плазмоны | |  | | 2 | | 3 | | 4 | | 3 | |
| 1. 4 | | **Взаимодействия в системе электронов**  Кулоновское и обменное взаимодействие в электронно-дырочной системе. Экситоны большого радиуса. Экситоны малого радиуса, безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения с помощью экситонов. Электрон-фононное взаимодействие. Поляроны. | |  | | 2 | | 3 | | 4 | | 3 | |
| 1. 5 | | **Кинетические свойства твердых тел**  Электронные свойства твердых тел. Электропроводность, связь между электропроводностью и теплопроводностью (закон Видемана-Франца). Матрица плотности и ее свойства. Уравнение Лиувилля (Неймана). Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение, формула Кубо-Гринвуда для обобщенной восприимчивости. Прямые и непрямые оптические межзонные переходы в полупроводниках. | |  | | 3 | | 3 | | 5 | | 3 | |
| 1. 6 | | **Оптические свойства твердых тел.**  Матрица плотности и ее свойства. Уравнение Лиувилля (Неймана). Отклик конденсированной среды на внешнее возмущение, формула Кубо-Гринвуда для обобщенной восприимчивости. Прямые и непрямые оптические межзонные переходы в полупроводниках. Поляритоны. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников | |  | | 3 | | 3 | | 5 | | 4 | |
|  | | **Сверхпроводимость.**  Сверхпроводники, их свойства. Фазовый переход второго рода как спонтанное нарушение симметрии. Изотопический эффект. Магнитные свойства сверхпроводников, эффект Мейсснера, глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости, длина когерентности. Сверхпроводники второго рода, вихри Абрикосова. Высокотемпературная сверхпроводимость. Сверхпроводимость в системах с тяжелыми фермионами (общие понятия) | |  | | 3 | | 4 | | 5 | | 4 | |
|  | | **Системы с пониженной размерностью.**  размерностью.  Квантовые точки. Электронное строение квантовых точек. Функционал плотности, уравнение Кона-Шэма. Одномерные системы, разделение заряда и спина, сверхпроводимость одномерных систем. Двумерные системы. Поверхностные состояния электронов | |  | | 3 | | 3 | | 5 | | 4 | |
|  | | *Всего:* | |  | | 20 | | 25 | | 36 | | 27 | |

**Курсовые работы**: *не предусмотрены*

**Форма проведения аттестации по дисциплине:** *экзамен*

**Основная литература:**

1. И.Ф. Гинзбург. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики, статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела. М.: изд-во «Лань», 2007 г.
2. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: изд-во "Физматлит", 2007 г.
3. Р.В. Лобзова. Кристаллография. М.: Издательство Российского Университета дружбы народов, 2008 г.
4. А.Г. Гуревич. Физика твердого тела. СПб. БХВ. 2004 г.
5. А.М. Цвелик. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, 320 стр.

**Дополнительная литература:**

1. Дж. Займан, Электроны и фононы. М: ИЛ, 1962, 488 стр.
2. Д. Пайнс. Элементарные возбуждения в твердых телах. М.: «Мир», 1965, 382 стр.
3. О.Маделунг. Физика твердого тела, М.: Наука, 1985,184 стр.
4. М..П. Шаскольская. Кристаллография. М.: Высшая школа, 1984.
5. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М., 1988.
6. Ч. Китель. Квантовая теория твердых тел. М.: «Наука», 1967, 491 стр.
7. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела, тт.1,2, М.: «Наука», 1979.
8. Л.С. Левитов, А.С. Шитов. Функции Грина (задачи с решениями). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, 352 стр.
9. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Статистическая физика, ч.2. Теория конденсированного состояния. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004, 448 стр.
10. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Физическая кинетика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007, 527 стр..
11. Задачи по физике твердого тела, под ред. Дж. Голдсмида, М.: «Наука», 1976.
12. А.А. Абрикосов, Л.П. Горьков, И.Е. Дзялошинский. Методы квантовой теории поля в статистической физике. М.: ГИФМЛ, 1962.
13. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. М.: «Наука», 1976, 639 стр.
14. Х. Хакен. Квантовополевая теория твердого тела. М.: «Наука», 1980, 341 стр.
15. М. Тинкхам. Введение в сверхпроводимость. М.: Атомиздат, 1989, 311 стр.
16. П. де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: «Мир», 1968, 280 стр.

**АННОТАЦИЯ**

**рабочей программы дисциплины Б1.В.ОД.2 «Кристаллография и кристаллофизика»**

**Объем трудоемкости:** 5 зачетных единиц (72 часа, из них – 36 аудиторных, 36 – самостоятельная работа).

**Цель дисциплины**:

Цель курса - краткое изложение основ кристаллографии и кристаллофизики- раскрытие кристаллической сущности минералов и искусственных кристаллов вытекающих из этого особенностей физических свойств, условий образования, создания синтетических материалов с нужными физическими свойствами; обучение аспирантов практическим навыкам работы с кристаллами, овладение приемами грамотного описания внешней формы и внутреннего (атомного) строения кристаллов, необходимых для правильной интерпретации результатов самостоятельной научной работы и понимания специальной литературы; знакомство с методами исследования кристаллического вещества.

**Задачи дисциплины:**

- получение систематизированного представления о связи физических свойств кристаллов с их внутренним строением;

- освоение математического описания анизотропных свойств и особенностей их измерения;

- знание закономерностей изменения свойств кристаллов под влиянием внешних воздействий;

- овладение навыками кристаллофизических расчетов.

**Место дисциплины в структуре ООП ВО**

«Кристаллография и кристаллофизика» является дисциплиной по выбору магистратуры направления 03.06.01 – Физика и астрономия. Изучение дисциплины в физике конденсированного состояния базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей и теоретической физики.

**Требования к уровню освоения дисциплины**

В результате изучения курса аспирант должен:

− знать основные принципы работы активных и нелинейных кристаллов;

− уметь под руководством исследователей работать на стендах для оптических исследований материалов;

– знать закономерности установления фазовых равновесий в гетерогенных системах;

– иметь четкие представления о современных научных концепциях современного материаловедения;

– знать основные законы, идеи и принципы строения и свойств кристаллических и аморфных тел, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование;

– уметь осмысливать и интерпретировать основные положения теории роста кристаллов, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники;

– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

– готовность выбирать, осваивать и совершенствовать методы выращивания и исследования кристаллов (ПК-1);

– способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);

Теоретическое изложение материала сопровождается необходимыми практическими занятиями.

**Основные разделы дисциплины:**

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование раздела | Содержание раздела |
| 2 | 3 |
| Введение в учение о фазовых равновесиях и рост кристаллов | Фазовые равновесия.  Основные типы диаграмм состояния двухкомпонентных систем. Основные методы роста кристаллов и синтеза стекол. |
| Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах | Диаграммы состояния систем без превращений в твердой фазе.  Диаграммы состояния систем с кристаллизацией образующихся соединений.  Диаграммы состояния систем с твердыми растворами |
| Рост кристаллов и синтез стекол и ситаллов | Технологические методы получения кристаллов. Технологические методы получения стекол и ситаллов |
| Элементы современной кристаллохимии | Решетки, как шаровые упаковки. Модель пересекающихся сфер.  Координационное число. Атомный и ионный радиус. Методы стереоатомного анализа. |
| Программный комплекс TOPOS | Работа с базами данных.  Программа IsoCryst.  Программа Dirichlet  Программа AutoCN  Программа IsoTest |
| Кристаллофизика и современная кристаллохимия | Основные понятия кристаллофизики.  Связь кристаллохимических, структурных и физических свойств кристаллов |

**Курсовые работы**: *не предусмотрены*

**Форма проведения аттестации по дисциплине:** экзамен.

**ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН**

1. Решетки, как шаровые упаковки. Структуры элементов и соединений.

2. Координационное число. Атомный и ионный радиус.

3. Пустоты в плотнейших упаковках. Понятие о структурном типе.

4. Методы определения структуры и ориентации монокристаллов.

5. Технологические методы получения упорядоченных сред.

6. Метод Чохральского.

7. Метод Бриджмена-Стокбаргера.

8. Методы Киропулуса и Вернеля.

9. Методы роста кристаллов из газовой фазы

10. Аморфное и стеклообразное состояние. Технологические методы получения неупорядоченных систем.

11. Предмет и задачи кристаллохимии. Основы термодинамики.

Термодинамические потенциалы.

12. Условия фазовых равновесий, условия стеклообразования.

13. Диаграммы состояния систем без превращений в твердой фазе.

14. Термодинамический вывод диаграмм состояния с простой эвтектикой, с полиморфными превращениями, с конгруэнтно и инконгруэнтно плавящимися соединениями. Построение диаграмм состояния по экспериментальным точкам, треугольник Таммана.

15. Диаграммы состояния систем с твердыми растворами. Вывод пяти типов диаграмм состояния по Розебому.

16. Типы химической связи.

17. Зависимость физико-химических свойств твердых веществ от их строения.

18. Условия устойчивости структурных типов ионных и ковалентных кристаллов.

19. Расчет рентгеновской и ретикулярной плотностей кристаллических структур.

20. Расчет параметров кристаллических структур по их кристаллохимическим данным.

21. Описание кристаллических структур при помощи теории плотнейших шаровых упаковок.

22. Матричное и тензорное описание свойств кристаллов.

23. Скалярные и векторные свойства.

25. Тензорные свойства кристаллов.

26. Интерпретация наблюдений – понятие модели, класс модели, выбор модели. Методы сопоставления модели с экспериментальными данными, критерии сопоставления.

27. Методы усреднения экспериментальных данных. Проблемы точности, верхняя и нижняя границы ошибок эксперимента

28. Учет априорных данных и информационных оценок при выборе коэффициента регуляризации и определении нижней границы возможной ошибки.

29. Методы современной кристаллохимии и стереоатомный анализ.

30. Метод пересекающихся сфер.

31. Определение оптической однородности материалов.

32. Определение лучевой стойкости оптических материалов.

33. Определение коэффициента усиления лазерного излучения.

34. Определение генерационных характеристик лазерных материалов.

**Основная литература:**

1. Г.Б. Бокий. Кристаллохимия. М.: Наука, 1971.-400с.
2. В.А. Исаев, В.А. Лебедев. Рост кристаллов. Фазовые равновесия. Учебное пособие. Краснодар. Кубан. Гос. ун-т, 2000. 56 с.
3. Кацуяма Т., Мацумура Х. Инфракрасные волоконные световоды. М.: Мир,1993. 272 с.
4. Коровин Н.В. Общая химия. Учебное пособие для технических направлений и спец. вузов. М.: Высш. шк., 2000.-558 с.
5. Современная кристаллография: в 4-х томах. М.: Наука, 1980.
6. Г. Готтштайн. Физикохимические основы материаловедения. М.: изд-во "Бином" 2009 г.
7. Дж. Хонеркамп. Статистические методы в физике и технике. М.: изд-во "Бином" 2009 г.

**Дополнительная литература:**

1. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа,1976. 447 с.

2. Рябцев Н.Г. Материалы квантовой электроники. М.: Советское радио,1972. 384 с.

3. Г. Готтштайн. Физико-химические основы материаловедения. М.: изд-во "Бином" 2009 г.

4. Дж. Хонеркамп. Статистические методы в физике и технике. М.: изд-во "Бином" 2009 г.

**АННОТАЦИЯ**

**рабочей программы дисциплины Б1.В.ОД.3 «Выращивание кристаллов»**

**Объем трудоемкости:** 3 зачетных единицы (108 часов, из них – 54 аудиторных, 54 час – самостоятельная работа).

**Цель дисциплины**:

Учебная дисциплина "Выращивание кристаллов" ставит своей целью изучение особенностей конкретных технологий и установок, оборудования для роста кристаллов, варки стекол, технологического оборудования для получения кристаллических и аморфных соединений и элементами работы на них. В задачу учебной дисциплины входит также ознакомление с основными принципами термодинамического и кристаллохимического методов исследования процессов кристаллизации и кристаллофизического изучения свойств монокристаллов.

**Задачи дисциплины:**

Основные задачи дисциплины – обучение магистрантов методам расчета и анализа оптических спектров примесных ионов в конденсированных средах, а также ознакомление с современным состоянием проблемы.

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из атомной физики, квантовой механики, теории симметрии, в том числе теории дискретных и непрерывных групп.

**Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Курс «Выращивание кристаллов» читается на 1 и 2 курсе. Необходимыми предпосылками для успешного освоения курса является следующее.

В цикле общефизических дисциплин необходимыми предпосылками являются знание основ кристаллографии, кристаллохимии, кристаллофизики, квантовой электроники и физики конденсированного состояния.

В свою очередь, разделы «Выращивание кристаллов» составляют необходимую основу для успешного изучения физики конденсированного состояния вещества и сплошных сред, а также квантовой механики.

**Требования к уровню освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);

способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части) | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **знать** | **уметь** | **владеть** |
| 1. | УК - 5 |  | основные законы, идеи и принципы, лежащие в основе получения конденсированных сред, их экспериментальное исследование и практическое использование | осмысливать и интерпретировать основные положения получения конденсированных сред, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники | современными научными методами выращивания кристаллов |
| 2. | ОК-1 |  | основные законы, идеи и принципы, лежащие в основе получения конденсированных сред, их экспериментальное исследование и практическое использование | осмысливать и интерпретировать основные положения получения конденсированных сред, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники | приобрести навыки применения полученных теоретических знаний для решения прикладных задач |

**Основные разделы дисциплины:**

| № раздела | Наименование разделов | Количество часов | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего | Аудиторная  работа | | | Самостоятельная работа |
| Л | ПЗ | ЛР |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | Введение в учение о фазовых равновесиях и рост кристаллов | 4 | 2 | 2 |  | 4 |
|  | Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах | 8 | 4 | 4 |  | 8 |
|  | Рост кристаллов и синтез стекол и ситаллов | 20 | 4 | 4 | 12 | 20 |
|  | Элементы современной кристаллохимии | 4 | 2 | 2 |  | 4 |
|  | Программный комплекс TOPOS | 14 | 4 | 4 | 6 | 14 |
|  | Кристаллофизика и современная кристаллохимия | 4 | 2 | 2 |  | 4 |
|  | *Итого:* | 54 | 18 | 18 | 18 | 54 |

**Курсовые работы**: *не предусмотрены*

**Форма проведения аттестации по дисциплине:** *зачет, экзамен, экзамен*

**Основная литература:**

1. Дж. Шелби. Структура, свойства и технология стекла. М. Мир. 2009.

2. Аппен А. Химия стекла. Л. Химия. 1974.

3. Аванесов А.Г., Исаев В.А., Лебедев В.А., Строганова Е.В. Рост кристаллов. Методы выращивания и свойства кристаллов: Учебное пособие. Краснодар: Кубан. гос. ун-т. 2005.

4. Демтредер В. Лазерная спектроскопия. М. Наука. 1986

**Дополнительная литература:**

1. Markov I. Crystal growth for beginners: fundamentals of nucleation, crystal growth, and epitaxy. World Scientific Publishing Company. 2003.

2. Харрисон У. Электронная структура и свойства твердых тел. В 2т. Физика химических связей. М. Мир. 1983.

3. Б. К. Вайнштейн, В. М. Фридкин, В. Л. Инденбом. Современная кристаллография. М. Наука. 2004.

4. K. Byrappa, T. Ohachi. Crystal Growth Technology. Springer. 2005.

Указанная основная литература имеется в библиотеке КубГУ в достаточном количестве.

**Аннотация**

**рабочей программы дисциплины Б1.И.ОД.5 Спектроскопия кристаллов**

**Объем трудоемкости:** 3 зачетных единицы (108 часов, из них – 72 аудиторных, 36 часов – самостоятельная работа аспирантов). Контролируемая самостоятельная работа не предусмотрена.

**1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Учебная дисциплина ставит своей целью изучение свойств конденсированных сред спектроскопическими методами. Изучаются механизмы формирования оптических центров, схемы расщепления и структура уровней для примесных ионов переходных металлов и редкоземельных элементов.

Основные задачи дисциплины – обучение магистрантов методам расчета и анализа оптических спектров примесных ионов в конденсированных средах, а также ознакомление с современным состоянием проблемы.

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из атомной физики, квантовой механики, теории симметрии, в том числе теории дискретных и непрерывных групп.

**2.** **В результате обучения дисциплины аспирант должен**

**знать:**

– основные законы, идеи и принципы спектроскопии конденсированных сред, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование;

**иметь:**

– четкие представления о современных научных концепциях спектроскопии конденсированных сред;

– навыки применения полученных теоретических знаний для решения прикладных задач;

**уметь:**

– осмысливать и интерпретировать основные положения спектроскопии конденсированных сред, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники.

**Формируемые компетенции**

– способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

– готовность выбирать, осваивать и совершенствовать методы выращивания и исследования кристаллов (ПК-1);

– владеть теоретическими и экспериментальными методами исследования природы кристаллических и аморфных веществ в твердом и жидком состояниях и изменения их свойств при различных внешних воздействиях (ПК-2).

**3.Краткое содержание дисциплины (перечисляются основные темы/разделы):**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  раздела | Наименование  раздела | Содержание раздела |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Основы атомной спектроскопии | Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии. Оператор углового момента. Операторы повышения и понижения. Квантовые числа. Водородоподобные атомы. Спин-орбитальное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. LS- и JJ-связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных электронов. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия |
| 2 | Теория симметрии | Операторы симметрии. Точечная группа. Порядок группы. Классы группы. Таблица умножения группы. Базис группы. Представления, их характеры. Неприводимые и приводимые представления. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии. Группы октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные представления. Прямое произведение представлений. Двойные группы и двузначные представления. Углы Эйлера. |
| 3 | Теория кристаллического поля | Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функции из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле. Сила кристаллического поля. Поле в октаэдре, кубе, тетраэдре. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого поля. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа |
| 4 | Электронно-колебательное взаимодействие | Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона. Приближение Кондона. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера. |
| 5 | Эффекты Яна-Теллера | Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Ян-теллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции. |
| 6 | Люминесценция примесных ионов в кристаллах | Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы. |
| 7 | Спектроскопия редкоземельных атомов в кристаллах | Различные зарядовые состояния редкоземельных (РЗ) атомов в кристаллах. f-f и f-d переходы. Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера. |
| 8 | Спектроскопия во внешних полях | Симметрийный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм. Эффект Штарка для центросимметричных и нецентросимметричных примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект. |
| 9 | Центры окраски в щелочногалоидных кристаллах | Простейшие электронные центры окраски. F-центр, его спектры поглощения и излучения. Водородоподобная модель, электрон в ящике. M-, R- и N-центры. F'-центр. Возмущенные центры окраски в щелочногалоидных кристаллах. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A)-центров. Дырочные центры окраски. Н-центры. Ртутеподобные ионы в щелочно-галоидных кристаллах. |

**4. Образовательные технологии**

При реализации учебной работы по освоению курса «Спектроскопия конденсированных сред» используются современные образовательные технологии:

информационно-коммуникационные технологии;

проектные методы обучения;

исследовательские методы в обучении;

проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: метод проектов, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

**ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН**

1. Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии.

2. Оператор углового момента. Операторы повышения и понижения. Квантовые числа.

3. Спин-орбитальное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. LS- и JJ-связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных электронов.

4. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия.

5. Операторы симметрии. Точечная группа. Порядок группы. Классы группы. Таблица умножения группы. Базис группы.

6. Представления, их характеры. Неприводимые и приводимые представления.

7. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии. Группы октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные представления.

8. Прямое произведение представлений. Двойные группы и двузначные представления.

9. Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функции из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле.

10. Сила кристаллического поля. Поле в октаэре, кубе, тетраэдре.

11. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого поля.

12. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано. Спектры примесных атомов группы железа.

13. Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона. Приближение Кондона.

14. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивносей в электронно-колебательной полосе.

15. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера.

16. Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала.

17. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Ян-теллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции.

18. Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность.

19. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии.

20. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы.

21. Различные зарядовые состояния редкоземельных (РЗ) атомов в кристаллах. f-f и f-d переходы. Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов.

22. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера.

23. Симметрийный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм.

24. Эффект Штарка для центросимметричных и нецентросимметричных примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект.

25. Простейшие электронные центры окраски. F-центр, его спектры поглощения и излучения. Водородоподобная модель, электрон в ящике. M-, R- и N-центры. F'-центр. Возмущенные центры окраски в щелочногалоидных кристаллах.

26. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A)-центров. Дырочные центры окраски. Н-центры. Ртутеподобные ионы в щелочно-галоидных кристаллах.

**5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

Основная литература:

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. В 3-х частях. Издательство: [Либроком](http://www.ozon.ru/context/detail/id/4006831/), 2009 г.

2. Беккер Ю. Спектроскопия. М., Издательство "Техносфера", 2009 г.

3. Барсуков В.И. Атомный спектральный анализ. М., изд-во "Машиностроение", 2005 г.

4. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М., изд-во МГУ, 2005 г.

Дополнительная литература:

1. Вигнер Е. Теория групп и ее приложения к квантовомеханической теории атомных спектров. М., Изд-во "Иностранная литература", 1961, 442 стр.

2. Ван-дер-Варден Б.Л. Метод теории групп в квантовой механике. Ижевск, издательский дом "Удмуртский университетет", 1999, 232 стр.

3. Вонсовский С.В., Грум-Гржимайло С.В., Черепанов В.И., и др. Теория кристаллического поля и оптические спектры примесных ионов с незаполненной d-оболочкой. М., "Наука", 1969, 180 стр.

4. Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента. Ленинград, "Наука", 1975, 440 стр.

5. Галанин М.Д. Люминесценция молекул и кристаллов. М.: "Наука", 1999 г.

6. Осадько И.С. Селективная спектроскопия одиночных молекул. М., изд-во "Физматлит", 2000 г.

7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая Механика. М., "Физматлит", 2001, 768 стр.

8. . Кондон Е., Шортли Г. Введение в теорию атомных спектров. М. Изд-во "Иностранная литература", 1949, 622 стр.

9. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. М., ГИФМЛ, 1963, 640 стр.

10. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М., "Физматгиз", 1963, 640 стр.

11. Вайнштейн Л.А. Атомная спектроскопия (спектры атомов и молекул). М., изд-во МИФИ, 1991, 76 стр.

**Аннотация**

**рабочей программы дисциплины Б1.В.ДВ.1 Физика полупроводников**

Курс 2 Семестр 3 Количество часов 144

**Цель дисциплины**

Целью освоения дисциплины является изучение теоретических и методологических основ физики полупроводников.

**Задачи дисциплины**

Основные задачи дисциплины:

- изучить взаимосвязь структурных, электрофизических, оптических и рекомбинационных свойств полупроводников;

- изучить классификацию дефектов в полупроводниках;

- изучить электронные свойства полупроводников;

- изучить свойства n-p, гетеропереходов, барьеров металл-полупроводник.

**Место дисциплины в структуре ФГОС ВО**

Дисциплина «Физика полупроводников» по направлению является дисциплиной по выбору аспирантуры направления 01.04.07 – "Физика конденсированного состояния" относится к учебному циклу блок 1.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с дисциплинами «Физика», «Математика», «Физика конденсированного состояния». Для освоения данной дисциплины необходимо владеть методами математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, решением алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений; теории функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики, дискретной математики; знать основные физические законы; уметь применять математические методы и физические законы для решения практических задач.

**Результат обучения**

В результате изучения дисциплины аспиранты должны:

знать:

- фундаментальные основы полупроводниковой наноэлектроники;

уметь:

- применять современные методы исследования для анализа полупроводниковых наноструктур.

**Содержание и структура дисциплины**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  раз-  дела | Тема | Содержание раздела |
| 1 | Структура полупроводников. | Удельное сопротивление металлов, полупроводников и диэлектриков. Ковалентные связи в полупроводниках. Гетеровалентные связи в полупроводниках. Зона проводимости, зона запрещенных энергий, валентная зона. Электроны и дырки в полупроводниках. |
| 2 | Примеси в полупроводниках. | Донорные примеси в полупроводниках. Акцепторные примеси в полупроводниках. Мелкие и глубокие примесные уровни. |
| 3 | Кинетические свойства полупроводников. | Средняя длина и среднее время свободного пробега. Гидродинамическая модель транспорта носителей заряда. Подвижность электронов и дырок в полупроводниках. Уравнения переноса электронов и дырок в полупроводниках. |
| 4 | Квантовая теория полупроводников. | Уравнение Шредингера для кристалла в общем виде. Уравнение Шредингера для кристалла в адиабатическом приближении. Уравнение Шредингера для кристалла в валентном приближении. Уравнение Шредингера для кристалла в одноэлектронном приближении. Периодичность потенциала самосогласованного поля в кристалле. Функция Блоха. Приближение слабо связанных электронов. Приближение сильно связанных электронов. Обменный интеграл и интеграл перекрытия. Образование энергетической зоны из энергетического уровня изолированного атома. Энергия электрона в поле простой кубической решетки в приближении сильно связанных электронов. |
| 5 | Волновые функции электронных состояний. | Граничные условия Борна-Кармана. Значения компонент волнового вектора электрона в кристалле. Число различных энергетических состояний в разрешенной зоне кристалла. Связь между импульсом и длиной волны свободного электрона, волновое число. Квазиимпульс электрона в периодическом поле кристалла. Четность энергетического спектра электрона в кристалле. Обоснование существования зоны запрещенных энергий на основе приближения сильно связанных электронов. |
| 6 | Эффективная масса электронов, дырок. | Эффективная масса электронов. Эффективная масса дырок. Циклотронный резонанс. Экспериментальное определение эффективной массы электрона (дырки) методом циклотронного резонанса. |
| 7 | Зонная структура полупроводников. | Зонная структура кремния. Зонная структура германия. Зонная структура прямозонных полупроводников (GaAs). |
| 8 | Квантовая теория примесных состояниц. | Водородоподобная модель примесных состояний. Расчет энергии и радиуса орбиты электрона «мелкого» донорного уровня в германии. «Глубокие» электронные уровне уровни примесей. |
| 9 | Статистика электронов и дырок. | Плотность квантовых состояний при параболической зависимости энергии электронов. Плотность квантовых состояний в окрестности дна зоны проводимости кремния. Плотность квантовых состояний в окрестности дна зоны проводимости германия. Плотность квантовых состояний в окрестности вершины валентной зоны кремния. Плотность квантовых состояний в окрестности вершины валентной зоны германия. Концентрация электронов в окрестности дна зоны проводимости. Концентрация дырок в окрестности вершины валентной зоны. |
| 10 | Рекомбинация носителей заряда. | Излучательная рекомбинация неравновесных носителей заряда. Рекомбинация неравновесных носителей заряда через примесные центры. Оже рекомбинация неравновесных носителей заряда. Рекомбинация в случае низкой концентрации неравновесных носителей заряда. |
| 11 | Оптические переходы в полупроводниках. | Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках (разрешенные оптические переходы)(резрешенные ренос модель ВАХ. носителей заряда в полуроводниковой структуре с. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках (запрещенные оптические переходы). Собственное поглощение в непрямозонных полупроводниках. |
| 12 | Границы раздела в полупроводниках. | N-P переходы в полупроводниках. Гетеропереходы в полупроводниках. Энергетическая диаграмма структуры с n-p переходом. Уравнения, описывающие транспорт носителей заряда в полупроводниковой структуре с n-p переходом в случае слабой инжекции. Эквивалентная схема полупроводниковой структуры с n-p переходом, 4-х параметрическая модель ВАХ. Физические явления, влияющие на перенос носителей заряда в полупроводниковой структуре с n-p переходом, 5-ти параметрическая модель ВАХ. Механизмы пробоя n-p перехода. Вольтамперная характеристика освещенного n-p перехода. Размерные эффекты. |

**Распределение времени по разделам и видам занятий**

| №  раз-  дела | Наименование разделов | Количество часов | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего | Аудиторная  работа | | | Самостоятельная работа |
| Тема |
| Л | ЛР | ПЗ |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Структура полупроводников. | 10 | - | - |  | 10 |
| 2 | Примеси в полупроводниках. | 8 | 1 |  |  | 7 |
| 3 | Кинетические свойства полупроводников. | 8 | 1 |  |  | 7 |
| 4 | Квантовая теория полупроводников. | 10 | 1 |  |  | 9 |
| 5 | Волновые функции электронных состояний. | 8 | 1 |  |  | 7 |
| 6 | Эффективная масса электронов, дырок. | 10 | - |  |  | 10 |
| 7 | Зонная структура полупроводников. | 8 | - |  |  | 8 |
| 8 | Квантовая теория примесных состояниц. | 8 | 2 |  |  | 6 |
| 9 | Статистика электронов и дырок. | 18 | - | 2 |  | 16 |
| 10 | Рекомбинация носителей заряда. | 18 | 2 | 2 |  | 16 |
| 11 | Оптические переходы в полупроводниках. | 16 | - | 2 |  | 14 |
| 12 | Границы раздела в полупроводниках. | 18 | - | 6 |  | 12 |
|  | *Итого:* | 144 | 8 | 12 |  | 97 |

**Интерактивные образовательные технологии**: технология развития критического мышления, лекции с проблемным изложением, использование средств мультимедиа, технология моделирования или информационно-логического проектирования.

**Вид аттестации**: экзамен

**Основная литература**

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010. 400 с.
2. Драгунов, Валерий Павлович., Неизвестный, И. Г., Гридчин, В. А. Основы наноэлектроники :: учебное пособие для студентов вузов / /В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. -М.: Логос , 2006.
3. Рамбиди, Николай Георгиевич Структура и свойства наноразмерных образований : реалии сегодняшней нанотехнологии : [учебное пособие] /Н. Г. Рамбиди -Долгопрудный : Интеллект, 2011.
4. Пасынков, Владимир Васильевич., Чиркин, Л. К. Полупроводниковые приборы :: учебное пособие для студентов вузов / /В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. 8-е изд., испр. -СПб. [и др.]: Лань , 2006.
5. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009. 336 с.
6. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008. 488 с.
7. Пасынков, Владимир Васильевич., Чиркин, Л. К. Полупроводниковые приборы :: учебное пособие для студентов вузов / /В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. 8-е изд., испр. -СПб. [и др.]: Лань , 2006.
8. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009. 336 с.
9. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008. 488 с.

**АННОТАЦИЯ**

дисциплины Б1.В.ДВ.1 «Строение и свойства кристаллов»

**Объем трудоемкости:** 4 зачетных единицы (144 часов, из них – 20 аудиторных, 97 часа – самостоятельная работа)

**Цель дисциплины**:

Преподавание курса «Строение и свойства кристаллов» ставит своей целью раскрыть с современных позиций представления о природе химической связи, выяснить взаимосвязь межмолекулярных сил и агрегатного состояния вещества, строение вещества в конденсированном состоянии, строение жидкого и аморфного состояния вещества. Дисциплина углубляет и систематизирует знания о взаимосвязи строения и свойств веществ, зависимости физических и химических свойств кристаллических веществ от их строения, научить обучающихся видеть области применения этих знаний при решении конкретных профессиональных задач.

**Задачи дисциплины:**

– формирование систематических знаний по основным разделам кристаллографии, кристаллохимии, кристаллофизики, необходимых для выполнения самостоятельных научных исследований и лабораторного практикума в рамках учебного курса;

– ознакомление с основными методами исследования и расчета физических характеристик твердых тел, изучение физических свойств конденсированных сред на атомно-молекулярном уровне;

– изучение экспериментальных основ определения структуры кристаллов и их физических свойств.

**Место дисциплины в структуре ООП ВО**

«Строение и свойства кристаллов» является дисциплиной по выбору аспирантуры направления 03.06.01 - "Физика и астрономия". Изучение строения и свойств кристаллов базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл бакалавриата и магистратуры.

**Требования к уровню освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: **ОПК-1, ПК-1**

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

-знать основы квантово-механических расчетов структур атомов и молекул, природу межмолекулярных взаимодействий, взаимосвязь между свойствами и структурой веществ, структуру веществ в различном агрегатном состоянии.

-уметь адаптировать знания и умения, полученные в курсе, к решению конкретных

задач, связанных с профессиональной деятельностью;

-владеть современными физико-химическими методами исследования структуры и свойств веществ и процессов, методами химических и математических расчетов, методами обработки получаемых результатов.

**Основные разделы дисциплины:**

Химическая связь. Строение молекул. Основные характеристики химической связи. Методы определения структуры молекул. Типы межмолекулярных взаимодействий и агрегатное состояние вещества. Кристаллическое состояние. Жидкое и аморфное состояние веществ. Кристаллохимия как наука. Симметрия кристалла. Основные способы описания и изображения атомного строения кристалла. Силы и энергия сцепления атомов в кристалле. Основные категории теоретической кристаллохимии. Кристаллические структуры некоторых химических соединений. Экспериментальные методы исследования кристаллов. Оптические свойства кристаллов.

**Основная литература**

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия /Издательство: Книжный дом "Университет" 2005, с. 589
2. Сонин А.С. Курс макроскопической кристаллофизики: М.: Физматлит. Учеб. пособ. 2006 год. 256 стр.
3. Вильке К.-Т. Выращивание кристаллов /Л.: Недра. 1977. 600С.
4. Дж.Най Физические свойства кристаллов/Издательство: Мир, 1967. С. 386
5. Блистанов A.A. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. М.;МИСИС. 2000. 432С.
6. Чернов А.А., Гаваргизов Е.И., Багдасаров Х.С. и др. Современная кристаллография. Т.З. М.: Наука. 1980.

**АННОТАЦИЯ**

**рабочей программы дисциплины Б1.В.ДВ.2 «Люминесценция твердых тел»**

**Объем трудоемкости:** 3 зачетных единицы (108 часов, из них – 44 аудиторных, 64 часа – самостоятельная работа),

**Цель дисциплины**:

Учебная дисциплина "Люминесценция" ставит своей целью изучение люминесцентных свойств конденсированных сред. Изучаются механизмы формирования центров люминесценции, схемы расщепления и структура уровней для примесных ионов переходных металлов и редкоземельных элементов.

**Задачи дисциплины:**

Основные задачи дисциплины – обучение магистрантов методам расчета и анализа оптических спектров примесных ионов в конденсированных средах, а также ознакомление с современным состоянием проблемы.

Для успешного овладения материалом курса необходимы знания из атомной физики, квантовой механики, теории симметрии, в том числе теории дискретных и непрерывных групп.

**Место дисциплины в структуре ООП ВО**

«Люминесценция» является дисциплиной по выбору аспирантуры направления 03.06.01 - "Физика и астрономия". Изучение люминесцентных свойств конденсированных сред базируется на знаниях магистрантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей физики.

**Требования к уровню освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части) | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **знать** | **уметь** | **владеть** |
| 1. | ПК-1 | готовность осваивать и совершенствовать методы выращивания кристаллов | основные законы, идеи и принципы, лежащие в основе явления люминесценции конденсированных сред, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование | осмысливать и интерпретировать основные положения люминесценции конденсированных сред, оценивать порядки физических величин, использовать полученные знания в различных областях физической науки и техники | современными научными концепциями дисциплины "Люминесценция" |
| 2. | ПК-2 | способность теоретически или экспериментально исследовать природу кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях | основные законы, идеи и принципы, лежащие в основе явления люминесценции конденсированных сред, их становление и развитие в исторической последовательности, их математическое описание, их экспериментальное исследование и практическое использование |  | приобрести навыки применения полученных теоретических знаний для решения прикладных задач |

**Основные разделы дисциплины:**

| № раздела | Наименование разделов | Количество часов | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего | Аудиторная  работа | | | Самостоятельная работа |
| Л | ПЗ | ЛР |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | **Основы атомной спектроскопии**.  Атом водорода. Волновые функции и уровни энергии. Оператор углового момента. Операторы повышения и понижения. Квантовые числа. Водородоподобные атомы. Спин-орбитальное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. *LS*- и *JJ*- связь. Эквивалентные электроны. Волновые функции конфигурации эквивалентных электронов. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Параметры электростатического взаимодействия |  | 2 | 2 | – | 6 |
|  | **Основные представления теории групп.**  Операторы симметрии. Точечная группа. Порядок группы. Классы группы. Таблица умножения группы. Базис группы. Представления, их характеры. Неприводимые и приводимые представления. Точечные группы высокой, средней и низкой симметрии. Группы октаэдра и тетраэдра. Четные и нечетные представления. Прямое произведение представлений. Двойные группы и двузначные представления. Углы Эйлера. |  | 2 | 3 | – | 8 |
|  | **Теория кристаллического поля.**  Кристаллическое поле. Слабое и сильное поле. Построение волновых функции из соображений симметрии. d-электрон в кубическом поле. Сила кристаллического поля. Поле в октаэре, кубе, тетраэдре. Многоэлектронные атомы; их волновые функции в приближении сильного и слабого поля. Спин-орбитальное взаимодействие в кристаллическом поле. Диаграммы Танабе-Сугано и изломы на них. Спектры примесных атомов группы железа. |  | 2 | 3 | – | 6 |
|  | **Электронно-колебательное взаимодействие.**  Адиабатическое приближение. Борн-Оппенгеймеровская запись волновой функции электронов и ядер. Классический, полуклассический и квантовый принцип Франка-Кондона.  Приближение Кондона. Квазилинейчатые электронно-колебательные спектры примесных атомов. Бесфононные линии. Распределение интенсивностей в электронно-колебательной полосе. Локальные, квазилокальные и кристаллические колебания. Фактор Дебая-Уоллера. |  | 2 | 3 | – | 6 |
|  | **Эффекты Яна-Теллера.**  Теорема Яна-Теллера. Взаимодействие вырожденного электронного состояния с вырожденными колебаниями. Поверхности адиабатического потенциала. Статический и динамический эффекты Яна-Теллера. Роль случайных деформаций. Ян-теллеровские расщепления полос в оптических спектрах. Фактор вибронной редукции. |  | 2 | 2 | – | 6 |
|  | **Люминесценция примесных ионов в кристаллах.**  Сила осциллятора и время жизни излучательного перехода. Элементарные излучатели и их мультиплетность. Поляризованная люминесценция. Скрытая анизотропия примесных кристаллов и ее проявления в спектрах излучения. Миграция энергии. Однородная и неоднородная ширина спектральных линий, релаксационное уширение. Выжигание провалов. Безызлучательные переходы |  | 2 | 2 | – | 7 |
|  | **Спектроскопия редкоземельных ионов в кристаллах.**  Различные зарядовые состояния редкоземельных атомов в кристаллах. *f-f* и *f-d* переходы. Особенности спектров двух- и трехзарядных состояний РЗ ионов. Фотохимические превращения в кристаллах с РЗ ионами. Кооперативные процессы в ансамбле РЗ ионов. Кооперативный эффект Яна-Теллера. |  | 2 | 3 | – | 6 |
|  | **Спектроскопия во внешних полях.**  Симметрийный аспект спектроскопии во внешних полях. Эффект Зеемана и магнитный циркулярный дихроизм. Эффект Штарка для центросимметричных и нецентросимметричных примесных центров. Пьезоспектроскопический эффект. |  | 2 | 2 | – | 6 |
|  | **Центры окраски в щелочногалоидныx кристаллах.**  Движение электрона в кристалле. Полярон. Электронные процессы в щелочно-галоидных кристаллах. Взаимодействие электрона проводимости с колебаниями. Взаимодействие электронов проводимости со структурными дефектами. Простейшие электронные центры окраски. F-центр, его спектры поглощения и излучения. Водородоподобная модель, электрон в ящике. M-, R- и N-центры. F'-центр. Возмущенные центры окраски в щелочногалоидных кристаллах. F(A)-центры первого и второго типа. Переориентация F(A)- центров. Дырочные центры окраски. Н-центры. Ртутеподобные ионы в ЩГК. Автолокализация дырок. Автолокализованный экситон. Механизмы радиационного создания дефектов. Кинетика радиационного образования дефектов. Туннельная люминесценция |  | 2 | 2 | – | 6 |
|  | **Основы кинетики люминесценции кристаллофосфоров.**  Составление простейших кинетических уравнений. Разгорание люминесценции кристаллофосфоров, стационарное состояние, затухание свечения при наличии примесей. Различные механизмы взаимодействия примесных ионов: резонансное, обменное, рекомбинационное и др. Миграция и перенос энергии электронных возбуждений. Формула Ферстера-Декстера- Галанина для диполь-дипольного переноса, её обобщения. Кинетика послесвечения и выход люминесценции при переносе энергии. Уравнения детального баланса и их обобщения. Микропараметры переноса. Предельные случаи слабого и сильного некогерентного взаимодействия, сверхмиграция. Особые виды переноса: кросс-релаксационное и нелинейное взаимодействие. Суммирование и размножение электронных возбуждений редкоземельных ионов. Различные механизмы антистоксова преобразования ИК излучения в видимый свет. Миграционные и другие схемы лазеров с переносом энергии редкоземельными ионами. Фотонная лавина, возможности безинверсионного усиления оптического излучения. Современные проблемы изучения и применения редкоземельных ионов в качестве зондов упорядоченности различных систем сверхпроводников, биологически активных молекул и др. |  | 2 | 3 | – | 6 |

**АННОТАЦИЯ**

**рабочей программы дисциплины Б3.1 «Научно-исследовательская работа»**

**1. Цель.**

Цель – выполнение научных исследований на основе углубленных профессиональных знаний и написание диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Задачи НИР аспиранта:

1. Применение полученных знаний при осуществлении научных исследований в области физики конденсированного состояния.

2. Определение области научных исследований и проведение анализа состояния вопроса в исследуемой предметной области.

3. Выполнение теоретических исследований.

4. Разработка методик экспериментальных исследований.

5. Проведение экспериментальных исследований.

6. Обработка и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**2. В результате проведения научно-исследовательской работы аспирант должен:**

Аспиранты, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

- иметь представление о современном состоянии науки, основных направлениях научных исследований, приоритетных задачах; о порядке внедрения результатов научных исследований и разработок.

**Знать:**

- методы поиска литературных источников по разрабатываемой теме с целью их использования при выполнении диссертации. Патентный поиск;

- методы исследования и проведения экспериментальных работ;

- методы анализа и обработки экспериментальных данных;

- физические и математические модели процессов и явлений, относящихся к исследуемому объекту;

- информационные технологии в научных исследованиях, программные продукты, относящиеся к профессиональной сфере;

- требования к оформлению научно-технической документации.

**Владеть:**

- иметь опыт формулирования целей и задач научного исследования;

- выбора и обоснования методики исследования;

- работы с прикладными научными пакетами и редакторскими программами, используемыми при проведении научных исследований и разработок;

- оформления результатов научных исследований (оформление отчёта, написание научных статей, тезисов докладов);

- выступления с докладами и сообщениями на конференциях и семинарах;

- работы на экспериментальных установках, приборах и стендах;

- анализа, систематизации и обобщения научно-технической информации по теме исследований;

- проведения теоретического или экспериментального исследования в рамках поставленных задач, включая математический (имитационный) эксперимент;

- анализа достоверности полученных результатов;

- сравнения результатов исследования объекта разработки с отечественными и зарубежными аналогами;

- проведения анализа научной и практической значимости проводимых исследований, а также технико-экономической эффективности разработки;

- подготовки заявки на патент или на участие в гранте.

Знания и навыки, полученные аспирантами при выполнении НИР, необходимы при подготовке и написании кандидатской диссертации по специальности 01.04.07–Физика конденсированного состояния.

Формируемые компетенции

1. Краткое содержание программы:

Составление плана научно-исследовательской работы аспиранта и выполнения диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Литературный обзор по теме диссертации. Практическая часть исследований. Теоретическая часть исследований.

Обзор и анализ информации по теме диссертационного исследования. Виды информации (обзорная, справочная, реферативная, релевантная). Виды изданий (статьи в реферируемых журнала, монографии и учебники, государственные отраслевые стандарты, отчеты НИР, теоретические и технические публикации, патентная информация). Методы поиска литературы (использование библиотечных каталогов и указателей, реферативные журналы, автоматизированные средства поиска, просмотр периодической литературы).

Постановка цели и задач исследования. Объект и предмет исследования. Определение главной цели. Деление главной цели на подцели 1-го и 2-го уровня. Определение задач исследования в соответствии с поставленными целями. Построение дерева целей и задач для определения необходимых требований и ограничений (временных, материальных, энергетических, информационных и др.).

Методики проведения экспериментальных исследований. Критерии оценки эффективности исследуемого объекта (способа, процесса, устройства). Параметры, контролируемые при исследованиях. Оборудование, экспериментальные установки, приборы, аппаратура, оснастка. Условия и порядок проведения опытов. Состав опытов. Математическое планирование экспериментов. Обработка результатов исследований и их анализ.

Проведение теоретических и экспериментальных исследований. Этапы проведения эксперимента. Методы познания (сравнения, анализ, синтез, абстрагирование, аналогия, обобщение, системный подход, моделирование). Методы теоретического исследования (идеализация, формализация, аксиоматический метод, математическая гипотеза и др.).

Формулирование научной новизны и практической значимости.

Обработка экспериментальных данных. Способы обработки экспериментальных данных. Графический способ. Аналитический способ. Статистическая обработка результатов измерений.

Оформление заявки на патент (изобретение), на участие в гранте. Объект изобретения. Виды изобретений. Структура описания изобретения. Виды грантов. Структура заявки на участие в грантах.

Описание проекта (используемая методология, материалы и методы исследований; перечень мероприятий, необходимых для достижения поставленных целей; план и технология выполнения каждого мероприятия; условия, в которых будет выполняться проект; механизм реализации проекта в целом) ожидаемых результатов (научный, педагогический или иной выход проекта; публикации, которые будут сделаны в ходе выполнения проекта; возможность использования результатов проекта в других организациях, университетах, на местном и федеральном уровнях; краткосрочные и долгосрочные перспективы от использования результатов.), имеющегося научного задела.

Подготовка научной публикации. Тезисы докладов. Статья в журнале. Диссертация. Автореферат. Монография. Структура тезисов доклада, статьи, диссертации, автореферата, монографии. Выступления с докладами на научных конференциях, симпозиумах, собраниях. Публичная защита диссертации.

***Аннотация***

***рабочей программы дисциплины Б2.1 «Педагогическая практика»***

**Цели педагогической практики**

Целью педагогической практики является освоение аспирантами основ педагогической и учебно-методической работы в ФГБОУ ВПО «КубГУ», овладение педагогическими навыками проведения отдельных видов учебных занятий и подготовки учебно-методических материалов по дисциплинам кафедры физики и информационных систем.

**Задачи педагогической практики**

Основными задачами педагогической практики являются:

- приобретение опыта педагогической работы в условиях высшего учебного заведения;

- формирование основных умений владения педагогической техникой и педагогическими технологиями;

- формирование умений и навыков организации учебного процесса и анализа его результатов;

- овладение методами, приемами и средствами проведения отдельных видов учебных занятий по специальности;

- привитие навыков самообразования и самосовершенствования, содействие активизации научно-педагогической деятельности.

**Место педагогической практики в структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)**

Педагогическая практика направлена на подготовку аспирантов к преподавательской деятельности в университете. В связи этим необходимыми «входными» знаниями и умениями при освоении данной практики являются знания и умения, сформированные при изучении факультативной дисциплины «Основы педагогики и психологии высшего образования». Кроме того, необходимо знание отдельных дисциплин, преподаваемых на кафедре физики и информационных систем.

Педагогическая практика призвана обеспечить функцию связующего звена между теоретическими знаниями, полученными при усвоении университетской образовательной программы, и практической деятельностью по внедрению этих знаний в реальный учебный процесс.

**Формы проведения педагогической практики**

Педагогическая практика может проходить в виде подготовки и проведения семинарских, лекционных, практических или лабораторных занятий по дисциплинам кафедры физики и информационных систем, а также консультаций по курсовому проектированию по профилю специализации.

Аспирант может принимать зачеты и участвовать в организации письменных экзаменов совместно с руководителем (лектором) дисциплины.

Конкретное содержание практики планируется аспирантом совместно с научным руководителем кандидатской диссертационной работы, отражается в индивидуальном плане аспиранта, в котором фиксируются все виды деятельности аспиранта в течение практики.

**Место и время проведения педагогической практики**

Педагогическая практика проводится в ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет» на базе кафедры физики и информационных систем.

Продолжительность проведения практики устанавливается в соответствии с учебным планом подготовки аспирантов по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния и индивидуальным планом аспиранта и составляет 2 недель (рассредоточено) второго года обучения.

**Структура и содержание педагогической практики**

Общая трудоемкость педагогической практики составляет 3 зачетных единицы (108 часов).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Разделы (этапы) практики | Год | Неделя | Виды работы на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость  (в часах) | | | | Формы текущего и итогового контроля |
| Инструктаж по прохождению практики | Практические занятия | Самостоятельная работа | |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | 8 |
| 1. | Подготовительный этап | 2 | 8 | 2 | - | - | |  |
| 2. | Подготовка к проведению занятий по дисциплинам кафедры | 2 | 8 - 13 | - | - | 12 | Согласование с руководи-телем | |
| 3. | Проведение занятий по дисциплинам кафедры | 2 | 14 - 35 | - | 88 | - | Устный отчет руководи-телю | |
| 4. | Подготовка отчета по результатам прохождения практики | 2 | 35 | - | - | 4 |  | |
|  | Всего |  |  | 2 | 88 | 16 | Отчет, аттестация  (2 часа) | |

**Аннотация**

**рабочей программы дисциплины Б2.2 «Научно-производственная практика»**

Производственная практика является частью основной образовательной программы подготовки аспирантов по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Местом проведения практики является кафедра физики и информационных систем.

Практика проводится в течение 4 недель/2 курс, 2 недель/3 курс и 2 недель/4 курс.

Содержание практики охватывает круг вопросов, связанных с получением профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности.

Практика нацелена на формирование общепрофессиональных компетенций, профессиональных компетенций:

способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

Практика предусматривает получение профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности.

Программой практики предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме собеседования и промежуточный контроль в форме отчета.

Общая трудоемкость практики составляет 12 зачетных единиц, 432 часа.

**Аннотация программы итоговой государственной аттестации**

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

**кандидатского экзамена по специальности**

**01.04.07 "Физика конденсированного состояния"**

**по физико-математическим и техническим наукам**

**Введение**

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области.

**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 CaTiO3. 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.

**2. Симметрия твердых тел**

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.

**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.

**4. Дифракция в кристаллах**

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.

**5. Колебания решетки**

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.

**6. Тепловые свойства твердых тел**

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.

**7. 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.

**8. 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.

**9. 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.

**10. 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.

**Основная литература**

1. А.Г. Гуревич, Физика твердого тела. СП-б, Невский диалект, 2004.

2. Василевский А.С. Физика твердого тела. Москва: Дрофа, 2010 Учебное пособие для вузов. 210 стр.

3. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М., ФИЗМАТЛИТ, 2007 г., 632 с.

4. В.К. Воронов, А.В. Подоплелов. Современная физика. Конденсированные состояния. Уч. пособие. Издательство: ЛКИ, 2008. Твердый переплет. 336 с.

5. Гантмахер, В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В. Ф. Гантмахер . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Физматлит, 2005 . – 232 с. -

6. Г.Н. Елманов, А.Г. Залужный, В.И. Скрытный, Е.А.Смирнов, В.Н. Яльцев. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА. Том 1. серии ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (Учебник для вузов./Под общей ред. Б.А. Калина. МИФИ, 2007). 636 стр.

7. Плотников В.П. Физика проводников и диэлектриков. Уч. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2004 год. 80 стр.

8. Е.Ю. Перлин, Т.А. Вартанян, А.В. Федоров. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов. Учебное пособие. С.-П.: СПбГУ ИТМО.2008 год. 215 стр.

9. Основы кристаллографии: Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фаддеев — Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2006 г.- 500 с.

**Дополнительная литература**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.

Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.