



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра радиофизики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Декан Буднев Н.М.

«17» апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля) Б1.О.08 Квантовая теория твёрдого тела

Направление подготовки 03.04.02. Физика

Направленность (профиль) подготовки: Физика материалов твердотельной электроники и фотоники

Квалификация выпускника - магистр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета Рекомендовано кафедрой радиофизики и радиоэлектроники:

Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Протокол № 8 от «08» апреля 2024 г.

Председатель Буднев Н.М.

И.О. зав. кафедрой Колесник С.Н.

Иркутск 2024 г.

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.

III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

4.3 Содержание учебного материала

4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) перечень литературы

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок

г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

6.2. Программное обеспечение:

6.3. Технические и электронные средства обучения:

VII. Образовательные технологии

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

Цель дисциплины:

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области квантовой теории твердого тела, кристаллических решеток, электронов, их законов дисперсии, плотности состояний, квантовых эффектов, практического применения кристаллов.

Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области квантовой теории твердого тела как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундамент знаний в области квантовой теории твердого тела;
- обучение студентов основным понятиям в квантовой теории твердого тела, понятию элементарных возбуждений и концепции квазичастиц в квантовой теории твердого тела;
- формирование подходов к выполнению самостоятельных исследований студентами в области физики конденсированного состояния вещества в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Квантовая теория твердого тела» является дисциплиной профессионального цикла и относится к обязательной части.

Дисциплина «Квантовая теория твердого тела» опирается на дисциплины: «Математический анализ», «Квантовая механика», «Атомная физика», «Термодинамика и статистическая физика».

Освоение дисциплины необходимо для освоения курсов: Современное физическое материаловедение, Физика низкоразмерных структур.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК- 6. Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

ПК- 1. Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта.

ПК 1.1. Способность самостоятельно проводить физические исследования

ПК 1.2. Способность проводить обработку и анализ результатов физических исследований

ПК 1.3. Способность проводить анализ новых направлений исследований и опытно-конструкторские разработки в соответствующей области знаний.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные сведения о структуре кристаллов, основные постулаты и положения квантовой теории;
- роль квантовой статистики в формировании зонной структуры твердого тела;
- классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории

Уметь:

- оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов;

-оценивать физические параметры материалов (проводимость, диэлектрические и магнитные свойства, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным.

Владеть:

- методами квантово-механического описания простейших квантовых систем,

- способами расчетов проводимости, диэлектрических и магнитных свойств, теплоемкости твердых тел.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов/ зачетных единиц	Семестр 1
Аудиторные занятия (всего)	68/4	68/4
В том числе:		
<i>Лекции</i>	34/2.5	34/2.5
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	34/1	31/1
КСР	14/0.3	14/0.3
Консультация	2/0	2/0
КО	8/0	8/0
СР	25/0.2	25/0.2
Контроль	27/0	27/0
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Экзамен	Экзамен
Общая трудоемкость: часы, зачетные единицы	144 4	144 4

5. Содержание дисциплины (модуля).

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля). Все разделы и темы нумеруются.

Тема 1. Строение кристаллических твердых тел.

1.1 Элементы точечной и трансляционной симметрии; базис, кристаллические классы, сингонии и решетки Бравэ. Простые и сложные решетки, стехиометрические соотношения. Координационные числа. Обозначения плоскостей и направлений, индексы Миллера. Обратная решетка.

Тема 2. Классическая и квантовая теории колебаний решетки.

2.1 Упругие свойства кристаллов. Упругие волны. Частотный спектр. Тепловые колебания, фононы, тепловая энергия, термодинамические функции твердых тел.

2.2 Теплоемкости по Эйнштейну, Дебаю, закон Дюлонга-Пти.

Тема 3. Дефекты в твердых телах.

3.1 Термодинамика образования точечных дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Равновесная концентрация дефектов.

Тема 4. Электронные состояния в идеальном кристалле.

4.1 Модель свободных электронов. Уравнение Шредингера, волновые функции, уровни энергии и их заполнение, уровень Ферми при 0 К, функция распределения энергетических

состояний по энергии, вероятность заполнения энергетических уровней (функция распределения Ферми-Дирака), функция распределения электронов по энергиям.

4.2 Теплоемкость вырожденного электронного газа. Зонная теория твердых тел. Зоны Бриллюэна. Соотнесение зонной модели и модели свободных электронов. Туннельный эффект. Распределение электронов по зонам. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Эффективная масса электрона. Дырки.

4.3 Влияние дефектов на зонную структуру полупроводников. Примесные полупроводники. Температурная зависимость концентраций носителей зарядов.

Тема 5. Явления переноса в твердых телах.

5.1 Электропроводность металлов, время релаксации, Уравнение Больцмана. Электропроводность собственных и примесных полупроводников, температурная зависимость. Механизмы рассеяния носителей заряда.

5.2 Диффузия и дрейф носителей заряда. Контактные явления. Явления переноса и кинетические эффекты. Продольные и поперечные эффекты.

5.3 Сверхпроводимость, параметры сверхпроводников, сверхпроводники 1 и 2-го рода, вихри Абрикосова, квантование магнитного потока, Куперовская пара, длина корреляции.

Тема 6. Магнитные свойства вещества.

6.1 Физическая природа диа- и парамагнетизма. Основные определения. Температурная зависимость магнитной восприимчивости. Природа постоянных магнитных моментов.

6.2 Физическая природа ферромагнетизма, спиновые волны, магноны, доменная структура. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)					
		1	2	3	4	5	6
1.	Современное физическое материаловедение						
2.	Физика низкоразмерных структур						

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лекц.	ПЗ	КСР, КО	Всего
1.	1. Строение кристаллических твердых тел.	1.1 Элементы точечной и трансляционной симметрии; базис, кристаллические классы, сингонии и решетки Бравэ. Простые и сложные решетки, стехиометрические соотношения. Координационные числа. Обозначения плоскостей и направлений, индексы Миллера. Обратная решетка.	6	6	4	16
2.	2. Классическая и квантовая теории колебаний решетки	2.1 Упругие свойства кристаллов. Упругие волны. Частотный спектр. Тепловые колебания, фононы, тепловая энергия, термодинамические функции твердых тел. 2.2 Теплоемкости по Эйнштейну, Дебаю, закон Дюлонга-Пти.	6	6	4	16
3.	3. Дефекты в	3.1 Термодинамика образования	4	4	4	12

	твердых телах	точечных дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю. Равновесная концентрация дефектов				
4.	4. Электронные состояния в идеальном кристалле.	4.1 Модель свободных электронов. Уравнение Шредингера, волновые функции, уровни энергии и их заполнение, уровень Ферми при 0 К, функция распределения энергетических состояний по энергии, вероятность заполнения энергетических уровней (функция распределения Ферми-Дирака), функция распределения электронов по энергиям. 4.2 Теплоемкость вырожденного электронного газа. Зонная теория твердых тел. Зоны Бриллюэна. Соотнесение зонной модели и модели свободных электронов. Туннельный эффект. Распределение электронов по зонам. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Эффективная масса электрона. Дырки. 4.3 Влияние дефектов на зонную структуру полупроводников. Примесные полупроводники. Температурная зависимость концентраций носителей зарядов.	8	8	4	20
5.	4. Явления переноса в твердых телах.	5.1 Электропроводность металлов, время релаксации, Уравнение Больцмана. Электропроводность собственных и примесных полупроводников, температурная зависимость. Механизмы рассеяния носителей заряда. 5.2 Диффузия и дрейф носителей заряда. Контактные явления. Явления переноса и кинетические эффекты. Продольные и поперечные эффекты. 5.3 Сверхпроводимость, параметры сверхпроводников, сверхпроводники 1 и 2-го рода, вихри Абрикосова, квантование магнитного потока, Куперовская пара, длина корреляции спинами носителей заряда в полупроводниках	4	4	4	12
6.	6. Магнитные свойства вещества	6.1 Физическая природа диа- и парамагнетизма. Основные свойства. определения. Температурная зависимость магнитной восприимчивости. Природа постоянных магнитных моментов. 6.2 Физическая природа ферромагнетизма, спиновые волны (магноны), доменная структура. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм	6	6	2	14
7.	Всего:		34	34	22	90
8.	Консультация по всем разделам				2	2
9.	Всего:		34	34	24	92

10.	СР	25
11.	Контроль	27
12.	Всего:	144

6. Перечень практических занятий.

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование практических работ	Трудоёмкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1 Раздел 1.1	Строение кристаллических твердых тел	4	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-6, ПК-1
2	Тема 2 Разделы 2.1-2.2	Классическая и квантовая теории колебаний решетки	4	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-6, ПК-1
3	Тема 3 Раздел 3.1	Дефекты в твердых телах	2	Контрольные вопросы	ОПК-6, ПК-1
4	Тема 4 Разделы 4.1-4.3	Электронные состояния в идеальном кристалле.	8	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-6, ПК-1
5	Тема 5 Разделы 5.1-5.3	Явления переноса в твердых телах	6	Контрольные вопросы	ОПК-6, ПК-1
6	Тема 6 Разделы 6.1-6.2	Магнитные свойства вещества	4	Контрольные вопросы. Контрольная работа.	ОПК-6, ПК-1

6.1 План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1-2	Строение кристаллических твердых тел.	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Из списка основной и дополнительной литературы	4
3-5	Классическая и квантовая теории колебаний решетки	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Из списка основной и дополнительной литературы	3
6	Дефекты в твердых телах	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий	Из списка основной и дополнительной литературы	4

			по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы		
7-10	Электронные состояния в идеальном кристалле.	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Из списка основной и дополнительной литературы	4
11-12	Явления переноса в твёрдых телах	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Из списка основной и дополнительной литературы	4
13-14	Магнитные свойства вещества	Внеаудиторная работа	Изучение научной и специальной литературы, подготовка к занятиям, выполнение заданий по темам, вынесенным на самостоятельное изучение, конспектирование ответов на контрольные вопросы	Из списка основной и дополнительной литературы	4
14-15	Подготовка к экзамену			Из списка основной и дополнительной литературы	2
	Всего:				25

6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная – самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

- внеаудиторная – самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) Овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;
- работа со справочниками и другой справочной литературой;
- ознакомление с нормативными и правовыми документами;
- учебно – методическая и научно-исследовательская работа;
- использование компьютерной техники, Интернета и др.;

2) Закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекций;
- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;
- подготовка плана;
- составление таблиц для систематизации учебного материала; - подготовка ответов на контрольные вопросы;
- заполнение рабочей тетради;
- аналитическая обработка текста;
- подготовка мультимедиа презентации и докладов к выступлению на семинаре (конференции, круглом столе и т.п.);
- подготовка реферата; - составление библиографии использованных источников;
- тестирование и др.;

3) Формировать умения:

- решение ситуационных задач и упражнений по образцу;
- выполнение расчетов (графические и расчетные работы);
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к тестированию;
- опытно-экспериментальная работа;

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-6. Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

ПК-1. Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта.

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов): Не предусматривается.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

а) основная литература

1. Байков, Ю.А. Физика конденсированного состояния. [Электронный ресурс] / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — М. : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/70766>
2. Епифанов, Г.И. Физика твердого тела. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2023>

б) дополнительная литература

1. Павлов П.В. Физика твердого тела. Высшая школа., М. 2000.
2. Гаврилюк А.А., Гаврилюк А.В., Семиров А.В.. Магнитные свойства твердых тел. Учебное пособие. Иркутск 2000. 135с.

3. Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М., Петров А.Л.. Физика металлов и сплавов. Учебное пособие. Иркутск-2009, 93с.

в) программное обеспечение

г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы:

1. Книгофонд - библиотека онлайн чтения. www.knigafund.ru

2. ЭБС "Издательство Лань" <http://e.lanbook.com/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля): Компьютерные презентации, программа для тестирования

10. Образовательные технологии:

№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1	Лекция	Вводная лекция, информационная лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи
2	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

11. Оценочные средства (ОС):

Фонд оценочных средств представлен в Приложении к программе

Разработчик:



д.ф.-м.н., профессор Аграфонов Ю.В.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02. Физика

Направленность (профиль) подготовки: Физика материалов твердотельной электроники и фотоники

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «08» апреля 2024 г. протокол № 8

И.О. зав. кафедрой  Колесник С.Н.