

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
по научной деятельности КФУ
Проф. Нургалиев Д.К.



20/14 г.

Программа дисциплины
Б1.В.ОД.7 Физика конденсированного состояния

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль подготовки: 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Казань
2014

1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

В ходе освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» изучаются физические основы, методы, законы и модели физики конденсированного состояния и проводится подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния. По курсу предусмотрено 36 часов лекций и 72 часа самостоятельной работы. Освоение дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности.

Курс базируется на вузовской подготовке аспирантов, дополняет ее и использует знания из следующих разделов теоретической физики: электродинамика, квантовая теория, статистическая физика и термодинамика, основы квантовых вычислений.

Целями освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» являются

- изучение физических основ, методов, законов и моделей физики конденсированного состояния;
- приобретение навыков использования знаний физики конденсированного состояния в профессиональной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

Данная учебная дисциплина включена в раздел «Б1.В.ОД Обязательные дисциплины» основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Осваивается на 3 году обучения, 5 семестр.

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке аспирантов в областях «Оптика», «Электродинамика», «Квантовая теория», «Статистическая физика и термодинамика», «Физика конденсированного состояния»

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен:

1. знать:

- особенности квантово-механического описания квазичастичных возбуждений в конденсированных средах, основные термодинамические и кинетические характеристики, модели коллективных и связанных состояний и их возбуждений в твердых телах, современные направления исследований по физике конденсированного состояния;

2. уметь:

- применять современные методы теории конденсированного состояния к решению задач, уметь выделить конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей деятельности и формулировать задачи, использовать полученные знания при решении профессиональных задач, связанных со свойствами конденсированного состояния;

3. владеть:

- навыками работы с научной литературой и интернетом, системным научным анализом проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности, навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой проведения физического эксперимента;

4. демонстрировать способность и готовность:

- применять на практике базовые профессиональные знания теории и методов физических исследований, использовать современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации, понимать и излагать получаемую информацию и

представлять результаты физических исследований;

применять результаты освоения дисциплины в профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции | Расшифровка приобретаемой компетенции |
|-------------------------|--|
| 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; |
| УК-3 | готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач |
| УК-5 | способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития |
| ОПК-1 | способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области физики конденсированного состояния с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |
| ОПК-2 | готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования |
| ПК-1 | способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики конденсированного состояния и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта |
| ПК-2 | способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики конденсированного состояния |
| ПК-3 | способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции |

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ/МОДУЛЯ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

| № | Раздел Дисциплины/ Модуля | Семестр | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самост. работа |
|----------|----------------------------------|----------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1. | Тема 1. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 2. | Тема 2. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 3. | Тема 3. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 4. | Тема 4. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 5. | Тема 5. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |

| № | Раздел Дисциплины/ Модуля | Семестр | Лекции | Практические занятия | Лабораторные работы | Самост. работа |
|-----|---|---------|--------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| 6. | Тема 6. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 7. | Тема 7. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 8. | Тема 8. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 9. | Тема 9. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 10. | Тема 10. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 11. | Тема 11. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 12. | Тема 12. | 5 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| | Подготовка к кандидатскому экзамену | 5 | 0 | - | - | 36 |
| | Итого | | 36 | 0 | 0 | 72 |

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Силы связи в твердых телах

лекционное занятие (3 часа):

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. Графен.

Тема 2. Симметрия твердых тел

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 3. Дефекты в твердых телах

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 4. Дифракция в кристаллах

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 5. Колебания решетки

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 6. Тепловые свойства твердых тел

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 7. Электронные свойства твердых тел

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 8. Магнитные свойства твердых тел

лекционное занятие (3 часа):

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. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Ферромагнитный резонанс.

Тема 9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 10. Сверхпроводимость

лекционное занятие (3 часа):

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.

Тема 11. Металлы и сплавы, расплавы, границы жидкость-твердое тело

лекционное занятие (3 часа):

Равновесие в системе металл-расплав. Зародышеобразование. Переохлаждение жидкостей. Условия равновесия на поверхности раздела жидкость-твердое тело, нормальное затвердевание, критический радиус зародыша, модели теории образования зародышей. Перераспределение примесей при затвердевании. Оттеснение примеси. Зонное рафинирование. Конституционное переохлаждение. Поверхности раздела твердое тело-газ и твердое тело-жидкость. Поверхностные явления и равновесная форма кристаллов.

Тема 12. Поверхности, низкоразмерные системы, тонкие пленки

лекционное занятие (3 часа):

Двумерный электронный и дырочный газ. Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле. Контакт металл-полупроводник, гомопереходы, гетеропереходы. Механизмы роста пленок. Эпитаксия. Зародышеобразование. Особенности физических процессов в тонких пленках. Методы исследования поверхности. Дифракция медленных электронов. Фотоэлектронная и Оже-электронная спектроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Электрофизические методы.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции (использование проблемных ситуаций), практические занятия на которых аспиранты выступают с презентациями по теме данного практического занятия (у каждого аспиранта индивидуальная тема для презентации), самостоятельная работа аспиранта (подготовка презентаций для практических занятий, подготовка к устному опросу), консультации. Выступления с презентациями по теме самостоятельной работы (у каждого аспиранта индивидуальная тема для презентации) осуществляются с применением современных средств (PowerPoint, Adobe Acrobat, Beamer и др.).

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Тема 1. Силы связи в твердых телах

Презентация, примерные вопросы:

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.

Презентация, примерные вопросы:

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. Графен.

Тема 2. Симметрия твердых тел

Презентация, примерные вопросы:

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.

Презентация, примерные вопросы:

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.

Тема 3. Дефекты в твердых телах

Презентация, примерные вопросы:

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Презентация, примерные вопросы:

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Тема 4. Дифракция в кристаллах

Презентация, примерные вопросы:

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Презентация, примерные вопросы:

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Тема 5. Колебания решетки

Презентация, примерные вопросы:

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн.

Презентация, примерные вопросы:
Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Тема 6. Тепловые свойства твердых тел

Презентация, примерные вопросы:

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.

Презентация, примерные вопросы:

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.

Тема 7. Электронные свойства твердых тел

Презентация, примерные вопросы:

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.

Презентация, примерные вопросы:

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.

Тема 8. Магнитные свойства твердых тел

Презентация, примерные вопросы:

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).

Презентация, примерные вопросы:

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. Ферромагнитный резонанс.

Тема 9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Презентация, примерные вопросы:

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой).

Презентация, примерные вопросы:...

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.

Тема 10. Сверхпроводимость

Презентация, примерные вопросы:

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.

Презентация, примерные вопросы:

Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Тема 11. Металлы и сплавы, расплавы, границы жидкость-твердое тело

Презентация, примерные вопросы:

Равновесие в системе металл-расплав. Зародышеобразование. Переохлаждение жидкостей. Условия равновесия на поверхности раздела жидкость-твердое тело, нормальное затвердевание, критический радиус зародыша, модели теории образования зародышей.

Презентация, примерные вопросы:

Перераспределение примесей при затвердевании. Оттеснение примеси. Зонное рафинирование. Конституционное переохлаждение. Поверхности раздела твердое тело-газ и твердое тело-жидкость. Поверхностные явления и равновесная форма кристаллов.

Тема 12. Поверхности, низкоразмерные системы, тонкие пленки

Презентация, примерные вопросы:

Поверхности раздела твердое тело-газ и твердое тело-жидкость. Поверхностные явления и равновесная форма кристаллов. Двумерный электронный и дырочный газ. Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле. Контакт металл-полупроводник, гомопереходы, гетеропереходы.

Презентация, примерные вопросы:

Механизмы роста пленок. Эпитаксия. Зародышеобразование. Особенности физических процессов в тонких пленках. Методы исследования поверхности. Дифракция медленных электронов. Фотоэлектронная и Оже-электронная спектроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Электрофизические методы.

Итоговая форма контроля Экзамен

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

7.1. Регламент дисциплины:

Лекционный курс охватывает широкий круг вопросов современной физики конденсированного состояния. Самостоятельная работа нацелена на закрепление пройденного материала и рассмотрение дополнительных вопросов тем лекционного курса. Для лучшего освоения лекционного материала аспиранты готовят презентации по индивидуальным темам и докладывают их на практических занятиях. Для докладов по этим презентациям используются современные технические возможности и современные программные презентационные средства (PowerPoint, Acrobat, OpenOffice, LaTeX (beamer)). Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации.

7.2. Оценочные средства текущего контроля:

Примерные темы для подготовки презентаций

Основные свойства ковалентной связи, структура веществ с ковалентными связями. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита, графен. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний, фононы. Электрон-фононное взаимодействие, 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. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов, закон дисперсии. Приближение почти свободных электронов, брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами, поверхность Ферми. Металлы, диэлектрики, полупроводники и полуметаллы. Антиферромагнетики, температура Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики, магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Ферромагнитный резонанс. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель. Перераспределение примесей при затвердевании. Оттеснение примеси, зонное рафинирование. Конституционное переохлаждение. Поверхности раздела твердое тело-газ и твердое тело-жидкость. Поверхностные явления и равновесная форма кристаллов. Механизмы роста пленок, эпитаксия, зародышеобразование. Особенности физических процессов в тонких пленках. Методы исследования поверхности: дифракция медленных электронов, фотоэлектронная и Оже-электронная спектроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия.

7.3. Примерные вопросы к экзамену

(полный список вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине приведен в Приложении 1, каждый аспирант также должен утвердить на Ученом совете Института

Физики дополнительную программу со списком вопросов по теме своего диссертационного исследования (образец дополнительной программы в Приложении 2))

1. Эффект Холла в металлах и полупроводниках. Постоянная Холла.
2. Сверхтекучесть.
3. Полупроводники с точки зрения зонной теории твердых тел. Собственная проводимость полупроводника (беспримесный полупроводник).
4. Ферромагнетизм в приближении молекулярного поля.
5. Электропроводность полупроводников. Подвижность носителей электричества.
6. Ферромагнетизм. Спиновые волны - магноны.
7. Примеси и их влияние на свойства полупроводников. Доноры и акцепторы. Закон действующих масс. Полупроводники n-типа и p-типа.
8. Антиферромагнетизм в приближении молекулярного поля.
9. Контактные явления в полупроводниках. Контакт Шоттки. Омический контакт.
10. Энергия спиновых волн при низких температурах.
11. Контактные явления в полупроводниках. P-n переход. Ток генерации и ток рекомбинации. Вольтамперная характеристика p-n перехода.
12. Статистика магнонов. Спиновые волны. Намагниченность ферромагнетика при низких температурах.
13. Биполярный транзистор. Полевой транзистор.
14. Теплоемкость сверхпроводников. Изотопный эффект.
15. Электроны в периодическом электрическом поле кристалла. Общие свойства волновых функций. Граничные условия.
16. Взаимодействие электронов через поле виртуальных фононов. Куперовские пары. Основы теории Б.К.Ш.. Ферми-газ. Бозе-конденсат.
17. Функции Блоха. Уравнения движения для Блоховских функций. Следствия.
18. Квантование магнитного потока. Эффекты Джозефсона.
19. Сверхпроводимость неметаллических соединений.
20. Распределение значений волнового вектора в обратном пространстве.
21. Электроны в периодическом электрическом поле кристалла. Приближение сильной связи. Нижние уровни энергии.
22. Кристаллическая решетка. Примитивная элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца.
23. Электроны в электрическом поле кристалла. Приближение слабой связи электронов с остовом.
24. Обратная решетка и ее свойства. Зоны Бриллюэна.
25. Нормальные колебания одномерной решетки.
26. Классификация твердых тел по их электрическим свойствам на основе зонной теории.
27. Нормальные колебания одномерной периодической структуры с базисом (двухатомная цепочка). Акустическая и оптическая колебательные ветви.
28. Распределение Ферми. Энергия Ферми. Общие свойства функции распределения Ферми.
29. Колебания трехмерной периодической структуры с базисом. Граничные условия Борна-Кармана.
30. Полупроводники. Электропроводность полупроводников, закон действующих масс.
31. Квантовая теория гармонического кристалла. Фононы.
32. Температурная зависимость энергии Ферми для сильно вырожденного электронного газа.
33. Статистика фононов. Выражение для энергии колебаний кристалла (энергия поля

- фононов).
34. Энергия Ферми для случая простейшего закона дисперсии. Приближение эффективной массы.
 35. Фононная теплоемкость кристалла при высоких температурах. Закон Дюлонга и Пти.
 36. Классификация твердых тел по их магнитным свойствам.
 37. Фононная теплоемкость кристаллов. Низкотемпературное приближение.
 38. Ларморовский диамагнетизм твердых тел.
 39. Теплоемкость металлов.
 40. Дебаевская модель колебательного спектра кристалла. Распределение осцилляторов решетки по частотам.
 41. Высокотемпературные сверхпроводники.
 42. Теплоемкость кристалла на основе Дебаевской модели колебательного спектра кристалла.
 43. Квантовая теория парамагнетизма.
 44. Теплоемкость, обусловленная примесью атомов с низколежащими уровнями энергии (парамагнитные примеси).
 45. Магнитное упорядочение. Доменная структура. Стенки Блоха.
 46. Эффекты ангармонизма. Тепловое расширение твердых тел.
 47. Электрические и оптические свойства жидких кристаллов.
 48. Фотопроводимость полупроводников. Экситоны Ванье-Мотта, экситоны Френкеля.
 49. Сегнетоэлектрики. Особенности сегнетоэлектрического фазового перехода.
 50. Светодиоды. Полупроводниковый лазер.

7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств

| Индекс компетенции | Расшифровка компетенции | Показатель формирования компетенции для данной дисциплины | Оценочное средство |
|--------------------|--|---|--|
| 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; | Умение сформулировать основные проблемы физики конденсированного состояния в приложении к собственной работе. | Вводная или обзорная часть представленной презентации. Ответы на вопросы экзамена по конкретному материалу. |
| УК-3 | готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач | Умение четко сформулировать задачи, возникающие при решении поставленной задачи | Часть презентации, посвящённая постановке задачи. |
| УК-5 | способность | Умение находить | Экзаменационные |

| | | | |
|-------|---|---|--|
| | планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития | правильный и доступный инструментарий для решения задачи | вопросы. Презентации |
| ОПК-1 | способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области спектроскопического эксперимента с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | Умение решать задачи и проблемы в своей деятельности, находить полезную информацию (современные обзоры, работы по данной тематике, решения аналогичных задач в других областях и т.д.) в сети Интернет. | Часть презентации, посвященная методам и моделям физики конденсированного состояния. |
| ОПК-2 | готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования | Готовность к преподавательской деятельности по программе специальной дисциплины | Экзаменационные вопросы. |
| ПК-1 | способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики конденсированного состояния и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта | Умение самостоятельно ставить задачи конкретные задачи в своей области научных исследований | Часть презентации, посвящённая постановке задачи. |
| ПК-2 | способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области физики конденсированного состояния | Умение принимать участие в разработке новых подходов в научных исследованиях в своей области | Подготовка и проведение презентации по своей теме. |
| ПК-3 | способность планировать и организовывать физические | Умение планировать практические занятия для выступлений своих коллег с презентациями | Подготовленный совместный график презентаций во время практических занятий, |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | исследования, научные семинары и конференции | | участие в дискуссиях по своей презентации и презентациям коллег. |
|--|--|--|--|

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Можно выделить несколько видов самостоятельной работы аспирантов при изучении данной дисциплины.

Разбор и усвоение лекционного материала. После каждой лекции аспиранту следует внимательно прочитать и разобрать конспект, при этом:

- понять и запомнить все новые определения;
- понять все математические выкладки и лежащие в их основе физические положения и допущения; воспроизвести все выкладки самостоятельно, не глядя в конспект;
- выполнить или доделать выкладки, которые лектор предписал сделать самостоятельно (если таковые имеются);
- если лектор предписал разобрать часть материала более подробно самостоятельно по доступным письменным или электронным источникам, то необходимо своевременно это сделать;
- при возникновении каких-либо трудностей с пониманием материала рекомендуется попросить помощи у своих сокурсников. Также можно обратиться за помощью к лектору. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы. К письму можно прикрепить какие-либо электронные материалы, связанные с возникшими вопросами, например, отсканированные или сфотографированные листочки с рукописными комментариями, пометками, выкладками и т.п.

Самостоятельное изучение части материала. Если часть учебного материала отведена на самостоятельное изучение, то необходимо приступить к этому незамедлительно после указания преподавателя и освоить материал в отведенные им сроки. Материал следует изучить по доступным письменным и электронным источникам, о которых сообщит преподаватель.

Подготовка презентации. Презентация готовится с целью проверки усвоения лекционного материала и представления отчета по работам, выполненным в ходе практических занятий. При подготовке презентаций необходимо придерживаться следующего плана:

- нужно сформулировать тему презентации, указать ее исполнителя, номер академической группы (если таковая имеется), дату и место презентации;
- необходимо дать введение в тему или краткий обзор состояния исследований в заданной области. Результатом введения или обзора должна быть формулировка проблемы и постановка задачи;

- необходимо кратко описать инструментарий, используемый для решения поставленной задачи, и изложить методики измерений;
- необходимо изложить результаты измерений и их обработку;
- нужно обсудить полученные результаты и сформулировать выводы. Связать их с решением поставленной задачи.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Основная литература:

1. Основы физики конденсированного состояния : [учебное пособие] / Ю.В. Петров - Интеллект, 2013 - 213 с. (15 экз. в библиотеке КФУ)
2. Физика твердого тела / Епифанов Г.И. - СПб: Лань, 2011. - 288 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=2023 – 5 экз.
3. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=363421>

9.2. Дополнительная литература:

1. Еремин, М.В. Микроскопические модели в конденсированных средах [Электронный ресурс] // Учебное пособие. - Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2011. - 113с. http://repository.kpfu.ru/?p_id=42364
2. Абрикосов А.А. Основы теории металлов М. Физматлит. - 2010. - 600 с. <http://e.lanbook.com/view/book/2093/>
3. Садовский, М.В. Диаграмматика / Издание 2, "ИКИ", Москва - Ижевск, 2010. - 282 с. <http://sadowski.iep.uran.ru/RUSSIAN/LTF/DATA/Diagrammatica.pdf>

9.3. Интернет-ресурсы:

- архив препринтов - <http://arxiv.org/find/cond-mat>
- Информационный бюллетень ПерсТ - http://www.nanometer.ru/2015/01/03/periodika_448606.html
- МГУ им. Ломоносова - shg.phys.msu.ru/educat/cond_mat/notes.html
- Модели электронного строения высокотемпературных сверхпроводников - <http://www.nano-journal.ru/images/6/62/Nano@0101Eremin.pdf>
- Электронный каталог научно-технической литературы ВИНТИ <http://catalog.viniti.ru/>

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение дисциплины "Физика конденсированного состояния" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации

любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Физика конденсированного состояния" аспиранты готовят презентации по каждой из рассматриваемых тем и докладывают их на практических занятиях. Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (Приказ Минобрнауки РФ от 30.07.2014 № 867).

Автор:

зав. кафедрой Физики твердого тела, профессор Тагиров Л.Р.

Рецензент:

зав. кафедрой Общей физики, профессор Таюрский Д.А.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой:

Протокол заседания кафедры № 01 от "01" сентября 2014 г

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии Института физики, протокол заседания №7 от "11" сентября 2014 г.

Приложения:

Приложение 1. Программа кандидатского экзамена по физике конденсированного состояния (01.04.07)

Приложение 2. Образец дополнительной программы на кандидатский экзамен по специальности.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности**01.04.07 «Физика конденсированного состояния»**
по физико-математическим и техническим наукам**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 сильно связанных 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 Мейсснера. 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.

Приложение 2.
О Б Р А З Е Ц

УТВЕРЖДАЮ
Председатель Ученого Совета
Института физики
Никитин С.И.
ФИО

(подпись)
Протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Дополнительная программа

Для сдачи кандидатского экзамена по специальности _____

(шифр и наименование специальности)

аспиранта (соискателя) кафедры _____

(ФИО аспиранта, соискателя)

Тема диссертации: « _____ »

Вопросы:

1. _____

2. _____

....

15. _____

Литература

1. _____

2. _____

....

10. _____

Научный руководитель
(уч. степень, уч. звание, должность)

Ф.И.О

Соискатель

Ф.И.О

Рассмотрено на заседании кафедры

Протокол № ____ от _____ 201__ г.