




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК


«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП
«Физика конденсированного состояния»

 Афремов Л.Л.
(подпись) (Ф.И.О.)
« 08 » сентября 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой
Теоретической и ядерной физики

 Ширмовский С.Э.
(подпись) (Ф.И.О.)
« 08 » сентября 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика конденсированного состояния

Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*

Профиль «*Физика конденсированного состояния*»

Форма подготовки (очная)

курс 2 семестр 4
лекции 36 час. / 1 з.е.
практические занятия не предусмотрены.
лабораторные работы не предусмотрены.
с использованием МАО лек. 18 час.
всего часов контактной работы 36 час.
в том числе с использованием МАО 18 час., в электронной форме ___ час.
самостоятельная работа 72 час.
в том числе на подготовку к экзамену 18 час.
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.
зачет нет семестр
экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 № 867

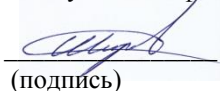
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики ШЕН ДВФУ, протокол № 19 от «08»_сентября_2018 г.

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики Ширмовский С.Э.
Составитель: д-р физ.- мат. наук, профессор, профессор кафедры теоретической и ядерной физики Л.Л. Афремов

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики:

Протокол от «07» июня 2019 г. № 16

Заведующий кафедрой /директор академического департамента



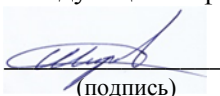
(подпись)

Ширмовский С.Э.
(И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики:

Протокол от «10» января 2020 г. № 4

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики



(подпись)

Ширмовский С.Э.
(И.О. Фамилия)

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры теоретической и ядерной физики:

Протокол от « 15 » января 2021 г. № 5

Заведующий кафедрой теоретической и ядерной физики



(подпись)

Ширмовский С.Э.
(И.О. Фамилия)

Аннотация рабочей программы учебной дисциплины «Физика конденсированного состояния»

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе направления подготовки 03.06.01 – «Физика и астрономия», профиль «Физика конденсированного состояния», форма подготовки очная и входит в вариативную часть, обязательные дисциплины учебного плана: Б1.В.ОД.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов, из них 18 часов занятий с применением методов активного обучения (МАО)), самостоятельная работа (72 часа). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 4-ом семестре. Форма контроля - экзамен (4 семестр)

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 г. № 867 и учебным планом подготовки аспирантов по профилю «Физика конденсированного состояния».

Цель изучения дисциплины – подготовка к сдаче кандидатского минимума по физике конденсированного состояния.

Задачи:

– способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «Физика конденсированного состояния», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности;

– формирование компетенций, соответствующих профилю подготовки «Физика конденсированного состояния».

Для успешного изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

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

– способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-1);

– способностью и готовностью анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);

способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2).

В результате изучения дисциплины у аспирантов формируются следующие универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	Знает	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	Умеет	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах, критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов
	Владеет	методами математического описания физических полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения	Знает	основные методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред; основные типы лабораторных установок (оборудования) для экспериментального исследования структуры конденсированных сред
	Умеет	обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред, использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента
	Владеет	основными методами компьютерного моделирования физических процессов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	основные методы исследования физических свойств конденсированных сред; методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Умеет	выбирать и применять методы исследования физических свойств конденсированных сред, выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Владеет	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред
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	Знает	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
	Умеет	анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при решении исследовательских и практических задач

областях		генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
	Владеет	навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика конденсированного состояния» применяются следующие методы активного / интерактивного обучения: «лекции визуализации» и дискуссии по основным вопросам образовательной программы.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

(36_ час., в том числе _18_ час. с использованием методов активного обучения)

Модуль 1. Симметрия и силы связи в конденсированных средах (9 час.)

Раздел 1. Кристаллические и аморфные твердые тела (3 час.)

Тема 1. 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 (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Трансляционная инвариантность - инвариантность идеального кристалла относительно смещения всех его частиц на вектор. Базис кристаллической структуры - полная совокупность координат центров атомов в симметрично независимой области кристаллической структуры. Центры атомов в любой идеальной кристаллической структуре образуют одну (в простейших случаях) или несколько правильных систем точек.

Тема 2. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии (1 час)

Минералы чаще всего находятся в кристаллической форме, реже аморфном состоянии. Кристаллические минералы отличаются от аморфного закономерного расположения слагающих их элементарных частиц (атомов, молекул, ионов), обуславливающим геометрически правильные многогранные формы кристаллов. На основе закона постоянства граничных углов, во всех кристаллах, определённого минерала (при одинаковых температуре и давлении), а также по сочетаниям типоморфных элементов симметрии выделяются семь главнейших сингоний. Каждая сингония объединяет группу кристаллов, которые при равном числе единичных направлений обладают сходными элементами симметрии. В их качестве рассматриваются: плоскость симметрии (P), центр симметрии (C), ось симметрии (L) и инерционная ось (Li).

Тема 3. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Большинство химических молекул обладают высокой симметрией, а изолированные атомы – сферической симметрией. Хотя часто нельзя получить точное решение уравнения Шредингера, можно получить некоторые представления о его виде, рассматривая свойства симметрии волновых функций. Очевидно, что волновая функция должна обладать теми же свойствами симметрии, что и молекула или атом, которые она описывает; последнее является следствием инвариантности энергии относительно преобразований симметрии. В частности, симметрию можно использовать для классификации волновых функций. Наиболее полезна для изучения симметрии теория групп. Остановимся на некоторых ее компонентах.

Раздел 2. Электронная структура атомов. Типы сил межмолекулярной связи в конденсированном состоянии (3 час.)

Тема 1. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Молекулы веществ, находящиеся в твердом, жидком и газообразном состоянии, взаимодействуют друг с другом с разными по энергии силами — силы Ван-дер-Ваальса, водородная связь, химическая связь и др. Такое взаимодействие определяет конденсированное состояние вещества. Эти силы приводят к появлению в жидкостях и газах сольватов и ассоциатов, обуславливают диссоциацию молекул и других частиц в любых агрегатных состояниях вещества, они же характеризуют появление структуры (полиэдры, ансамбли полиэдров или кластеры) в веществе в разных его агрегатных состояниях, определяя аморфную или кристаллическую структуру. Межмолекулярное взаимодействие частиц в системе приводит к отклонению их свойств от идеальных. Такие системы называют неидеальными или реальными. Свойства индивидуальных реальных систем (веществ в чистом виде) могут быть рассчитаны с помощью уравнений состояния вещества.

Тема 2. Химическая связь и ближний порядок. (1 час)

Интерактивная форма: лекция визуализация

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

Тема 3. Основные свойства ковалентной связи. (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

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

Раздел 3. Дефекты в твердых телах (3 час.)

Тема 1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. (1 час)

Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации

Тема 2. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Теория потенциала решетки не ограничена электростатическими приложениями. Ее можно распространить и на быстропеременные электромагнитные поля. Особенное значение имеет взаимодействие кристалла с плоской электромагнитной волной, которым определяются как свойства оптической анизотропии, так и явления при дифракции рентгеновских лучей. Поле электромагнитной волны вызывает поляризацию отдельных атомов или ионов кристалла. В первом случае при этом происходит, в основном, смещение электронных оболочек относительно атомных ядер. В ионных решетках, кроме того, смещаются отдельные ионы друг относительно друга, однако, лишь при низких частотах (инфракрасная часть спектра), так как большая масса не позволяет им следовать за полем высокой частоты.

Тема 3. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах (1 час)

Брэгговское отражение – схемы дифракции рентгеновских лучей, при которой падающий и дифракционный лучи лежат по одну сторону от поверхности кристалла. В том случае, когда падающий и дифракционный лучи находятся по разные стороны кристаллич. пластины имеет место лауэвское прохождение. Если угол θ между системой атомных плоскостей, находящихся в отражающем положении, и входной поверхностью кристалла равен нулю, то брэгговское отражение наз. симметричным, в остальных случаях - асимметричным. Брэгговское отражение и лауэвское прохождение являются простейшими фундам. задачами динамич. дифракции рентг. лучей, полностью выявляющими её осн. особенности. Введение в рассмотрение схем брэгговского отражения и лауэвского прохождения имеет смысл только для двухлучевой динамич. дифракции. При многолучевой дифракции

одновременно имеются и отражённые, и прошедшие дифракц. лучи, к-рые могут взаимодействовать, что не позволяет выделять какие-либо простейшие схемы. При кинематич. дифракции, когда обратным влиянием дифракц. луча на проходящий можно пренебречь, различие между брэгговским отражением и лауэвским прохождением исчезает.

Модуль 2. Тепловые и электронные свойства конденсированных сред (9 час.)

Раздел 1. Колебания решетки (3 час.)

Тема 1. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов (1 час)

Колебания кристаллической решётки, один из основных видов внутренних движений твёрдого тела, при котором составляющие его частицы (атомы или ионы) колеблются около положений равновесия — узлов кристаллической решётки. К. к. р., например, в виде стоячих или бегущих звуковых волн возникают всякий раз, когда на кристалл действует внешняя сила, изменяющаяся со временем. Однако и в отсутствие внешних воздействий в кристалле, находящемся в тепловом равновесии с окружающей средой, устанавливается стационарное состояние колебаний, подобно тому, как в газе устанавливается стационарное распределение атомов или молекул по скорости их поступательного движения.

Тема 2. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания (1 час)

Дисперсии нормальных волн. При каждом значении k существует $3n$ типов нормальных волн с различной поляризацией. Они нумеруются целочисленной переменной $s = 1, 2, \dots, 3n$ и называется ветвями нормальных колебаний. Для волн данного типа s величины w и k не могут быть произвольными, а связаны между собой определённым соотношением $w = w(k, s)$, называется законом дисперсии. Например, если представить кристалл в виде совокупности одинаковых атомов массы m , расположенных на равных расстояниях a друг от друга и связанных попарно пружинами с жёсткостью g так, что они образуют бесконечную цепочку и могут смещаться только вдоль её оси, то элементарная ячейка состоит из одной частицы и существует одна ветвь частоты нормальных колебаний с законом дисперсии.

Тема 3. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие (1 час)

Электрон-фононное взаимодействие - взаимодействие между двумя подсистемами квазичастиц в твёрдых телах, а именно, носителями заряда

(блеховскими электронами в металлах, полупроводниках и диэлектриках или дырками в этих веществах) и тепловыми колебаниями кристаллич. решётки твёрдых тел - фононами. Конкретный вид гамильтониана Электрон-фононное взаимодействие зависит от структуры кристалла, числа носителей заряда, характера зонного спектра и особенностей колебаний кристаллич. решётки.

Раздел 2. Тепловые свойства конденсированных сред (3 час.)

Тема 1. Теплоемкость твердых тел. (1 час)

Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Тема 2. Классическая теория теплоемкости. (1 час)

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.

Тема 3. Тепловое расширение твердых тел. (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Раздел 3. Электронные свойства конденсированных сред (3 час.)

Тема 1. Электронные свойства твердых тел: (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Тема 2. Основные положения зонной теории. (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блеховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Тема 3. Приближение сильно связанных электронов. (1 час)

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.

Модуль 3. Магнитные и оптические свойства конденсированных сред (13 час.)

Раздел 1. Классификация магнетиков. Неупорядоченные магнетики (3 час.)

Тема 1. Основные понятия. Магнитный момент атома. Спиновый и орбитальный магнитные моменты. Намагниченность. Восприимчивость (1 час)

Мы уже не раз отмечали, что с механическим моментом атома M связан магнитный момент. Отношение называется гиромагнитным отношением. Хотя представление об орбитах, как и вообще представление о траекториях микрочастиц, является неправомерным, момент, обусловленный движением электронов в атоме, называют орбитальным. Определенное экспериментально отношение магнитного и механического орбитальных моментов совпадает с гиромагнитным отношением, вытекающим из классических представлений.

Тема 2. Неупорядоченные магнетики. Диамагнетики и парамагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса (1 час)

Интерактивная форма: лекция визуализация

Неупорядоченные магнетики, т. е. системы, в которых магнитный атом не образуют правильно кристаллической решетки, интенсивно исследуются, начиная с 60- годов. Развитие этого направления стимулировалось двумя обстоятельствами. Во-первых, общим интересом к проблеме неупорядоченных конденсированных систем. Во-вторых, в течение последних 10—15 лет были получены неупорядоченные магнетики самых разнообразных типов: аморфные магнетики, спиновые стекла, ферромагнитные сплавы с малой концентрацией магнитных атомов.

Тема 3. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Диамagnetизмом Ландау называется, диамagnetизм свободных электронов во внешнем магнитном поле; открыт Л. Д. Ландау в 1930. Магнитные свойства электронного газа, помещенного в магнитное поле, обусловлены наличием у электронов собственного спинового магнитного момента и изменением характера движения свободных электронов под влиянием поля. Диамagnetизм Ландау представляет собой чисто квантовый эффект, обусловленный квантованием орбитального движения заряженной частицы в магнитном поле (квантуется энергия движения в плоскости, перпендикулярной полю). Магнитное поле искривляет траекторию трансляционного движения электронов таким образом, что проекция их движения на плоскость, перпендикулярную вектору магнитной индукции, приобретает вид замкнутых траекторий (орбит). Возникшее квазипериодическое движение электронов по орбите квантуется и даёт диамagnetный вклад в магнитную восприимчивость электронного газа; спиновый же момент электронов обуславливает парамагнитную часть восприимчивости. Таким образом, при искривлении магнитного поля возникает добавочное магнитное поле, противоположное внешнему полю, т. е. у системы заряженных частиц появляется добавочный диамagnetный момент. Диамagnetизм Ландау заметно проявляется при низких температурах (ниже температуры вырождения) и может наблюдаться в вырожденном газе свободных электронов и у электронов проводимости в металлах, полуметаллах и полупроводниках.

Раздел 2. Упорядоченные магнетики (3 час.)

Тема 1. Природа ферромагнетизма. (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля)

Тема 2. Антиферромагнетики. (1 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.

Тема 3. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс (1 час)

Магнитные поля действуют на токи, движущиеся заряженные тела или частицы, на намагниченные тела. Можно осуществить множество различных приборов и, с их помощью судить о свойствах магнитного поля. Наиболее целесообразно характеризовать свойства магнитного поля, изучая его механические действия на контур тока. Вполне возможно осуществление проволочного контура весьма малой площади. Такой прибор позволит промерить магнитное поле достаточно детально. Таким образом, «пробный» контур тока играет в теории магнитного поля ту же роль, что «пробный» заряд в теории электрического поля.

Раздел 3. Поглощение и отражение электромагнитных волн (7 час.)

Тема 1. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. (1 час)

Классификация твердых тел по размерности, электронными и оптическим свойствам. Уравнение Максвелла для среды с поглощением. Волновое уравнение. Коэффициенты поглощения и отражения. Комплексный показатель преломления и диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронига.

Тема 2. Поглощения света в полупроводниках (2 час)

Интерактивная форма : лекция визуализация

Межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой. Определение основных характеристик полупроводника с помощью оптических исследований

Тема 3. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты (1 час)

Если быстропеременный высокочастотный ток протекает по проводнику, то вихревые токи, индуцируемые в проводнике, препятствуют равномерному распределению плотности тока по поперечному сечению проводника – плотность тока на оси провода оказывается меньше, чем у его поверхности. Ток как бы вытесняется на поверхность провода, при этом вихревые токи по оси проводника текут против направления основного тока, а на поверхности – в том же направлении. Это явление называется скин-эффектом. Впервые это явление описано в 1885–1886 гг. английским физиком О. Хевисайдом, а обнаружено на опыте его соотечественником Д. Юзом в 1886 г.

Тема 4. Толщина скин-слоя (1 час)

Глубина скин-слоя существенно зависит от проводимости, частоты поля ω , от состояния поверхности. На малых частотах велика, убывает с ростом частоты и для металлов на частотах оптического диапазона оказывается

сравнимой с длиной волны. Столь малым проникновением поля и почти полным его отражением объясняется металлический блеск хороших проводников. На ещё больших частотах, превышающих плазменную частоту, в проводниках оказывается возможным распространение

Тема 5. Магнитооптические эффекты. (2 час)

Эффект Фарадея. Эффект Фохта. Продольный и поперечный эффекты Керра

Модуль 4. Сверхпроводимость (5 час.)

Раздел 1. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников (3 час.)

Тема 1. Критическая температура. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток (1 час)

Критическая температура - 1) предельная температура равновесного сосуществования двух фаз (жидкости и ее пара), выше которой эти фазы неразличимы. 2) температура, при которой в жидких смесях с ограниченно растворимыми компонентами наступает их взаимная неограниченная растворимость 3) температура, при достижении которой вещество теряет свойства сверхпроводимости или сверхтекучести.

Тема 2. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Вихрь Абрикосова — вихрь сверхпроводящего тока (сверхтока), циркулирующий вокруг нормального (несверхпроводящего) ядра (нити вихря), индуцирующий магнитное поле с магнитным потоком, эквивалентным кванту магнитного потока. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Тема 3. Эффекты Джозефсона (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Эффект Джозефсона — явление протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника. Такой ток называют джозефсоновским током, а такое соединение сверхпроводников — джозефсоновским контактом. В первоначальной работе Джозефсона предполагалось, что толщина диэлектрического слоя много

меньше длины сверхпроводящей когерентности, но последующие исследования показали, что эффект сохраняется и на гораздо больших толщинах.

Раздел 2. Теория сверхпроводимости. Высокотемпературные сверхпроводники (2 час.)

Тема 1. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Длина когерентности. Энергетическая щель (1 час)

Суть теории Бардина–Купера–Шриффера заключается в том, что при сверхнизких температурах тяжелые атомы металлов практически не колеблются (тепловые колебания атомов минимальны), и их можно считать фактически стационарными. Любой металл только потому и обладает присущими металлу электропроводящими свойствами, что отпускает электроны внешнего слоя в «свободное плавание». Металл представляет собой кристаллическую решетку, состоящую из ионизированных, положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов, свободно «плавающих» между ними. Когда проводник попадает под действие разности электрических потенциалов, электроны, будучи свободными, движутся между положительно заряженными ядрами. Всякий раз, однако, они взаимодействуют с ядрами (и между собой), но тут же «убегают». Однако в то самое время, когда электроны «проскакивают» между двумя положительно заряженными ядрами, они как бы «отвлекают» их на себя. В результате после того, как между двумя ядрами «проскочил» электрон, они на недолгое время сближаются. Затем два ядра, конечно же, плавно расходятся, но при этом возникает положительный потенциал, и к нему притягиваются все новые отрицательно заряженные электроны.

Тема 1. Высокотемпературные сверхпроводники (1 час)

Интерактивная форма : дискуссия по основным вопросам темы лекции

Основное распространение получило два высокотемпературных сверхпроводника — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO, Y123) и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ (BSCCO, Bi-2223). Также применяются схожие с YBCO материалы, в которых иттрий заменён иным редкоземельным элементом, например гадолинием, их общее обозначение — ReBCO. Выпускаемые YBCO, да и другие ReBCO, имеют критическую температуру на уровне 90-95 К. Выпускаемые BSCCO достигают критической температуры в 108 К. Кроме высокой критической температуры, ReBCO и BSCCO отличаются большими значениями критического магнитного поля (в жидком гелии — более 100 Тл) и критического тока. В сверхпроводнике электроны движутся не независимо, а парами (Куперовскими парами). Если мы хотим, чтобы ток перешёл из одного сверхпроводника в другой, то зазор между ними должен быть меньше характерного размера этой пары. Для металлов и сплавов этот размер

составляет десятки, а то и сотни нанометров. А вот в YBCO и BSCCO он составляет лишь пару нанометров и доли нанометра, в зависимости от направления движения. Даже зазоры между отдельными зёрнами поликристалла оказываются уже вполне ощутимым препятствием, не говоря уж о зазорах между отдельными кусками сверхпроводника. В результате сверхпроводящая керамика, если не предпринимать специальных ухищрений, способна пропускать через себя лишь относительно небольшой ток.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

(___ час., в том числе ___ час. с использованием методов активного обучения)

Не предусмотрено учебным планом

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика конденсированного состояния» представлено в приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ КУРСА

1 семестр

№ п/п	Контролируемые разделы	Коды, наименование и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Модуль 1. Симметрия и силы связи в конденсированных средах	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 1-18
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 1-18
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 1-

				ие	18
2	Модуль 2. Тепловые и электронные свойства конденсированных сред	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 19-31
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 19-31
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 19-31
3	Модуль 3. Магнитные и оптические свойства конденсированных сред	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 32-46
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 32-46
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 32-46
4	Модуль 4. Сверхпроводимость	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 47-54
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 47-54
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 47-54

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Стрекалов, Ю.А. Физика твердого тела: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=363421>
2. Борисенко, В. Е. Нанозлектроника: теория и практика [Электронный ресурс] : учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина.—3-е изд. (эл.).— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=485670>

3. Ванюшина, И. В., Верховцевой, А. В., Горшковой, Н. М. Основы физики полупроводников: Нанозифика и технические приложения /И. В. Ванюшина, А. В. Верховцева, А. В. Горшкова. – М.:Физматлит., 2012. – 771с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:674361&theme=FEFU>
4. Дубровский, В. Г. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур / В. Г. Дубровский. – М.: Физматлит., 2009. – 350 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:290022&theme=FEFU>

Дополнительная литература

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела: учебное руководство / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1978. – 791 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:63726&theme=FEFU>
2. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела т.1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М.: Мир, 1979. – 400 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:67373&theme=FEFU>
3. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела т.2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М.: Мир, 1979. – 423 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:67374&theme=FEFU>
4. Уэрт, Ч., Физика твердого тела/ Ч. Уэрт, Р. Томсон. - М., Мир, 1969. – 560 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:71064&theme=FEFU>
5. Займан, Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Займан. - М.: Мир, 1974. – 472 с.
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:57998&theme=FEFU>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.scopus.com/> - Система поиска публикаций;
2. <http://www.webofknowledge.com/> – Система поиска публикаций
3. <http://znanium.com/catalog.php?item=booksearch&code=%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F> – Каталог по дисциплине

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. База данных полнотекстовых академических журналов Китая <http://oversea.cnki.net/>
4. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://diss.rsl.ru/>

5. Электронные базы данных EBSCO <http://search.ebscohost.com/>

**Перечень информационных технологий
и программного обеспечения**

Место расположения компьютерной техники, на которой установлено программное обеспечение, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L560.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L556.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, кампус ДВФУ, корпус L, ауд. L557.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.

**VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать аспирантов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы обучающихся, поэтому посещение лекций крайне необходимо!

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы необходимо тщательно изучить теоретический материал и систематизировать основные формулы, которые могут быть использованы при решении практических задач.

Методические указания по подготовке доклада

По отдельным темам на коллоквиумах могут делаться более емкие и глубокие доклады – до 15-20 минут. Тема доклада может быть предложена преподавателем или выбрана обучающимся самостоятельно.

При подготовке к докладу проводится подбор литературных источников по теме из рекомендуемой основной и дополнительной

литературы, а также работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», указанными в рабочей программе.

Работа с текстом научных книг и учебников состоит не только в прочтении материала, необходимо провести анализ, сравнить изложение материала в разных источниках, подобрать материал таким образом, чтобы он раскрывал тему доклада. Проанализированный материал конспектируют, при этом надо избегать простого переписывания текстов без каких-либо комментариев и анализа. Прямое заимствование текстов других авторов в науке не допускается, оно определяется как плагиат и является наказуемым. Цитирование небольших фрагментов (со ссылкой на автора) допускается, если надо подчеркнуть стиль или сущность авторского определения, но злоупотреблять чужими текстами нельзя. Доклад должен быть выстроен логично, материал излагается цельно, связно и последовательно, делаются выводы. Желательно, чтобы обучающимся мог выразить своё мнение по обсуждаемой проблеме. Необходимо заранее продумать схемы для иллюстрации на доске или приготовить их в форме компьютерной презентации. В докладе обязательно необходимо использовать термины и ключевые слова по данной теме. После доклада проводится обсуждение с дополнениями и поправками. Оценивается как качество доклада, так и активность участников дискуссии.

Подготовка к экзамену

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Наличие полных собственных конспектов лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзаменам вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L560. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.	Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.

<p>690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L556.</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.</p>
<p>690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L557.</p> <p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.</p>	<p>Microsoft Office - лицензия Standard Enrollment № 62820593. Дата окончания 2020-06-30.</p>



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

по дисциплине «Физика конденсированного состояния»
Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*
Профиль «*Физика конденсированного состояния*»
Форма подготовки (очная)

**Владивосток
2015**

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине 1 семестр

№* п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-2 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
2	3-6 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
3	7-10 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
4	11-13 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
5	14-15 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
6	15-16 неделя	Работа с литературой и конспектом лекций, подготовка к докладу	9 часов	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад
7	17-18 неделя	Подготовка к экзамену	18 часов	Экзамен

Методические указания по работе с литературой

Надо составить первоначальный список источников. Основой может стать список литературы, рекомендованный в рабочей программе курса. Для удобства работы можно составить собственную картотеку отобранных источников (фамилия авторов, заглавие, характеристики издания) в виде рабочего файла в компьютере. Такая картотека имеет преимущество, т.к. она позволяет добавлять источники, заменять по необходимости одни на другие, Первоначальный список литературы можно дополнить, используя электронный каталог библиотеки ДВФУ, при этом не стесняйтесь обращаться за помощью к сотрудникам библиотеки.

Работая с литературой по той или другой теме, надо не только прочитать, но и усвоить метод ее изучения: сделать краткий конспект, алгоритм, схему прочитанного материала, что позволяет быстрее его понять, запомнить. Не рекомендуется дословно переписывать текст.

Методические рекомендации к самостоятельной работе аспиранта

Текущий контроль результатов самостоятельной работы осуществляется в ходе проведения практических занятий (устный опрос), коллоквиумов и тестирования. На основании этих результатов аспирант получает текущие и экзаменационные оценки, по которым выводится

итоговая оценка. Промежуточная (семестровая) аттестация проводится в форме устного экзамена.

Методические указания по подготовке доклада

По отдельным темам на коллоквиумах могут делаться более емкие и глубокие доклады – до 15-20 минут. Тема доклада может быть предложена преподавателем или выбрана аспирантом самостоятельно.

При подготовке к докладу проводится подбор литературных источников по теме из рекомендуемой основной и дополнительной литературы, а также работа с ресурсами информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», указанными в рабочей программе.

Работа с текстом научных книг и учебников состоит не только в прочтении материала, необходимо провести анализ, сравнить изложение материала в разных источниках, подобрать материал таким образом, чтобы он раскрывал тему доклада. Проанализированный материал конспектируют, при этом надо избегать простого переписывания текстов без каких-либо комментариев и анализа. Прямое заимствование текстов других авторов в науке не допускается, оно определяется как плагиат и является наказуемым. Цитирование небольших фрагментов (со ссылкой на автора) допускается, если надо подчеркнуть стиль или сущность авторского определения, но злоупотреблять чужими текстами нельзя. Доклад должен быть выстроен логично, материал излагается цельно, связно и последовательно, делаются выводы. Желательно, чтобы аспирант мог выразить своё мнение по обсуждаемой проблеме. Необходимо заранее продумать схемы для иллюстрации на доске или приготовить их в форме компьютерной презентации. В докладе обязательно необходимо использовать термины и ключевые слова по данной теме. После доклада проводится обсуждение с дополнениями и поправками. Оценивается как качество доклада, так и активность участников дискуссии.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Физика конденсированного состояния»
Направление подготовки 03.06.01 *Физика и астрономия*
Профиль «*Физика конденсированного состояния*»
Форма подготовки (очная)

Владивосток
2015

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	Знает	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	Умеет	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах, критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов
	Владеет	методами математического описания физических полей
ПК-2 Владение основными методами компьютерного моделирования состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения	Знает	основные методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред; основные типы лабораторных установок (оборудования) для экспериментального исследования структуры конденсированных сред
	Умеет	обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры конденсированных сред, использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента
	Владеет	основными методами компьютерного моделирования физических процессов
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	Знает	основные методы исследования физических свойств конденсированных сред; методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Умеет	выбирать и применять методы исследования физических свойств конденсированных сред, выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред
	Владеет	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред
УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и	Знает	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
	Умеет	анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и

практических задач, в том числе в междисциплинарных областях		оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
	Владеет	навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

№ п/п	Контролируемые разделы	Коды, наименование и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Модуль 1. Симметрия и силы связи в конденсированных средах	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 1-18
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 1-18
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 1-18
2	Модуль 2. Тепловые и электронные свойства конденсированных сред	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 19-31
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 19-31
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 19-31
3	Модуль 3. Магнитные и оптические свойства конденсированных сред	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 32-46
			Умеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 32-46
			Владеет	УО-1 Собеседование	Вопросы к экзамену 32-46
4	Модуль 4. Сверхпроводимость	ПК-1 ПК-2 ПК-3 УК-1	Знает	УО-1 Собеседование; УО-3 доклад	Вопросы к экзамену 47-54
			Умеет	УО-1	Вопросы к

				Собеседован ие	экзамену 47- 54
			Владеет	УО-1 Собеседован ие	Вопросы к экзамену 47- 54

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ПК-1 Владение методами математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	знает (пороговый уровень)	основные методы математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	знание основных методов математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	способность систематического знания основных методов математического описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	умеет (продвинутый)	выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах, критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в конденсированных средах физических процессов	Умение выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах	способность выделять математические методы, необходимые для описания физических процессов, протекающих в конденсированных средах
	владеет (высокий)	методами математического описания физических полей	владение основными методами математического описания физических полей	способность успешного и систематического владения основными методами математического описания физических полей
ПК-2 Владение	знает (порог)	Базовые методы компьютерного	знание методов компьютерного	способность раскрывать полное

основными методами компьютерного моделирования состояния и прогнозирования изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости и от внешних условий их нахождения	овый уровень)	моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике конденсированного состояния	моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике конденсированного состояния	содержание методов компьютерного моделирования, всех их особенностей, аргументировано обосновывает способ выбора при решении профессиональных задач
	умеет (продвинутый)	критически оценивать область применимости выбранных математических методов	умение критически оценивать область применимости выбранных математических методов	способность критически оценивать область применимости выбранных математических методов
	владеет (высокий)	Основными методами компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике конденсированного состояния	владение системой способов выявления оценки методов компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике конденсированного состояния для решения научно-исследовательских задач	способность владения системой способов выявления оценки методов компьютерного моделирования и прогнозирования физических свойств в зависимости от внешних условий в физике конденсированного состояния для решения научно-исследовательских задач
ПК-3 Владение основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	знает (пороговый уровень)	основные методы математического описания полей и процессов, протекающих в конденсированных средах; основные методы исследования полей и физических свойств конденсированных сред	знание методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных	способность систематических знаний методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных

	умеет (продвинутый)	определять рамки применимости математического метода описания процессов, протекающих в конденсированных средах для решения конкретной задачи; выбирать и применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред	умение аргументировано применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред при решении исследовательских и практических задач	способность аргументировано применять методы исследования функциональных характеристик конденсированных сред при решении исследовательских и практических задач
	владеет (высокий)	основными методами исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред	владение навыками анализа применение навыков исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред при решении исследовательских и практических задач	способность систематического применения навыков анализа применение навыков исследования физических свойств и функциональных характеристик конденсированных сред при решении исследовательских и практических задач
УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в	знает (пороговый уровень)	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	знание методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных	способность систематических знаний методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных
	умеет (продвинутый)	анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических	умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских	способность анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и

междисциплинарных областях		задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений	х и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов и умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации и исходя из наличных ресурсов и ограничений	практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов и умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений
	владеет (высокий)	навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	владение технологиями критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач	способность успешного и систематического применения технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач

Оценочные средства для промежуточной аттестации

В качестве заключительного этапа промежуточной (семестровой) аттестации по дисциплине «Физика конденсированного состояния» предусмотрен экзамен.

Методические указания по сдаче экзамена

Согласно приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 марта 2014 г. № 247 «Об утверждении порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня», кандидатские экзамены являются формой промежуточной аттестации при освоении программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Для приема кандидатских экзаменов создаются комиссии по приему кандидатских экзаменов из числа научно-педагогических работников (в том числе работающих по совместительству), высококвалифицированных научно-педагогических и научных кадров. В состав экзаменационной комиссии могут включаться научно-педагогические работники других организаций.

Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом, в котором указывается:

- наименование дисциплины;
- код и наименование направления подготовки, профиль, по которому сдавался кандидатский экзамен;
- вопросы по билетам и дополнительные вопросы;
- оценка уровня знаний аспиранта (по пятибалльной шкале);
- фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии), ученая степень, ученое звание и должность каждого члена экзаменационной комиссии.

Протокол подписывается членами экзаменационной комиссии, присутствующими на экзамене, и утверждается проректором по научной работе.

На экзамене в качестве оценочного средства применяется собеседование по вопросам билетов, составленных ведущим преподавателем и подписанных заведующим кафедрой и проректором по научной работе. Экзамены принимаются комиссией в составе ведущего преподавателя, его ассистентов и других специалистов из числа высококвалифицированных научно-педагогических и научных кадров.

Во время проведения экзамена аспиранты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины. В случае использования аспирантом средств для списывания, комиссия имеет право удалить аспиранта с экзамена, а в протокол экзамена поставить неудовлетворительную оценку.

При явке на экзамен аспиранты обязаны иметь при себе документ, удостоверяющий личность аспиранта. Ведущий преподаватель или Председатель комиссии заполняет соответствующие пункты протокола (см. выше).

Выходить из аудитории во время подготовки к ответам без разрешения членов комиссии аспирантам запрещается. Время, предоставляемое аспиранту на подготовку к ответу на устном экзамене – 60 минут.

При проведении экзамена экзаменационный билет выбирает сам аспирант. При сдаче устного экзамена любой член комиссии может задавать дополнительные вопросы. Если аспирант затрудняется ответить на один вопрос выбранного билета, то ему можно предложить взять другой билет, при этом оценка снижается на балл.

При промежуточной аттестации установлены оценки на экзаменах: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

При неявке аспиранта на экзамен без уважительной причины в ведомости делается запись «не явился».

Оценки, выставленные экзаменатором по итогам экзаменов, не подлежат пересмотру. Аспирант, получивший на экзамене оценку «неудовлетворительно» имеет право на повторную пересдачу. Для этого он подает заявление на имя директора Школы. В случае обоснованности поданного заявления директор Школы создает комиссию в составе трех преподавателей по соответствующей кафедре. Оценка, полученная аспирантом во время пересдачи экзамена комиссии, является окончательной.

Шкала оценивания (экзамен)

Оценка	Критерии
Оценка «5» «Отлично»	Аспирант показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Аспирант обнаружил понимание материала, обоснованной суждений, способность применить полученные знания на практике.
Оценка «4» «Хорошо»	Аспирант дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «5», но допускает некоторые ошибки, которые исправляет самостоятельно, и некоторые недочеты в изложении вопроса.
Оценка «3» «Удовлетворительно»	Аспирант обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в ответе.
Оценка «2» «Неудовлетворительно»	Аспирант обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса; допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке аспиранта, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

Вопросы к экзамену

по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

1. Трансляционная инвариантность.
2. Базис и кристаллическая структура.
3. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца.
4. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства.
5. Зона Бриллюэна
6. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции.
7. Операции (преобразования) симметрии
8. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
9. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве

10. Химическая связь и валентность.
11. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь
12. Химическая связь и ближний порядок.
13. Основные свойства ковалентной связи.
14. Дефекты в твердых телах
15. Точечные дефекты, их образование и диффузия.
16. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
17. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности
18. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах
19. Колебания кристаллической решетки.
20. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов
21. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания
22. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие
23. Тепловые свойства конденсированных сред
24. Теплоемкость твердых тел.
25. Классическая теория теплоемкости.
26. Тепловое расширение твердых тел.
27. Электронные свойства конденсированных сред
28. Электронные свойства твердых тел
29. Основные положения зонной теории
30. Приближение сильно связанных электронов
31. Классификация магнетиков. Неупорядоченные магнетики
32. Основные понятия. Магнитный момент атома. Спиновый и орбитальный магнитные моменты. Намагниченность. Восприимчивость
33. Неупорядоченные магнетики. Диамагнетики и парамагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса
34. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости
35. Упорядоченные магнетики
36. Природа ферромагнетизма.
37. Антиферромагнетики
38. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс.
39. Ядерный магнитный резонанс
40. Поглощение и отражение электромагнитных волн
41. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные
42. Поглощения света в полупроводниках
43. Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты.

44. Толщина скин-слоя
45. Магнитооптические эффекты.
46. Эффект Фарадея. Эффект Фохта. Продольный и поперечный эффекты Керра
47. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников
48. Критическая температура. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток
49. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова.
50. Глубина проникновения магнитного поля в образец
51. Эффекты Джозефсона
52. Теория сверхпроводимости. Высокотемпературные сверхпроводники
53. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Длина когерентности. Энергетическая щель
54. Высокотемпературные сверхпроводники

Оценочные средства для текущего контроля

Устный опрос - наиболее распространенный метод контроля знаний обучающихся. При устном опросе устанавливается непосредственный контакт между преподавателем и обучающимися, в процессе которого преподаватель получает широкие возможности для оценки количества и качества усвоения аспирантами учебного материала. Он является наиболее распространенной и адекватной формой контроля знаний учащихся, включает в себя собеседование (главным образом на экзамене), коллоквиум, доклад.

Критерии оценки устного ответа:

Оценка	Критерии
Оценка «5» «Отлично»	Аспирант показал развернутый ответ, представляющий собой связное, логическое, последовательное раскрытие поставленного вопроса, широкое знание литературы. Аспирант обнаружил понимание материала, обоснованной суждений, способность применить полученные знания на практике.
Оценка «4» «Хорошо»	Аспирант дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «5», но допускает некоторые ошибки, которые исправляет самостоятельно, и некоторые недочеты в изложении вопроса.
Оценка «3» «Удовлетворительно»	Аспирант обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в ответе.
Оценка «2» «Неудовлетворительно»	Аспирант обнаруживает незнание большей части проблем, связанных с изучением вопроса; допускает ошибки в ответе, искажает смысл текста, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Данная оценка характеризует недостатки в подготовке аспиранта, которые являются серьезным препятствием к успешной профессиональной и научной деятельности.

Примерные темы для докладов

по дисциплине «**Физика конденсированного состояния**»

1. Кристаллические и аморфные твердые тела
2. Электронная структура атомов. Типы сил межмолекулярной связи в конденсированном состоянии
3. Дефекты в твердых телах
4. Колебания решетки
5. Тепловые свойства конденсированных сред
6. Электронные свойства конденсированных сред
7. Классификация магнетиков.
8. Неупорядоченные магнетики
9. Упорядоченные магнетики
10. Поглощение и отражение электромагнитных волн
11. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников
12. Теория сверхпроводимости.
13. Высокотемпературные сверхпроводники

Вопросы для собеседования

по дисциплине «**Физика конденсированного состояния**»

1. Трансляционная инвариантность.
2. Базис и кристаллическая структура.
3. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца.
4. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства.
5. Зона Бриллюэна
6. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции.
7. Операции (преобразования) симметрии
8. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
9. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве
10. Химическая связь и валентность.
11. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь
12. Химическая связь и ближний порядок.
13. Основные свойства ковалентной связи.
14. Дефекты в твердых телах
15. Точечные дефекты, их образование и диффузия.
16. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.

17. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности
18. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах
19. Колебания кристаллической решетки.
20. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов
21. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания
22. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие
23. Тепловые свойства конденсированных сред
24. Теплоемкость твердых тел.
25. Классическая теория теплоемкости.
26. Тепловое расширение твердых тел.
27. Электронные свойства конденсированных сред
28. Электронные свойства твердых тел
29. Основные положения зонной теории
30. Приближение сильно связанных электронов
31. Классификация магнетиков. Неупорядоченные магнетики
32. Основные понятия. Магнитный момент атома. Спиновый и орбитальный магнитные моменты. Намагниченность. Восприимчивость
33. Неупорядоченные магнетики. Диамагнетики и парамагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса
34. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости
35. Упорядоченные магнетики
36. Природа ферромагнетизма.
37. Антиферромагнетики
38. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс.
39. Ядерный магнитный резонанс
40. Поглощение и отражение электромагнитных волн
41. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные
42. Поглощения света в полупроводниках
43. Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты.
44. Толщина скин-слоя
45. Магнитооптические эффекты.
46. Эффект Фарадея. Эффект Фохта. Продольный и поперечный эффекты Керра
47. Основные свойства низкотемпературных сверхпроводников
48. Критическая температура. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток
49. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова.

50. Глубина проникновения магнитного поля в образец
51. Эффекты Джозефсона
52. Теория сверхпроводимости. Высокотемпературные сверхпроводники
53. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Длина когерентности.
Энергетическая щель
54. Высокотемпературные сверхпроводники