

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.08.2023 15:48:39

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Квантовая физика твердого тела

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

Профиль

Квантовое материаловедение

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**10 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

360

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 1, 2

аудиторные занятия

136

курсовая работа 1, 2

самостоятельная работа

170

часов на контроль

54

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	1 (1.1)		2 (1.2)		Итого	
	Неделя		Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34	68	68
Практические	34	34	34	34	68	68
Итого ауд.	68	68	68	68	136	136
Контактная работа	68	68	68	68	136	136
Сам. работа	85	85	85	85	170	170
Часы на контроль	27	27	27	27	54	54
Итого	180	180	180	180	360	360

Программу составил(и):

*дфмн, Профессор, Григорьев Павел Дмитриевич; дфмн, Профессор, Мухин Сергей Иванович*

Рабочая программа

**Квантовая физика твердого тела**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

03.04.02 ФИЗИКА, 03.04.02-МФ3-23-2.plx Квантовое материаловедение, утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

03.04.02 ФИЗИКА, Квантовое материаловедение, утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра теоретической физики и квантовых технологий**

Протокол от 22.06.2021 г., №11/21

Руководитель подразделения Д.ф.-м.н., профессор Мухин Сергей Иванович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Ознакомить студентов с развитием представлений об электронной структуре твёрдых тел. Научить студентов анализировать экспериментальные данные на основе современной электронной теории твердых тел.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.О
2.1	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.2	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Machine learning сложных систем и квантовой материи	
2.2.2	Методы диаграммной техники и континуального интегрирования	
2.2.3	Нанофотоника	
2.2.4	Плазмоника и метаматериалы	
2.2.5	Сверхпроводящие метаматериалы для сверхвысокочастотных и терагерцевых устройств	
2.2.6	Сверхпроводящие цепи и кубиты	
2.2.7	Современные квантовые технологии в полупроводниковой электронике	
2.2.8	Физика жидкокристаллических мембран	
2.2.9	Научно-педагогическая практика	
2.2.10	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.11	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни</b>	
<b>Знать:</b>	
УК-6-31	Основные технологические направления для применений современной электронной теории твердых тел
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31	Основные физические принципы современной электронной теории нормальных металлов и сверхпроводников
<b>ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-3-31	Основные физические принципы современной электронной теории твердых тел
<b>УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий</b>	
<b>Знать:</b>	
УК-1-31	Основные задачи и проблемы современной электронной теории твердых тел
<b>ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки</b>	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-3-У1	читать учебную, справочную и специальную литературу по физике твердых тел, понимать и правильно интерпретировать прочитанное;

<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 анализировать экспериментальные данные на основе теории физики твердого тела
<b>УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий</b>
<b>Уметь:</b>
УК-1-У1 выбирать новые задачи исходя из опубликованных в научной периодике статей
<b>УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни</b>
<b>Уметь:</b>
УК-6-У1 находить новые математические методы решения задач физики твердого тела
<b>ПК-1: Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов научных исследований в области квантовой физики</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-1-У1 наглядно представить результаты своей работы
<b>Владеть:</b>
ПК-1-В1 навыками представлять основные теоретические положения по заданной теме
<b>ОПК-3: Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") для решения задач профессиональной деятельности, проектировании и разработке, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-3-В1 навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях
<b>УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, выработать стратегию действий</b>
<b>Владеть:</b>
УК-1-В1 основными методами численного и аналитического расчета основных термоэлектрических свойств твердых тел
<b>УК-6: Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, участвовать в обучении на протяжении всей жизни</b>
<b>Владеть:</b>
УК-6-В1 навыками представить результаты своей работы
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики, знания в междисциплинарных областях для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 терминологией в своей области исследований на русском и английском языках, применять знания для международного научного общения

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Введение и базовые знания. Основы статистической физики и теория возмущений.							

1.1	Введение и базовые знания. Основы статистической физики и теория возмущений. /Лек/	1	1	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л1.1Л2.3 Л2.5Л3.1 Э1			
<b>Раздел 2. Структура и упругие свойства кристаллов</b>								
2.1	Кристаллическая структура и методы ее исследования. /Лек/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-6-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
2.2	Жидкие кристаллы и квазикристаллы /Лек/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-1-У1 УК-6-31 УК-6-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л1.1 Л2.5 Э1			
2.3	Типы связи в твердых телах /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
2.4	Упругие свойства кристаллов (классическая теория упругости) /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.2 Л2.5 Э1			
2.5	Фононы. Их классификация и закон дисперсии /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
<b>Раздел 3. Тепловые и электрические свойства диэлектриков</b>								
3.1	Теплоемкость идеальных кристаллов диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна /Лек/	1	2	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-1-У1 УК-6-31 УК-6-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
3.2	Теплопроводность идеальных кристаллов диэлектриков /Лек/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 УК-6-31 УК-6-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
3.3	Теплоемкость и теплопроводность аморфных тел и квазикристаллов /Лек/	1	1	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
3.4	Диэлектрическая восприимчивость изоляторов. Различные вклады в диэлектрическую восприимчивость и их частотная зависимость /Лек/	2	2	УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
<b>Раздел 4. Электронные свойства нормальных металлов</b>								
4.1	Вырожденный газ Ферми. Его теплоемкость. История развития области: теории Друде и Зоммерфельда. /Лек/	1	2	ОПК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			

4.2	Электроны в кристаллической решетке и их закон дисперсии в приближениях сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Поверхность Ферми. /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.5 Э1			
4.3	Явления переноса в металлах. Кинетическое уравнение для электронов в металлах. Электропроводность и теплопроводность металлов и их температурные зависимости. Закон Видемана Франца и область его применимости. /Лек/	1	2	УК-1-31 ПК-1-У1 УК-6-31	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
4.4	Термоэлектрические эффекты в металлах. /Лек/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
4.5	Металлы в магнитном поле. Магнитосопротивление и эффект Холла. /Лек/	1	2	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
4.6	Металлы в высокочастотном электромагнитном поле. Скин-эффект. /Лек/	1	1	УК-1-31 УК-1-У1 УК-6-31	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
4.7	Методы изучения электронной структуры металлов. Фотоэффект с угловым разрешением (ARPES) и магнитные квантовые осцилляции. /Лек/	1	1	УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Л2.1Л3.1 Л2.5 Э1			
	<b>Раздел 5. Сверхпроводимость</b>							
5.1	Основные свойства сверхпроводящего состояния. Термодинамика сверхпроводников. Промежуточное состояние. Теория Лондонов. /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
5.2	Основные идеи микроскопической теории сверхпроводимости. Критерий сверхтекучести. Фононное притяжение. Куперовское спаривание. Механизм Литтла высокотемпературной сверхпроводимости в квазиодномерных молекулярных цепочках /Лек/	1	2	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
5.3	Теория Гинзбурга и Ландау. Квантование магнитного потока. Поверхностная энергия. /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-6-31 ОПК-3-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			

5.4	Два рода сверхпроводников. Смешанное состояние. Вихревая решетка Абрикосова. Поверхностная сверхпроводимость. /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
5.5	Туннельный контакт. Стационарный эффект Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона. Международный стандарт вольта /Лек/	1	2	УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
<b>Раздел 6. Магнитные свойства твердых тел</b>								
6.1	Магнетизм. Диамагнетика и парамагнетика. Природа этих эффектов и различные вклады в магнитную восприимчивость. /Лек/	2	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л3.1 Л2.1 Л2.5 Э1			
6.2	Природа и типы обменного взаимодействия /Лек/	2	4	ОПК-1-31 УК-6-31 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
6.3	Ферромагнетизм. Температурная зависимость намагниченности и закон дисперсии магнонов в ферромагнетиках. Домены. /Лек/	2	4	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
6.4	Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Температурная зависимость и анизотропия намагниченности в антиферромагнетиках. Закон дисперсии магнонов. Экспериментальные методы обнаружения и исследования антиферромагнетиков. /Лек/	2	4	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
6.5	Магнитный резонанс. Адиабатическое размагничивание. /Лек/	2	2	УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 УК-6-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
6.6	Дополнительные вопросы магнетизма. Магнитные фрустрации и спиновые стекла. Зонный ферромагнетизм (Стонеровская неустойчивость). Спин-орбитальное взаимодействие в металлах. /Лек/	2	4	УК-1-31 ОПК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
<b>Раздел 7. Дополнительные разделы физики твердого тела</b>								
7.1	Дефекты в кристаллах. Прыжковая проводимость. /Лек/	2	4	ОПК-1-31 ОПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
7.2	Волны зарядовой плотности. /Лек/	2	4	УК-1-31 УК-6-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			

7.3	Рамановская спектроскопия. Перовскиты. /Лек/	2	2	УК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
	<b>Раздел 8. Практические занятия</b>							
8.1	Электронный спектр одномерной цепочки (дираковская гребенка)- точное решение и решение в приближении слабой связи. /Пр/	1	2	ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л3.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л1.1Л2.5			
8.2	Движение электрона в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях. Скорость дрейфа. Магнитосопротивление. /Пр/	1	2	УК-6-У1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5 Э1			
8.3	Вычисление компонент тензора проводимости в эффекте Холла для двумерного электронного газа, квазиклассический предел. /Пр/	1	2	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.4	Рассеяние электрона с переворотом спина. Вклад магнитного рассеяния в электросопротивление в эффекте Кондо. /Пр/	1	2	ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.5	Вычисление термо-эдс термопары, эффект Пельтье в контакте двух проволок из разных металлов. /Пр/	1	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.6	Решение уравнения Шредингера для электрона в магнитном поле : плотность состояний, степень вырождения уровней Ландау. /Пр/	1	2	ПК-1-У1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.7	Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с уровнями Ландау. Осциллирующая часть магнитного момента ферми-газа. /Пр/	1	2	УК-6-У1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.8	Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с двумя магнитными подзонами: парамагнетизм Паули. Парамагнитная восприимчивость идеального ферми-газа. /Пр/	1	4	ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-У1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.9	Диамангнитный момент сверхпроводящего шара радиуса меньшего глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник во внешнем магнитном поле. /Пр/	1	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5			

8.10	Разрушение сверхпроводимости магнитным полем: сверхпроводящий соленоид. Предел Клогстона. /Пр/	1	4	ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.11	Двумерная вихревая решетка. Взаимодействие двух абрикосовских вихрей. /Пр/	1	4	ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.12	Решение уравнений Гинзбурга-Ландау для тонкой сверхпроводящей пленки в параллельном ее поверхности внешнем магнитном поле. Критическое поле $H_c$ тонкой пленки. Критическое поле $H_c$ тонкой проволоки. /Пр/	1	4	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.13	Аналитические свойства функции Грина. Функция Грина идеального ферми-газа. Связь мнимой части функции Грина со спектральной плотностью электронных уровней энергии. /Пр/	2	6	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.14	Связь функции Грина электрона с вольт-амперной характеристикой электрического микроконтакта. /Пр/	2	2	УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.15	Связь функции Грина электрона с сечением магнитного рассеяния нейтронов в металле. /Пр/	2	2	УК-1-У1 УК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.16	Прецессия спина в магнитном поле. Магнитный резонанс и измерение обменных полей в магнетиках методом рассеяния мюонов. /Пр/	2	2	УК-1-В1 УК-6-У1	Л1.1 Л1.2Л2.5			
8.17	Контрольная работа по разделам 1-2 /Пр/	1	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-У1 УК-6-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5			Р1
8.18	Контрольная работа по разделам 6-7. /Пр/	2	2	ПК-1-У1 УК-6-У1 УК-6-В1	Л2.5			Р1
8.19	Защита курсовой работы /Пр/	2	4	УК-1-В1 УК-6-31 УК-6-У1	Л1.1 Л3.1 Л2.1			Р2
8.20	Волны зарядовой и спиновой плотности: решение уравнений Боголюбова-де Женна. /Пр/	2	4	УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-В1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1				
8.21	Решение задач по разделам курса 1-7 /Пр/	2	12	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-31 УК-6-У1 УК-6-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Э1			

	<b>Раздел 9. Освоение учебных материалов по разделам 1-5. Написание отчета по курсовой работе</b>							
9.1	Освоение учебных материалов по разделам 4-5. Написание отчета по курсовой работе /Ср/	1	85	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-31 УК-6-У1 УК-6-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.5Л3. 2 Э1			P2
	<b>Раздел 10. Освоение учебных материалов по разделам 6-7. Написание отчета по курсовой работе</b>							
10.1	Освоение учебных материалов по разделам 6-7. Написание отчета по курсовой работе /Ср/	2	85	УК-1-У1 УК-1-В1 ПК-1-У1 ПК-1-В1 УК-6-31 УК-6-У1 УК-6-В1 ОПК-3-31 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л2.1 Э1			P2

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	экзамен	ОПК-3-31;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-6-31;УК-6-У1;ПК-1-У1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Структура периодически-упорядочных кристаллов.</li> <li>2. Обратная решетка периодически-упорядочных кристаллов. Зона Бриллюэна.</li> <li>3. Методы экспериментального определения структуры кристаллов.</li> <li>4. Классификация решеток Браве.</li> <li>5. Влияние температуры на рассеяние рентгеновского излучения; фактор Дебая–Уоллера.</li> <li>6. *Несоизмеримо модулированные кристаллы. Квазикристаллы.</li> <li>7. Жидкие кристаллы и полимеры; примеры.</li> <li>8. Вещества в аморфном состоянии. Гели, аэрогели и опалы.</li> <li>9. Теплоемкость твёрдых тел. Температура Дебая.</li> <li>10. Нормальные моды моноатомной линейной цепочки.</li> <li>11. Нормальные моды двухатомной линейной цепочки; щель в спектре колебательных возбуждений. Оптические и акустические фононы.</li> <li>12. Нормальные колебательные моды решетки Браве и решетки с базисом в двумерном и трехмерном случаях.</li> <li>13. Плотность колебательных состояний.</li> <li>14. Число независимых компонент тензора модулей упругости кристаллов и аморфных сред.</li> <li>15. Закон Гука в кристаллах.</li> <li>16. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах.</li> <li>17. Теплопроводность.</li> <li>18. Фононные процессы с перебросом.</li> <li>19. Металлы, полуметаллы, полупроводники, диэлектрики. Понимание графиков зонной структуры.</li> <li>20. Движение электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха.</li> <li>21. Приближения слабой и сильной связи для расчета энергетических спектров металлов.</li> <li>22. Термоэлектронные явления в металле. Закон Видемана-Франца.</li> </ol>

			<p>23. Эффект Пельтье. Термо-э.д.с.  24. Металл в высокочастотном электромагнитном поле. Нормальный скин-эффект.  25. Аномальный скин-эффект. Концепция неэффективности.  26. Диамагнетизм Ландау и парамагнетизм Паули идеального ферми-газа.  27. Уровни Ландау. Спектр энергии электрона в магнитном поле.  28. Сверхпроводимость (общие свойства).  29. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Вихри Абрикосова.  30. Куперовские пары (природа притяжения между электронами в металле). Теория Бардина - Купера - Шриффера (теория БКШ). От чего зависит температура сверхпроводящего перехода (в приближении слабой связи)?  31. Теория Гинзбурга-Ландау фазового перехода II-го рода.  32. Температурная зависимость параметра порядка вблизи фазового перехода II-го рода.  33. Пределы применимости теории Гинзбурга-Ландау, критерий Гинзбурга-Леванюка.  34. Эффект Джозефсона (стационарный и нестационарный). Его применение.  35. Диэлектрики. Различные вклады в поляризуемость диэлектриков.  36. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости и восприимчивости диэлектриков. Ее описание с помощью вынужденных колебаний.  37. Вычисление ориентационной восприимчивости.  38. Комплексная диэлектрическая проницаемость и ее физический смысл.  39. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики.  40. Различные вклады в магнитную восприимчивость парамагнетиков и их температурную зависимость.  41. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм в приближении среднего поля: температурная зависимость их магнитной восприимчивости и намагниченности.  42. Спиновые волны в ферро- и антиферромагнетиках. Их закон дисперсии. Магноны.  43. *Вклад магнонов в температурную зависимость теплоемкости в ферро- и антиферромагнетиках.  44. Температурная зависимость намагниченности ферромагнетиков. Результат среднего поля, экспериментальный и теоретический с участием магнонов.  45. Природа и типы обменного взаимодействия в магнетиках.  46. Дефекты в кристаллах.  47. * Прыжковая проводимость.  48. Адиабатическое размагничивание как метод охлаждения.  49. *Спиновые стекла и фрустрированные магниты.</p>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы

P1	контрольная работа в конце практического занятия	ОПК-3-31;ОПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-6-31;УК-6-У1;УК-6-В1;ПК-1-У1;ПК-1-В1	<p>Примеры задач для контрольной работы :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. В германии при <math>T=300</math> К наблюдается подвижность электронов <math>\mu=4800</math> . Каково время релаксации импульса и дрейфовая скорость в поле <math>E=1</math>В/см? Учсть, что в германии <math>m^* = 0.1</math> m.</li> <li>2. Два стержня из разных металлов, обладающих электронной и дырочной проводимостью, образуют контакт. Место контакта охлаждается жидким азотом (77 К), свободные концы находятся при комнатной температуре. Каковы величина и знак термо-э.д.с. между свободными концами?</li> <li>3. Каково должно быть минимальное напряжение, чтобы скомпенсировать теплопроводность в металле с помощью эффекта Пельтье, если разность температур между концами составляет 30 К?</li> <li>4. Чем отличается вывод и результат формулы для намагниченности <math>N</math> спинов <math>1/2</math> с магнитным моментом в магнитном поле <math>B</math> согласно классической физике (формула Ланжевена) и квантовой физике ?</li> <li>5. Найти вклад в теплоемкость от <math>N</math> спинов <math>1/2</math> с магнитным моментом в магнитном поле <math>B</math>. Найти асимптотики этого вклада в пределах высокой и низкой температуры.</li> <li>6. Найти вклад в теплоемкость от магнонов в ферромагнетиках и в антиферромагнетиках. Сравнить результат со вкладом от фононов.</li> </ol>
----	--	---	--

P2	курсовая работа	ПК-1-В1;УК-6-В1;ПК-1-У1;УК-6-У1;УК-1-В1;УК-1-У1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-6-31;УК-1-31;ОПК-3-В1;ОПК-3-31;ОПК-3-У1;ОПК-1-31	<p>Темы курсовой работы :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уровни Ландау электрона во внешнем магнитном поле.</li> <li>2. Квантовые осцилляции намагниченности в металлах: эффект де Гааза-ван Альфена.</li> <li>3. Квантовый эффект Холла.</li> <li>4. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау.</li> <li>5. Магнитная восприимчивость двумерного идеального ферми-газа.</li> <li>6.Измерение эффектов де Гааза - ван Альфена и Шубникова - де Гааза</li> <li>7.Ферромагнетизм локализованных электронов (модель Хаббарда).</li> <li>8.Влияние магнитного поля на эффект Джозефсона в сверхпроводнике.</li> <li>9. Эффект Ааронова–Бома и его наблюдения.</li> <li>10. Явления переноса в неупорядоченных средах.</li> <li>11. Сложные металлические сплавы</li> <li>12. Аэрогели и опалы</li> <li>13 Жидкие кристаллы</li> <li>14 Экспериментальное определение структуры кристаллов методом дифракции рентгеновских лучей и электронов</li> <li>15 Дифракция рентгеновских лучей в аморфных веществах</li> <li>16 Число независимых компонент тензора модулей упругости</li> <li>17 Упругая изотропия и поперечная упругая изотропия</li> <li>18 Локализованные колебательные моды</li> <li>19 Примеры эйнштейновских твердых тел</li> <li>20 Тепловые и упругие аномалии в стеклах при низких температурах</li> <li>21 Перенос тепла в изотопически чистых кристаллах</li> <li>22 Возможные реализации квантовых битов в физике конденсированного состояния.</li> <li>23 Цилиндрические магнитные домены</li> <li>24 Доменные стенки Блоха и Нееля</li> <li>25 Скачок теплоёмкости антиферромагнетика в точке Нееля</li> <li>26 Типы магнитных структур в редкоземельных металлах</li> <li>28 Спиновые стекла</li> <li>29 Проводимость с переменной длиной прыжка в гранулярных проводниках</li> <li>30 Зонная структура и свойства графена</li> <li>31 Свойства углеродных нанотрубок</li> <li>32 Экспериментальное определение магнитной структуры кристаллов методом дифракции нейтронов</li> <li>33 Теория Гинзбурга-Ландау фазовых переходов 2 рода.</li> <li>34 Волны зарядовой или/и спиновой плотности в металлах.</li> <li>35 Рамановская спектроскопия и ее применения.</li> <li>36 Дефекты в кристаллах</li> <li>37 Майорановские фермионы в твердом теле</li> <li>38 Топологические изоляторы и полуметаллы</li> <li>39 Вейлевские полуметаллы в твердых телах</li> </ol>
<b>5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)</b>			
<p>Пример экзаменационного билета (1 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Влияние температуры на рассеяние рентгеновского излучения; фактор Дебая–Уоллера.</li> <li>2. Диэлектрики. Различные вклады в поляризуемость диэлектриков. Вычисление ориентационной восприимчивости.</li> <li>3. Температурная зависимость электрической проводимости в металлах.</li> </ol> <p>Пример экзаменационного билета (2 семестр):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нормальные моды двухатомной линейной цепочки; щель в спектре колебательных возбуждений.</li> <li>2. Структурный фактор кристаллической решетки и его роль при экспериментальном методе определения кристаллической решетки. Атомный форм фактор.</li> <li>3. Антиферромагнетизм. Переходы спин-флор и спин-флип. Дисперсия магнонов и их вклад в теплоемкость.</li> </ol> <p>Пример экзаменационного билета приведен в приложении</p>			

**5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

Оценка	Критерии оценивания на экзамене
5	«Отлично» Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает ответ на каждый теоретический вопрос, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер
4	«Хорошо» Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы, однако ответ хотя бы на один из них не носит развернутого и исчерпывающего характера
3	«Удовлетворительно» Обучающийся в целом раскрывает теоретические вопросы и допускает ряд неточностей
	Обучающийся фрагментарно раскрывает содержание теоретических вопросов, допускает значительные неточности
2	«Неудовлетворительно» Обучающийся не знает ответов на поставленные теоретические вопросы
Оценивание решения задач контрольной работы	
Оценка	Критерии оценивания
5	«Отлично» Обучающийся выполняет полное и аргументированное решение задачи
4	«Хорошо» Обучающийся выполняет полное решение задачи, но не может аргументировать свое решение
3	«Удовлетворительно» Обучающийся в целом правильно решает задачу, но не может аргументировать свое решение
	Обучающийся правильно понимает способ решения задачи, но допускает ошибки при решении задачи
2	«Неудовлетворительно» Обучающийся не может решить задачу
Оценка	Критерии оценивания отчета по курсовой работе:
5	«Отлично» Обучающийся глубоко и содержательно раскрывает тему курсовой работы, не допустив ошибок. Ответ носит развернутый и исчерпывающий характер
4	«Хорошо» Обучающийся в целом раскрывает тему курсовой работы, однако ответ хотя бы в одном подразделе не носит развернутого и исчерпывающего характера
3	«Удовлетворительно» Обучающийся в целом раскрывает тему курсовой работы, и допускает ряд неточностей/
	Обучающийся фрагментарно раскрывает тему курсовой работы, допускает значительные неточности.
2	«Неудовлетворительно» Обучающийся не раскрывает в отчете ответы на поставленные теоретические

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Киттель Ч.	Введение в физику твердого тела	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1978
Л1.2	Киттель Ч.	Квантовая теория твердых тел	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1967

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987
Л2.2	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т. 7: Теория упругости	Библиотека МИСиС	, 1965
Л2.3	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т.3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория	Библиотека МИСиС	, 1989
Л2.4	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т.5: Статистическая физика	Библиотека МИСиС	, 1964
Л2.5	Векилов Ю. Х., Иванов И. А., Матвеева Ю. Л., др., Мухин С. И.	Электронная теория металлов: сб. задач	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Займан Д.	Принципы теории твердого тела	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1974
ЛЗ.2	Быкова М. Б., Гореева Ж. А., Козлова Н. С., Подгорный Д. А.	Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ, курсовых работ магистров и отчетов по практикам: метод. указания	Библиотека МИСиС	М.: [МИСиС], 2017

### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Квантовая физика твердого тела	<a href="https://lms.misis.ru/courses/8385">https://lms.misis.ru/courses/8385</a>
----	--------------------------------	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Полнотекстовые российские научные журналы и статьи:
И.2	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.3	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.5	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.6	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.7	— научные журналы издательства Elsevier <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Обучение проводится в два семестра и организуется в соответствии с настоящей программой. Промежуточная аттестация по дисциплине предусмотрена в виде экзамена за 1-й семестр. Окончательная аттестация по дисциплине предусмотрена в виде экзамена за 2-й семестр.

Слайды всех лекций в формате pdf, с разбивкой по разделам (модулям) курса, а также предварительные экзаменационные билеты доступны для студентов в системе lms Canvas.