

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 16.11.2023 17:25:11

Уникальный идентификатор:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**

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

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Физика конденсированного состояния и КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Закреплена за подразделением

Кафедра теоретической физики и квантовых технологий

Направление подготовки

00.06.00 Аспирантура

Профиль

Квалификация

**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет 6

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

40

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	40	40	40	40
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

*дфмн, Профессор, Григорьев Павел Дмитриевич*

Рабочая программа

### **Физика конденсированного состояния и квантовые технологии**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов) (приказ от 17.03.2022 г. № 2-22)

Составлена на основании учебного плана:

- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.4.2 Аналитическая химия
- 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы
- 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением
- 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов
- 2.6.3 Литейное производство
- 2.6.4 Обработка металлов давлением
- 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы
- 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы
- 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии
- 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- 2.6.17 Материаловедение
- 2.8.3 Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
- 2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
- 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
- 2.8.8 Геотехнология, горные машины
- 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, АСП-22-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

- 1.3.8 Физика конденсированного состояния
- 1.3.11 Физика полупроводников
- 1.4.2 Аналитическая химия
- 2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы
- 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением
- 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов
- 2.6.3 Литейное производство
- 2.6.4 Обработка металлов давлением
- 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы
- 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы
- 2.6.9 Технология электрохимических процессов и защита от коррозии
- 2.6.12 Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- 2.6.17 Материаловедение
- 2.8.3 Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
- 2.8.6 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
- 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
- 2.8.8 Геотехнология, горные машины
- 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра теоретической физики и квантовых технологий**

Протокол от 02.06.2020 г., №10/20

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

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

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

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:	2.1.2
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Академическое письмо
2.1.2	Иностранный язык
2.1.3	История и философия науки
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Аналитическая химия
2.2.2	Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
2.2.3	Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
2.2.4	Геотехнология, горные машины
2.2.5	Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
2.2.6	Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
2.2.7	Литейное производство
2.2.8	Материаловедение
2.2.9	Материаловедение
2.2.10	Материаловедение
2.2.11	Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
2.2.12	Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
2.2.13	Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
2.2.14	Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
2.2.15	Металлургия черных, цветных и редких металлов
2.2.16	Металлургия черных, цветных и редких металлов
2.2.17	Металлургия черных, цветных и редких металлов
2.2.18	Нанотехнологии и наноматериалы
2.2.19	Нанотехнологии и наноматериалы
2.2.20	Нанотехнологии и наноматериалы
2.2.21	Обогащение полезных ископаемых
2.2.22	Обработка металлов давлением
2.2.23	Порошковая металлургия и композиционные материалы
2.2.24	Порошковая металлургия и композиционные материалы
2.2.25	Теоретические основы проектирования горнотехнических систем
2.2.26	Технологии и машины обработки давлением
2.2.27	Технологии и машины обработки давлением
2.2.28	Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
2.2.29	Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
2.2.30	Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники
2.2.31	Технология электрохимических процессов и защита от коррозии
2.2.32	Физика конденсированного состояния
2.2.33	Физика конденсированного состояния
2.2.34	Физика конденсированного состояния
2.2.35	Физика конденсированного состояния
2.2.36	Физика конденсированного состояния
2.2.37	Физика полупроводников
2.2.38	Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
2.2.39	Электротехнические комплексы и системы
2.2.40	Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
2.2.41	Подготовка к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук



<b>А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях</b>
<b>Знать:</b>
А-1-31 Основные задачи и проблемы современной электронной теории твердых тел;
А-1-32 Возможные сферы и направления профессиональной самореализации;
<b>А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты</b>
<b>Уметь:</b>
А-3-У1 Читать учебную, справочную и специальную литературу по физике твердых тел, понимать и правильно интерпретировать прочитанное; используя интернет или библиотеку, быстро и эффективно находить современные научные статьи, обзоры или специальную литературу по заданной области или конкретной проблеме физики конденсированного состояния;
<b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>
<b>Уметь:</b>
А-2-У1 наглядно изложить/представить известные положения или результаты своей работы;
<b>А-3: Способность проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по заданной тематике и оформлять их результаты</b>
<b>Владеть:</b>
А-3-В1 применять на практике стандартные методы решения задач;
<b>А-1: Способность к научному поиску и применению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при самостоятельных исследованиях</b>
<b>Владеть:</b>
А-1-В1 применять на практике навыки самостоятельной работы с литературой для поиска информации о понятиях, терминах, задачах и проблемах, объяснения их решения в практических ситуациях;
<b>А-2: Способность проводить научный эксперимент и анализ его результата</b>
<b>Владеть:</b>
А-2-В1 методами анализа экспериментальных данных на основе теории твердого тела;

#### 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
	<b>Раздел 1. Структура и упругие свойства кристаллов</b>							
1.1	Кристаллическая структура и методы ее исследования /Лек/	6	4	А-3-31 А-3-У1 А-3-В1 А-2-31 А-2-У1 А-2-В1 А-1-31 А-1-32 А-1-В1	Л1.1 Э1			
1.2	Жидкие кристаллы и квазикристаллы /Лек/	6	2	А-3-31 А-3-У1 А-3-В1 А-2-31 А-2-У1 А-2-В1 А-1-31 А-1-32 А-1-В1	Л1.1 Э1			
1.3	Типы связи в твердых телах /Лек/	6	2	А-3-31 А-3-У1 А-3-В1 А-2-31 А-2-У1 А-2-В1 А-1-31 А-1-32 А-1-В1	Л1.1 Э1			
1.4	Упругие свойства кристаллов (классическая теория упругости) /Лек/	6	4	А-3-31 А-3-У1 А-3-В1 А-2-31 А-2-У1 А-2-В1 А-1-31 А-1-32 А-1-В1	Л1.1Л2.4 Э1			

1.5	Фононы. Их классификация и закон дисперсии /Пр/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
1.6	Самостоятельная работа по разделу: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	3	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.4 Э1			
	<b>Раздел 2. Тепловые и электрические свойства диэлектриков</b>							
2.1	Теплоемкость идеальных кристаллов диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна /Лек/	6	3	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
2.2	Теплопроводность идеальных кристаллов диэлектриков /Пр/	6	3	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
2.3	Теплоемкость и теплопроводность аморфных тел и квазикристаллов /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
2.4	Диэлектрическая восприимчивость изоляторов. Различные вклады в диэлектрическую восприимчивость и их частотная зависимость /Лек/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
2.5	Самостоятельная работа по разделу: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	3	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
	<b>Раздел 3. Электронные свойства нормальных металлов</b>							
3.1	Вырожденный газ Ферми. Его теплоемкость. История развития области: теории Друде и Зоммерфельда. /Лек/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.3 Э1			
3.2	Электроны в кристаллической решетке и их закон дисперсии в приближениях сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Поверхность Ферми. /Лек/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.3 Э1			
3.3	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/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Л2.3Л2.1 Э1			

3.4	Термоэлектрические эффекты в металлах. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л2.3Л2.1 Э1			
3.5	Металлы в магнитном поле. Магнитосопротивление и эффект Холла. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л2.3Л2.1 Э1			
3.6	Металлы в высокочастотном электромагнитном поле. Скин-эффект. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л2.3Л2.1 Э1			
3.7	Методы изучения электронной структуры металлов. Фотоэффект с угловым разрешением (ARPES) и магнитные квантовые осцилляции. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л2.3Л2.1 Э1			
3.8	Самостоятельная работа по разделу: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	3	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.3 Э1			
3.9	Практические занятия по сложным вопросам раздела /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Л2.1Л2.3 Э1			
	<b>Раздел 4. Магнитные свойства твердых тел</b>							
4.1	Магнетизм. Диамагнетизма и парамагнетизма. Природа этих эффектов и различные вклады в магнитную восприимчивость. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
4.2	Природа и типы обменного взаимодействия /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.2 Э1			
4.3	Ферромагнетизм. Температурная зависимость намагниченности и закон дисперсии магнонов в ферромагнетиках. Домены. /Лек/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
4.4	Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Температурная зависимость и анизотропия намагниченности в антиферромагнетиках. Закон дисперсии магнонов. Экспериментальные методы обнаружения и исследования антиферромагнетиков. /Пр/	6	4	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
4.5	Магнитный резонанс. Адиабатическое размагничивание. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1			



4.6	Дополнительные вопросы магнетизма. Магнитные фрустрации и спиновые стекла. Зонный ферромагнетизм (Стонеровская неустойчивость). Спин-орбитальное взаимодействие в металлах. /Пр/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.2 Э1			
4.7	Самостоятельная работа по разделу: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	7	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1			
<b>Раздел 5. Дополнительные разделы физики твердого тела</b>								
5.1	Дефекты в кристаллах. Прыжковая проводимость. /Пр/	6	1	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
5.2	Волны зарядовой и спиновой плотности. /Лек/	6	1	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.2 Э1			
5.3	Контрольная работа /Пр/	6	1	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
5.4	Самостоятельная работа по разделу: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	2	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Л2.2Л2.1 Э1			
<b>Раздел 6. Подготовка к экзамену</b>								
6.1	Разбор вопросов по курсу /Пр/	6	1	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1 Э1			
6.2	Самостоятельная работа по подготовке к экзамену: чтение литературы и слайдов лекций, выложенных в LMS Canvas /Ср/	6	22	A-3-31 A-3-У1 A-3-В1 A-2-31 A-2-У1 A-2-В1 A-1-31 A-1-32 A-1-В1	Л1.1Л2.1 Л2.3 Э1			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену (зачёту с оценкой)**

Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену УК-5.1-31 УК-9.2-31 ОПК-1.1-31 УК-5.2-31 УК-5.1-32

1. Структура периодически-упорядочных кристаллов.
2. Обратная решетка периодически-упорядочных кристаллов. Зона Бриллюэна.
3. Методы экспериментального определения структуры кристаллов.
4. Классификация решеток Браве.
5. Влияние температуры на рассеяние рентгеновского излучения; фактор Дебая–Уоллера.
6. \*Несоизмеримо модулированные кристаллы. Квазикристаллы.
7. Жидкие кристаллы и полимеры; примеры.
8. Вещества в аморфном состоянии. Гели, аэрогели и опалы.
9. Теплоемкость твёрдых тел. Температура Дебая.
10. Нормальные моды моноатомной линейной цепочки.
11. Нормальные моды двухатомной линейной цепочки; щель в спектре колебательных возбуждений. Оптические и акустические фононы.
12. Нормальные колебательные моды решетки Браве и решетки с базисом в двумерном и трехмерном случаях.
13. Плотность колебательных состояний.
14. Число независимых компонент тензора модулей упругости кристаллов и аморфных сред.
15. Закон Гука в кристаллах.
16. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах.
17. Теплопроводность.
18. Фононные процессы с перебросом.
19. Металлы, полуметаллы, полупроводники, диэлектрики. Понимание графиков зонной структуры.
20. Движение электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха.
21. Приближения слабой и сильной связи для расчета энергетических спектров металлов.
22. Термоэлектронные явления в металле. Закон Видемана-Франца.
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.
50. \*Волны зарядовой и спиновой плотности (общие свойства)

## 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.

Контрольная работа

Примеры задач для контрольной работы (УК-5.1-31 УК-5.1-32 УК-5.1-У1 УК-5.1-У2 УК-5.1-В1 УК-5.1-В2 УК-5.2-31 УК-5.2-У1 УК-5.2-В1 УК-9.2-31 УК-9.2-У1 УК-9.2-В1 ОПК-1.1-31 ОПК-1.1-У1 ОПК-1.1-В1):

1. В германии при  $T=300$  К наблюдается подвижность электронов  $=4800$ . Каково время релаксации импульса и дрейфовая скорость в поле  $E=1$ В/см? Учесть, что в германии  $m^* = 0.1$  m.
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?
3. Каково должно быть минимальное напряжение, чтобы скомпенсировать теплопроводность в металле с помощью эффекта Пельтье, если разность температур между концами составляет 30 К?
4. Чем отличается вывод и результат формулы для намагниченности  $N$  спинов  $1/2$  с магнитным моментом в магнитном поле  $B$  согласно классической физике (формула Ланжевена) и квантовой физике ?
5. Найти вклад в теплоемкость от  $N$  спинов  $1/2$  с магнитным моментом в магнитном поле  $B$ . Найти асимптотики этого вклада в пределах высокой и низкой температуры.
6. Найти вклад в теплоемкость от магнонов в ферромагнетиках и в антиферромагнетиках. Сравнить результат со вкладом от фононов.

## 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Пример 1 экзаменационного билета:

1. Влияние температуры на рассеяние рентгеновского излучения; фактор Дебая–Уоллера.
2. Диэлектрики. Различные вклады в поляризуемость диэлектриков. Вычисление ориентационной восприимчивости.
3. Температурная зависимость электрической проводимости в металлах.

Пример 2 экзаменационного билета :

1. Нормальные моды двухатомной линейной цепочки; щель в спектре колебательных возбуждений.
2. Структурный фактор кристаллической решетки и его роль при экспериментальном методе определения кристаллической решетки. Атомный форм фактор.
3. Антиферромагнетизм. Переходы спин-флоп и спин-флип. Дисперсия магнонов и их вклад в теплоемкость.

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

Оценивание решения задач контрольной работы

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

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

## 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

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Займан Д.	Принципы теории твердого тела	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1974
Л2.2	Киттель Ч.	Квантовая теория твердых тел	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1967
Л2.3	Абрикосов А. А.	Основы теории металлов: Для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.4	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Т. 7: Теория упругости	Библиотека МИСиС	, 1965

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

Э1	Физика конденсированного состояния	<a href="https://lms.misis.ru/courses/8386">https://lms.misis.ru/courses/8386</a>
----	------------------------------------	---

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	MS Teams
П.3	Microsoft PowerPoint
П.4	Microsoft Office

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

И.1	— Научная электронная библиотека eLIBRARY <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
И.2	Иностранные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС):
И.3	— аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.4	— аналитическая база (индексы цитирования) Scopus <a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
И.5	— наукометрическая система InCites <a href="https://apps.webofknowledge.com">https://apps.webofknowledge.com</a>
И.6	— 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 №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Обучение проводится в один семестр и организуется в соответствии с настоящей программой. Окончательная аттестация по дисциплине предусмотрена в виде устного экзамена. Слайды всех лекций в формате pdf, с разбивкой по разделам (модулям) курса, а также предварительные экзаменационные билеты доступны в системе lms Canvas.